

УДК 551.464 (262.5)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2014 г. А. С. Кукушкин

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь**e-mail: kukushkinas@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.03.2013 г.

По данным многолетних наблюдений (1978–1995) рассмотрены особенности распределений концентраций компонентов взвешенного органического вещества (ВОВ) и их внутригодовая и межгодовая изменчивость в поверхностном слое и слое фотосинтеза в глубоководной части Черного моря. Получены статистические оценки сезонных и среднемесячных изменений содержания компонентов ВОВ и отношений концентраций этих компонентов. Рассчитаны оценки сезонного содержания взвешенного органического углерода по концентрации хлорофилла “а” в поверхностном слое, основанные на использовании регрессионной зависимости между одновременно измеренными их концентрациями, и с их учетом проанализированы межгодовые его изменения в течение 1978–2010 гг. Отмечено увеличение концентраций компонентов ВОВ в 80-е и начале 90-х годов XX столетия, достигших аномально высоких значений летом 1992 г. Показано, что сезонные межгодовые изменения концентрации компонентов ВОВ в основном связаны с межгодовой динамикой биомассы фитопланктона, которая, в свою очередь, определяется климатическими условиями.

DOI: 10.7868/S0030157414050098

ВВЕДЕНИЕ

Взвешенное органическое вещество (ВОВ) является важным биологическим компонентом морской экосистемы. Исследование состава ВОВ и пространственно-временной изменчивости его компонентов позволяет оценить продуктивность морской экосистемы, интенсивность протекания в ней биохимических процессов и устойчивость этой экосистемы к воздействиям на нее различных природных и антропогенных факторов. Изучение изменчивости распределения содержания ВОВ также имеет важное значение для понимания причин и характера изменчивости распределения прозрачности в верхнем слое моря.

Известно, что главным продуцентом ВОВ в морской среде является планктон, в особенности фитопланктон, так как вклады в ВОВ микрозоо- и бактериопланктона на 1–2 порядка ниже вклада последнего [23]. В настоящее время сезонная изменчивость количественного и качественного состава фитопланктона и его основных характеристик, к которым относятся первичная продукция и содержание хлорофилла “а” ($C_{\text{ХЛ}}$, хл “а”), изучены достаточно подробно [4–8, 14–16, 22, 32, 33]. В тоже время количественные характеристики изменчивости содержания компонентов ВОВ (взвешенный органический углерод $C_{\text{ВОВ}}$ и органический азот $N_{\text{ВОВ}}$) в глубоководных районах моря исследованы менее подробно. Результаты

анализа данных отдельных наблюдений в различные сезоны года были представлены в работах [1, 2, 9–13, 21, 28, 29]. Анализ некоторых особенностей сезонной изменчивости распределений содержания компонентов ВОВ в глубоководных и шельфовых районах моря был проведен в работах [3, 18, 19].

Однако непродолжительные по времени наблюдения (1984–1994 гг.) относительно немногочисленные экспериментальные данные о содержании компонентов ВОВ и неравномерное их распределение по годам и сезонам не позволили качественно проследить сезонные межгодовые изменения их концентраций и установить причины этих изменений. Кроме того, крайне ограниченные возможности экспедиционных исследований, а также трудоемкость прямых определений концентрации компонентов ВОВ не позволяют в ближайшее время надеяться на пополнение экспериментальных данных. Компенсировать их отсутствие возможно расчетным путем с использованием корреляционных связей между одновременно измеренными концентрациями компонентов ВОВ и хл “а” [8, 15, 19].

Целью настоящей статьи, продолжающей проведенные ранее [3, 18, 19] исследования, является обобщение и анализ результатов многолетних (1978–1995 гг.) наблюдений содержания компонентов ВОВ и их пространственно-временной изменчивости в поверхностном слое (0–5 м) и в слое

фотосинтеза в глубоководных районах Черного моря, а также оценка сезонной межгодовой изменчивости содержания $C_{\text{ВОВ}}$ в течение 1978–2010 гг. по экспериментальным и расчетным данным.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В работе использовались данные судовых измерений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$, хл “а” из банка данных Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей НАН Украины, а также литературные данные по содержанию $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” [4, 5, 9–12, 21, 22, 25, 26].

Проанализированы результаты измерений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$, полученные в 34 экспедициях в течение 1978–1995 гг. на 309 станциях и 1377 горизонтах, в том числе, зимой (январь–март) – на 91 станции и 274 горизонтах, весной (апрель–май) – на 57 станциях и 485 горизонтах, летом (июнь–сентябрь) – на 78 станциях и 377 горизонтах, осенью (октябрь–декабрь) – на 83 станциях и 241 горизонте. Для анализа также использовали результаты измерений концентрации хл “а” на 1108 станциях и 4747 горизонтах, в том числе, зимой – на 223 станциях и 919 горизонтах, весной – на 112 станциях и 681 горизонте, летом – на 404 станциях и 2182 горизонтах, осенью – на 369 станциях и 965 горизонтах и среднемесячные значения его концентраций по результатам наблюдений радиометра CZCS за 1978–1986 гг. (данные были любезно переданы автору В.В. Суслиным) и SeaWiFS за 1998–2010 гг. [31]. Методика отбора проб и определения в них содержания компонентов ВОВ подробно описана в работах [3, 17].

Для оценки степени деструкции ВОВ использовали атомарное отношение $C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$ (далее C/N) [23], для оценки соотношения детритной и фитопланктонной фракций в ВОВ использовали величину отношения $C_{\text{ВОВ}}/C_{\text{ХЛ}}$ (далее $C/\text{хл}“а”$) [12, 30], где $C_{\text{ВОВ}}[\text{мкМ}] \times 12$ (атомный вес C) = $C_{\text{ВОВ}} [\text{мгС/м}^3]$, $C_{\text{ХЛ}} [\text{мг/м}^3]$. Средние значения этих отношений определялись по отдельным отношениям концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а”, измеренных одновременно.

На основании проведенных расчетов регрессионного анализа для разных сезонов были получены линейные уравнения регрессии вида $C_{\text{ВОВ}} = aC_{\text{ХЛ}} + b$. Для расчетов использовали данные одновременных наблюдений этих параметров в годы, когда не были отмечены аномальные изменения их концентраций. Степень связи между выбранными N парами $C_{\text{ВОВ}}$ и $C_{\text{ХЛ}}$ оценивалась по коэффициенту корреляции (r), его достоверности (p) и стандартной ошибке регрессии (σ)

[24]. В результате были получены следующие сезонные уравнения:

$$\text{для зимнего периода} - C_{\text{ВОВ}} = 2.8 C_{\text{ХЛ}} + 10$$

$$(r = 0.7; \sigma = 2.6; N = 67);$$

$$\text{для весеннего} - C_{\text{ВОВ}} = 13.4 C_{\text{ХЛ}} + 8.6$$

$$(r = 0.67; \sigma = 4.7; N = 51);$$

$$\text{для летнего} - C_{\text{ВОВ}} = 25.5 C_{\text{ХЛ}} + 7.4$$

$$(r = 0.68; \sigma = 2.1; N = 46);$$

$$\text{для осеннего} - C_{\text{ВОВ}} = 12.5 C_{\text{ХЛ}} + 3.6$$

$$(r = 0.64; \sigma = 3.4; N = 75).$$

Значения коэффициентов корреляции r (0.64–0.7) для приведенных зависимостей оказались достоверными при высоком уровне значимости ($p < 0.001$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для расположенного в умеренных широтах Черного моря характерны выраженные сезонные и межгодовые изменения природных (биотических и абиотических) факторов, оказывающих существенное влияние на формирование и изменчивость распределений концентраций компонентов ВОВ. Известно, что зимне-весеннее “цветение” фитопланктона является важным периодом его сезонной сукцессии. Зимой в глубоководных районах моря создаются условия для интенсивного развития фитопланктонного сообщества. Это обусловлено высоким положением основного пикноклина, задерживающего основную массу водорослей в слое фотосинтеза, а также усилением вертикального потока биогенных элементов, приводящим к увеличению их концентрации в слое фотосинтеза. В весенний период наблюдается переход от продукционной к деструкционной фазе сукцессии фитопланктона. На распределение и динамику ВОВ в летний период влияют следующие факторы. Прежде всего, это сезонный термоклин, затрудняющий вертикальный обмен и препятствующий как опусканию ВОВ в нижележащие слои, так и поступлению из этих слоев биогенных элементов в слой фотосинтеза. Кроме того, в поздневесенний период происходит отмирание диатомового комплекса и наблюдается рост числа клеток пикопланктона и мелких жгутиковых. Начинается переход к летней форме сукцессии, которая в значительной степени представлена гетеротрофными формами. На распределение ВОВ в осенний период влияют следующие факторы. Прежде всего, это связано с сезонной перестройкой вертикальной гидрологической структуры вод, снижающей ее вертикальную устойчивость. Поздней осенью разрушаются сезонные термоклин и пикноклин, что способствует поступлению питатель-

Таблица 1. Сезонные изменения содержания компонентов взвешенного органического вещества в поверхностном слое в глубоководных районах Черного моря в периоды 1978–1990 (1), 1991–1995 (2) гг.

Район	Сезон	Период	$C_{\text{ВОВ}}$, мкМ	$N_{\text{ВОВ}}$, мкМ	N/n	$C_{\text{ХЛ}}$, мг/м ³	N/n	C/N	$C/\text{хл}^{\text{“a”}}$
Западный	Зима	1	14.8 ± 4.0	1.67 ± 0.52	4/58	1.58 ± 0.82	5/91	9.2 ± 2.2	138 ± 78
		2	16.7	1.94	1/1	1.55 ± 0.17	2/5	8.6	131
	Весна	1	11.3 ± 3.7	1.26 ± 0.65	4/9	0.44 ± 0.31	5/29	11.9 ± 6.7	774 ± 542
		2	14.7 ± 6.9	2.17 ± 1.38	2/12	0.54 ± 0.37	3/20	7.8 ± 2.3	318 ± 123
	Лето	1	9.9 ± 1.8	1.23 ± 0.61	3/12	0.21 ± 0.17	10/176	10.8 ± 7.6	1060 ± 635
		2	27.3 ± 8.7	3.18 ± 1.58	2/6	0.89 ± 0.22	1/4	9.4 ± 2.2	395 ± 102
	Осень	1	12.1 ± 4.9	1.21 ± 0.47	3/27	0.52 ± 0.24	5/66	10.3 ± 3.8	228 ± 106
		2	11.3 ± 3.5	1.43 ± 0.63	3/14	0.47 ± 0.23	5/42	8.9 ± 4.1	378 ± 185
Восточный	Зима	1	16.2 ± 4.2	1.73 ± 0.42	3/15	1.15 ± 0.78	4/46	9.5 ± 1.9	127 ± 51
		2	15.9 ± 2.2	2.71 ± 0.86	1/3	1.32 ± 0.62	2/10	6.2 ± 1.2	130 ± 24
	Весна	1	11.3 ± 3.1	2.4 ± 0.1	3/9	0.3 ± 0.25	4/30	5.6 ± 0.2	600 ± 100
		2	17.8 ± 6.0	2.72 ± 0.8	1/7	0.36 ± 0.19	2/15	7.6 ± 2.3	872 ± 606
	Лето	1	11.1 ± 2.3	1.35 ± 0.55	2/20	0.16 ± 0.12	9/128	10.2 ± 6.4	1286 ± 430
		2	43.5 ± 20.2	8.3 ± 6.3	2/12	2.33 ± 1.03	1/8	7.0 ± 3.0	301 ± 110
	Осень	1	10.9 ± 7.6	0.97 ± 0.54	3/15	0.44 ± 0.2	5/71	9.1 ± 3.5	152 ± 64
		2	16.1 ± 4.7	2.2 ± 0.35	2/9	0.61 ± 0.31	4/45	9.2 ± 2.1	200 ± 52

ных веществ в зону фотосинтеза из нижележащих слоев. В то же время из-за снижения освещенности основная доля первичной продукции начинает образовываться в приповерхностном слое. Кроме того, в этот период происходит сезонная сукцессия фитопланктонного сообщества — на смену пиропитовым видам вновь приходят диатомовые водоросли.

Пространственное распределение. Для построения карт сезонных распределений содержания компонентов ВОВ данные измерений осреднялись в прямоугольниках со сторонами, равными 40' по широте и 1° по долготе (практически это квадраты со стороной 40 миль). Средние значения их концентраций относились к центру квадрата (обозначен на картах кружком), в котором они вычислялись.

В зимний период особенности распределений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое, полученные по результатам измерений в 1988 и 1992 гг. (рис. 1а, 1б), хорошо совпадали. Максимальные их значения ($C_{\text{ВОВ}}$ — 16–21 мкМ, $N_{\text{ВОВ}}$ — 1.8–2.6 мкМ) были зарегистрированы юго-западнее Крыма в районе циклонического круговорота, в районе материкового склона, прилегающего к побережью Болгарии, а также в западной половине восточной части моря. В слое фотосинтеза здесь также наблюдались повышенные концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$, но примерно в 1.5 раза меньшие по сравнению с концентрациями в поверхностном

слое [18]. Кроме того, в этих районах (особенно в слое фотосинтеза) были отмечены повышенные значения концентрации хл “а” (0.9–1.35 мг/м³) (рис. 2а). Величины отношения $C/\text{хл}^{\text{“a”}}$ изменялись в пределах 140–180 в поверхностном слое и 120–140 в слое фотосинтеза, а отношения C/N — 7–9 и 6–7.5 в этих слоях соответственно. Пониженные значения концентрации компонентов ВОВ в обоих слоях находились в центральной области западной части моря (на периферии циклонического круговорота). Величины отношения $C/\text{хл}^{\text{“a”}}$ в этой области изменялись в пределах 180–220 в поверхностном слое и 150–170 в зоне фотосинтеза, а отношения C/N в этих слоях — 8–11.

Содержание компонентов ВОВ в поверхностном слое в западной части моря в зимний период было несколько ниже (на 4–9%), а хл “а” — выше (на 37%), чем в восточной части моря (табл. 1). В начале 90-х годов содержание этих компонентов в западной части моря увеличилось на 13–16%, а содержание хл “а” практически не изменилось. В восточной части моря в эти годы содержание $C_{\text{ВОВ}}$ не изменилось, а $N_{\text{ВОВ}}$ выросло более чем в 1.5 раза. Концентрация хл “а” также несколько возросла, но все же была ниже, чем в западной части моря. Содержание компонентов ВОВ и хл “а” в слое фотосинтеза в обеих частях моря в 80-е и 90-е годы было на 6–30% ниже, чем в поверхностном слое [18]. Исключение состави-

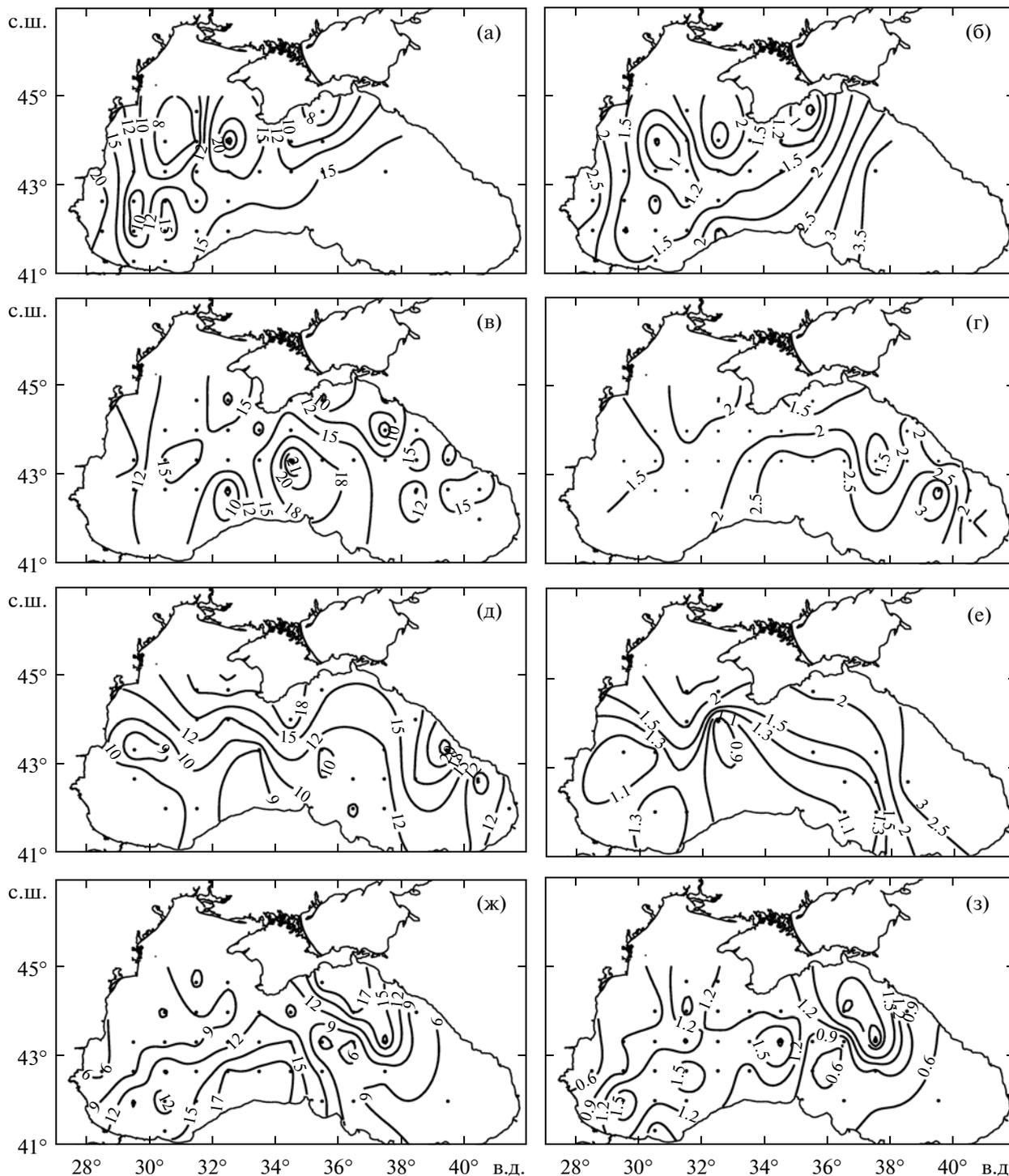


Рис. 1. Распределение концентраций C_{BOV} (мкМ) – (а), (в), (д), (ж) и N_{BOV} (мкМ) – (б), (г), (е), (з) в поверхностном слое Черного моря в зимний – (а), (б), весенний – (в), (г), летний – (д), (е) и осенний – (ж), (з) периоды.

ло более высокое содержание хл “а” в восточной части моря в начале 90-х годов. В эти же годы содержание компонентов ВОВ в слое фотосинтеза увеличилось в 1.2–1.6 раза по сравнению с их содержанием в 80-е годы. Средние величины отношения $C/хл“а”$ в обеих частях моря в поверхностном

слое изменялись в пределах 127–138, а в слое фотосинтеза – 117–121. Величина отношения C/N в поверхностном слое в обеих частях моря была равна 8.9 ± 2.0 . В слое фотосинтеза в западной части моря она также была равна 8.9 ± 2.0 , а в восточной части – 7.2 ± 1.8 . Приведенные величины отно-

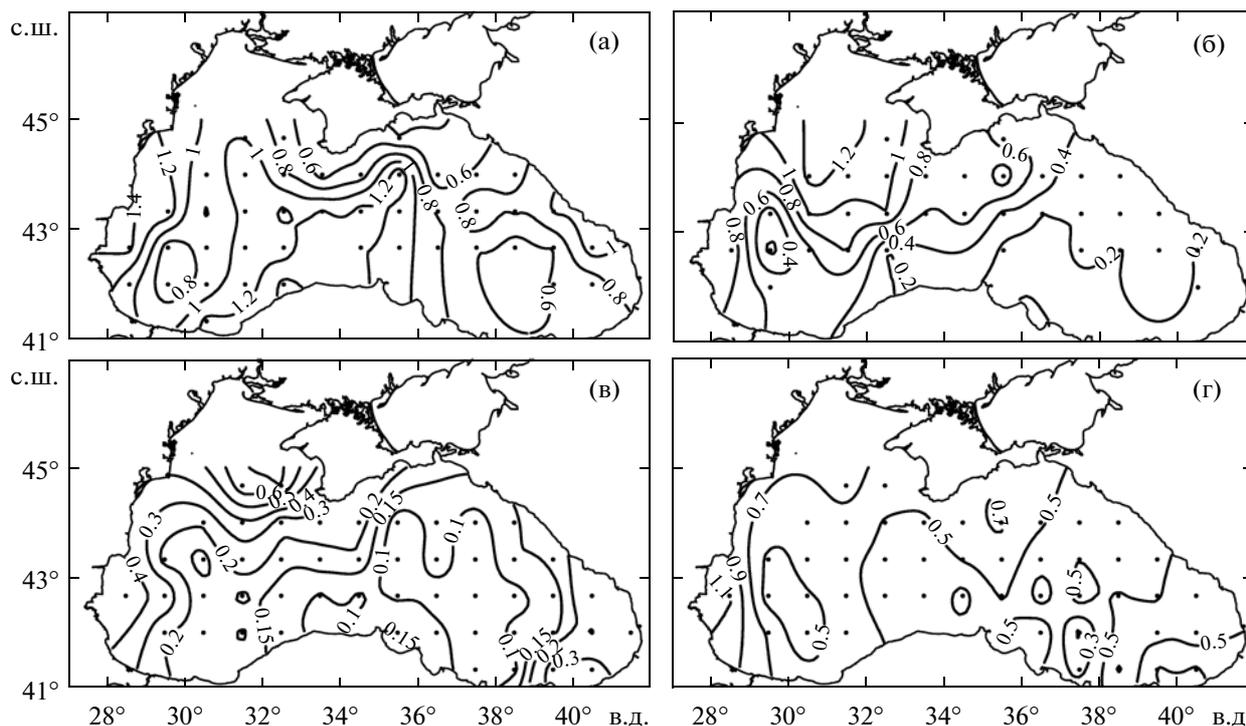


Рис. 2. Распределение концентраций хл “а” ($\text{мг}/\text{м}^3$) в поверхностном слое моря в зимний – (а), весенний – (б), летний – (в) и осенний – (г) периоды.

шений содержания компонентов ВОВ свидетельствуют о том, что ВОВ состояло из фитопланктона и детрита, находящегося на различных стадиях биохимической трансформации. Это также подтверждается средними значениями биомассы фитопланктона, рассчитанными по концентрации хл “а” на сухую массу ($C_{\text{хл}} \times 50$ [3]) и равными в исследуемых слоях $75\text{--}79 \text{ мгС}/\text{м}^3$ и $50\text{--}58 \text{ мгС}/\text{м}^3$, и их доли от содержания $C_{\text{ВОВ}} - 45\text{--}50\%$ и $30\text{--}33\%$ в западной и восточной частях моря соответственно.

Внутрисезонная изменчивость содержания компонентов ВОВ и хл “а”, определяемая по сезонным изменениям коэффициента вариации (отношение среднего квадратического отклонения к среднему значению), в зимний период в поверхностном слое и в слое фотосинтеза в обеих частях моря была примерно одинаковой [18]. При этом максимальные изменения были характерны для концентрации хл “а”, минимальные – для $C_{\text{ВОВ}}$.

В весенний период содержание $C_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое и в слое фотосинтеза уменьшилось по сравнению с зимним периодом примерно на $15\text{--}30\%$ [18]. Еще более существенно уменьшилось содержание хл “а” (в 4–5 раз). В то же время для весеннего периода (как и для зимнего) было характерно чередование областей повышенных и пониженных концентраций компонентов ВОВ. Так, область максимальных концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$, наблюдаемая зимой юго-западнее Крыма,

весной сместилась несколько юго-восточнее (рис. 1в, 1г). Содержание хл “а” здесь также было повышенным по сравнению с другими районами моря (рис. 2б). Величины отношения $C/\text{хл}“а”$ находились в пределах $100\text{--}220$ в поверхностном слое и $450\text{--}500$ в слое фотосинтеза, а отношения C/N – в пределах $7.5\text{--}8.8$ и $6.5\text{--}7$ в этих слоях соответственно. Такие величины отношения $C/\text{хл}“а”$, видимо, свидетельствуют о том, что более или менее активное продуцирование фитопланктона в этом районе моря продолжалось только в поверхностном слое моря. Пониженные значения концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ ($9\text{--}12 \text{ мкМ}$), $N_{\text{ВОВ}}$ ($1.2\text{--}1.5 \text{ мкМ}$) и хл “а” ($0.25\text{--}0.3 \text{ мг}/\text{м}^3$) в поверхностном слое зарегистрированы в восточной части моря в районе $37\text{--}38^\circ$ в.д., где часто наблюдались антициклонические вихревые образования. Пониженные концентрации этих компонентов ВОВ также были отмечены в слое фотосинтеза. Рассчитанные величины отношения $C/\text{хл}“а”$, равные $500\text{--}700$ для поверхностного слоя и $350\text{--}400$ для слоя фотосинтеза, и отношения C/N , равные $8\text{--}11$ в этих слоях, свидетельствуют о том, что зимне-весеннее “цветение” фитопланктона в этом районе закончилось и органическая взвесь содержала значительное количество детрита, находящегося на различных стадиях трансформации. Рассчитанные значения биомассы фитопланктона в глубоководной части моря в исследуемых слоях были равны $15\text{--}22 \text{ мгС}/\text{м}^3$, что составляло не более

20% от содержания $C_{\text{ВОВ}}$. Это также указывало на преобладание детритной фракции в ВОВ.

Содержание компонентов ВОВ в весенний период в поверхностном слое и в слое фотосинтеза в обеих частях моря уменьшилось в 1.1–1.5 раза по сравнению с зимним периодом (табл. 1). Еще более значительно (в 3–5 раз) понизилось содержание хл “а” в поверхностном слое. В начале 90-х годов было зарегистрировано увеличение содержания ВОВ в поверхностном слое во всем море (в 1.2–1.7 раза), а в слое фотосинтеза в западной его части в 1.1–1.3 раза [18]. В восточной же части в слое фотосинтеза концентрации $N_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” в этот период уменьшились в 1.2–1.4 раза. Содержание компонентов ВОВ (особенно $N_{\text{ВОВ}}$) в западной части моря было ниже, а концентрации хл “а” заметно выше, чем в восточной части. Также выше была их концентрация в поверхностном слое, чем в слое фотосинтеза.

Весной внутрисезонная изменчивость содержания компонентов ВОВ и хл “а” в поверхностном слое во всем море несколько увеличилась по сравнению с зимним периодом и была более высокой в западной его части. В слое фотосинтеза в западной части моря она была близка к изменчивости в зимний период. В восточной части в этом слое изменчивость концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” весной несколько повысилась, а концентрации $N_{\text{ВОВ}}$ — понизилась. В слое фотосинтеза только в восточной части моря изменчивость концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” весной незначительно повысилась, а концентрации $N_{\text{ВОВ}}$ — понизилась [18].

В летний период пространственные распределения концентраций компонентов ВОВ (рис. 1д, 1е) и хл “а” (рис. 2в), полученные в течение 1978–1990 гг. (рис. 1д, 1е), изменились по сравнению с их распределениями в весенний период. Повышенные концентрации наблюдались в северных и восточных районах моря, пониженные были отмечены в южных его районах.

Содержание $C_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое летом в течение 1978–1990 гг. (период 1), равное 9.9 ± 1.8 мкМ в западной и 11.1 ± 2.3 мкМ в восточной частях моря (табл. 1), незначительно изменилось по сравнению с весенним периодом. Содержание $N_{\text{ВОВ}}$ в западной части моря почти не изменилось, а в восточной — оно понизилось. В слое фотосинтеза концентрации компонентов ВОВ практически не изменились [19]. Концентрации хл “а” в поверхностном слое в обеих частях моря летом уменьшились в 2 раза по сравнению с весенним периодом, при этом отмечалось небольшое их превышение в западной части моря (рис. 2в, табл. 1). В слое фотосинтеза концентрация хл “а” увеличилась в 1.5–2 раза по сравнению с концентрацией в поверхностном слое. Различие между весенней и летней концентрациями хл “а” уменьшилось,

но при этом в оба сезона более высокое его содержание наблюдалось в восточной части моря. Рассчитанные для западной и восточной частей моря величины отношения $C/\text{хл}“а”$ для поверхностного слоя превышали 1000, а для слоя фотосинтеза находились в пределах 350–600. Отношение C/N для поверхностного слоя в западной части моря было равно 10.8 ± 7.6 , в восточной — 10.2 ± 6.4 , а в слое фотосинтеза — 7.8 ± 2.2 . Такие величины отношений, а также низкие значения биомассы фитопланктона в этих слоях ($8–15$ мгС/м³) и их доли от содержания $C_{\text{ВОВ}}$ (6–13%) свидетельствовали о том, что органическое вещество в основном состояло из детрита, находящегося в сильно трансформированном состоянии.

Летом 1992 г. в море наблюдалось необычно интенсивное развитие фитопланктона (особенно мелкоразмерных видов кокколитофорид и перидиниевых) [32] и в июле в северной половине акватории моря было отмечено значительное увеличение содержания компонентов ВОВ по сравнению с предыдущим периодом наблюдений [19]. В западной части моря их концентрации выросли более чем в 2.5 раза, в восточной части концентрация $C_{\text{ВОВ}}$ увеличилась почти в 4 раза, а $N_{\text{ВОВ}}$ — в 6 раз (табл. 1). Повышенные значения содержания компонентов ВОВ наблюдались в центральном районе моря, где концентрация $C_{\text{ВОВ}}$ была равна 40–50 мкМ, а концентрация $N_{\text{ВОВ}}$ — 10–18 мкМ. Пониженные значения их концентраций отмечены в западной и юго-восточной частях моря. Распределение концентрации хл “а” хорошо совпадало с распределениями концентраций ВОВ (особенно $C_{\text{ВОВ}}$). Содержание хл “а” в 1992 г. по сравнению с предыдущим периодом заметно увеличилось во всем море, но более значительно (более чем в 10 раз) в восточной его части. Распределение компонентов ВОВ и их концентраций в слое фотосинтеза хорошо совпадало с их распределениями и концентрациями в поверхностном слое [19]. Также были близки значения отношений C/N (9.4 ± 2.2 и 8.3 ± 1.8 в западной части моря и 7.0 ± 3.0 и 5.6 ± 1.5 в восточной в поверхностном слое и в слое фотосинтеза соответственно) и $C/\text{хл}“а”$ (395 ± 102 и 377 ± 151 в западной части моря и 301 ± 110 и 285 ± 189 в восточной в поверхностном слое и в слое фотосинтеза соответственно). Такие величины отношений, видимо, свидетельствуют о том, что в составе ВОВ в обеих частях моря преобладал детрит, находившийся на различных стадиях биохимической трансформации. При этом в восточной части моря он был менее трансформированным.

Летом более высокая внутрисезонная изменчивость концентрации компонентов ВОВ в поверхностном слое наблюдалась в 80-е годы в западной части моря, а в 1992 г., наоборот, — в восточной его части [19]. При этом максимальные изменения были характерны для концентрации

хл “а”, минимальные — для $C_{\text{ВОВ}}$. В слое фотосинтеза более высокая их изменчивость была зарегистрирована в восточной части моря.

В осенний период пространственные распределения концентраций компонентов ВОВ, полученные в течение 1978–1990 гг., изменились по сравнению с их распределениями в летний период в эти же годы. Так, повышенное их содержание ($C_{\text{ВОВ}}$ равен 15–19 мкМ, $N_{\text{ВОВ}}$ — 1.5–1.9 мкМ) наблюдалось в южной части центрального района моря (рис. 1ж, 1з), тогда как летом здесь оно было пониженным. В северо-восточной части моря повышенные их концентрации (как и летом) были зарегистрированы в северо-восточной части моря, а в северо-западном районе они уменьшились примерно в 1.5 раза. В распределении хл “а” в поверхностном слое в основном сохранились особенности, отмеченные выше для его распределений в летний период. В тоже время на большей части акватории моря это распределение стало менее однородным, напоминая мозаичную структуру (рис. 2г). Для распределений компонентов ВОВ в слое фотосинтеза (в отличие от их распределений в поверхностном слое) было характерно увеличение концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ в западном направлении и область повышенной концентрации $N_{\text{ВОВ}}$, расположенная юго-западнее Крыма [19]. В распределении концентрации хл “а” в слое фотосинтеза отмечены такие же особенности, какие были характерны для его распределения в поверхностном слое. Отличной от летнего периода особенностью явилось низкое содержание хл “а” в южной половине моря, увеличивающееся в северном направлении и в районе Кавказского побережья. Область повышенных его концентраций также была отмечена в юго-восточной части моря (в районе квазистационарного антициклонического круговорота).

Содержание $C_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое увеличилось по сравнению с летним периодом на ~18%, а содержание $N_{\text{ВОВ}}$, практически не изменившееся в западной части моря, в восточной его части увеличилось на 11% (табл. 1). В слое фотосинтеза содержание $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ увеличилось примерно на 30% (в восточной части измерения их концентраций летом в 80-е годы не проводились). Более значительные изменения в осенний период наблюдались в концентрации хл “а”. В поверхностном слое она увеличилась в 2.5–3 раза по сравнению с летним периодом (1978–1990 гг.). В слое фотосинтеза содержание хл “а” в западной части моря увеличилось незначительно, а в восточной оно выросло в 2 раза [19].

Концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое и в слое фотосинтеза во всем море в осенний период были примерно одинаковыми. Также близки были концентрации $N_{\text{ВОВ}}$ в этих слоях в восточной части моря. В западной части отмечено увеличение его концентрации в слое фотосинтеза (на ~25%) по

сравнению с концентрацией в поверхностном слое. Рассчитанные величины отношения $C/\text{хл}“а”$ были примерно одинаковыми в обоих слоях и равными 270–280 в западной и 182 в восточной частях моря. Величины отношения C/N были близкими в одинаковых слоях в обеих частях моря. В разных слоях эти величины отличались. Так, в поверхностном слое это отношение в западной части было равно 9.9 ± 4.0 , в восточной — 9.1 ± 3.0 . В слое фотосинтеза оно было равно 6.9 ± 1.0 и 7.4 ± 1.3 в западной и восточной частях моря соответственно. Такие величины отношений, а также не высокие значения биомассы фитопланктона в исследуемых слоях ($14\text{--}26 \text{ мгС/м}^3$) и их доли от содержания $C_{\text{ВОВ}}$ (8–18%) свидетельствовали о том, что ВОВ в осенний период был представлен фитопланктоном и детритом, находившемся на различных стадиях трансформации. При этом детрит был менее трансформирован в слое фотосинтеза.

Осенью повышенная внутрисезонная изменчивость в поверхностном слое была отмечена для концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” в восточной части моря. В слое фотосинтеза более изменчивым было содержание $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ в западной части, а изменения концентрации хл “а” в обеих частях моря были близки [19].

Внутригодовая изменчивость. Характер внутригодовых изменений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое и в слое фотосинтеза в обеих частях моря примерно одинаков, а их абсолютные величины несколько выше в восточной части (рис. 3, табл. 2). Повышенные значения этих концентраций наблюдались в зимний период и максимальные значения были отмечены в марте. Весной содержание $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ понижалось, достигая минимума в мае. В то же время более высокое содержание $N_{\text{ВОВ}}$ в апреле по сравнению с мартом (особенно это было заметно в восточной части моря) объяснялось межгодовой изменчивостью [18]. Высокие их среднемесячные значения в июле и августе, сопоставимые с концентрациями компонентов ВОВ в летний период в предустьевых районах северо-западной части моря [17], были получены в аномальном 1992 г. Это также подтверждается зарегистрированными нами в июле этого года высокими концентрациями хл “а” в восточной (более 2 мг/м^3) и западной ($0.89 \pm 0.22 \text{ мг/м}^3$) частях моря. Однако приведенные в табл. 2 осредненные за несколько лет среднемесячные значения в западной части моря оказались значительно ниже этих значений и более близкими к среднегодовым величинам, рассчитанным за период 1960–1991 гг. [6]. Это, видимо, позволяет предположить, что в июле в обычные (неаномальные) годы содержание $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ было невысоким и близким к средним концентрациям в летний период, приведенным в табл. 1. В позднелетний период (сентябрь) во всем море и в декабре в за-

падной его части содержание компонентов ВОВ было пониженным. В ноябре отмечено небольшое повышение их концентраций.

Характер внутригодовых изменений концентрации хл “а”, хорошо совпадающий с описанными в работах [8, 15] результатами анализа такой изменчивости, в основном был подобен характеру изменений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ (рис. 3, табл. 2) Максимальные величины его концентрации в обеих частях моря наблюдались в марте. Весной концентрации хл “а” заметно снижались (в 5–10 раз) и минимальные ее значения отмечались, как правило, в мае. В западной части моря в июне–августе концентрация хл “а” (0.24–0.28 мг/м³) и ее изменчивость была невысокой. В сентябре она уменьшилась почти в 2 раза. В восточной части моря в летний период (за исключением июля 1992 г.) содержание хл “а” было близким к его содержанию в западной части. Изменение величины отношения $C/\text{хл}“а”$ в поверхностном слое западной части моря с 732 в июне до 1577 в сентябре, видимо, говорит об увеличении доли детрита в ВОВ, а рост отношения C/N с 8.2 в июне до 9.1–10.7 в августе–сентябре свидетельствует о продолжающейся его трансформации. В слое фотосинтеза доля детрита в летний период была значительно ниже, чем в поверхностном слое [19]. В осенний период содержание хл “а” в обеих частях моря по сравнению с летним периодом увеличилось как в поверхностном слое, так и в слое фотосинтеза. Небольшой максимум его концентрации в этих слоях в западной части моря отмечены в октябре и декабре, в восточной части – в ноябре.

Межгодовая изменчивость. Сравнение диапазона изменения концентраций компонентов ВОВ и коэффициента вариации для отдельных месяцев и сезонов с аналогичными показателями для отдельных съемок показало, что межгодовая изменчивость была выше пространственной изменчивости в зимне-весенний период в 2–3 раза, в летний – в 1.6–2 раза, в осенний – в 2.3–3 раза. Такие сравнительные оценки изменчивости согласуются с оценками изменчивости концентрации хл “а”, приведенными в работе [6].

Использование для расчетов концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ спутниковых данных по концентрации хл “а”, полученных сканерами CZCS (1979–1986 гг.) и Sea WiFS (1998–2010 гг.), позволило восполнить недостаток судовых наблюдений в этот период. Сравнение среднемесячных концентраций хл “а”, полученных в результате судовых и спутниковых наблюдений в одних и тех же районах, показало их удовлетворительное сходство (различие составляло 10–30% и, как правило, концентрации по спутниковым наблюдениям были выше). Также хорошо совпадал характер внутригодовых изменений этих концентраций. Удовлетворительные результаты таких сравнений

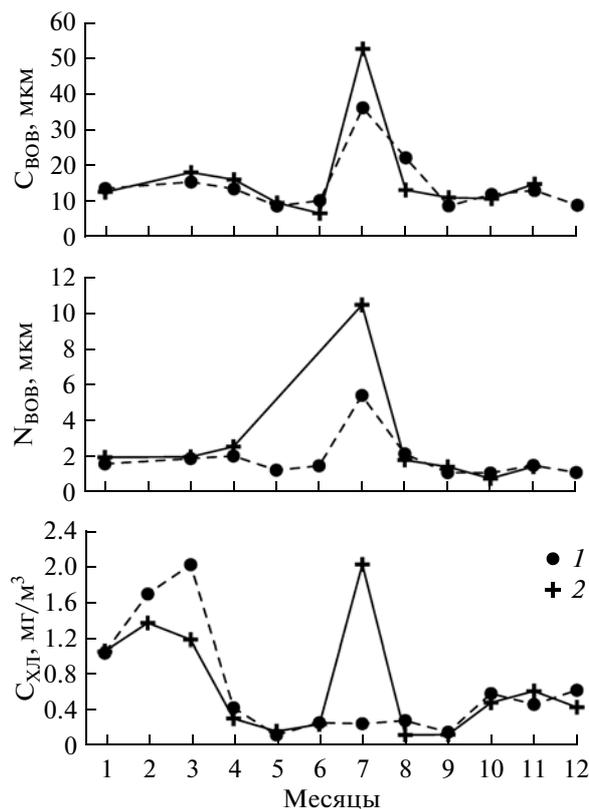


Рис. 3. Изменение среднемесячных концентраций $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” в поверхностном слое в западной (1) и восточной (2) частях моря.

являются хорошим основанием для расчетов концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ в эти годы. Различие измеренных и рассчитанных сезонных значений концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ в одинаковых районах в основном находилось в пределах 5–15%. Максимальное их различие (20–33%) было получено в осенний период в 1990–1993 гг. [19].

Сезонные межгодовые изменения концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а” в поверхностном слое в западной и восточной частях моря в течение 1978–1995 гг. представлены на рис. 4, 5. Как и при анализе их сезонной изменчивости (табл. 1), на этих рисунках можно выделить два временных интервала: 1978–1989 и 1990–1993 гг., различающиеся уровнями содержания $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а”. Более низкие их концентрации и межгодовые изменения во все сезоны года были отмечены в первом интервале. В 1979–1984 гг. рассчитанные по спутниковым определениям концентрации хл “а” значения концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ в зимний период были ниже средних его концентраций для этого периода (рис. 6). В эти годы наблюдались теплые зимы [27], относительно высокая прозрачность, повышенная зимняя температура воды и ниже средней величина биомассы фитопланктона (рис. 4) [20].

Таблица 2. Внутригодовые изменения содержания компонентов взвешенного органического вещества в поверхностном слое в глубоководных районах Черного моря

Параметр	Величина*	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII*	VIII*	IX	X	XI	XII
Западная часть													
C _{ВОВ} , МКМ	мин	6.9	—	10.8	6.8	6.7	9.2	34.3	13.9	6.7	5.7	6.6	6.7
	макс	26.4	—	22.0	28.0	11.5	12.2	39.3	31.5	12.3	25.8	21.1	15.7
	M	13.9	—	15.8	13.8	8.9	10.5	36.8	22.6	9.0	12.3	13.4	9.2
	σ	4.7	—	2.8	6.3	2.0	1.0	2.5	6.6	2.2	6.0	4.5	3.0
	N/n	2/27	—	2/31	4/17	2/4	2/7	1/2	1/4	1/5	3/11	3/22	1/8
N _{ВОВ} , МКМ	мин	0.75	—	1.18	0.36	1.04	0.76	5.31	1.55	0.2	0.6	0.47	0.8
	макс	2.89	—	2.9	5.06	1.28	2.19	5.44	2.38	2.15	1.49	2.67	1.24
	M	1.51	—	1.81	1.96	1.16	1.41	5.38	2.08	1.02	1	1.43	1.03
	σ	0.57	—	0.41	1.32	0.12	0.48	0.07	0.34	0.68	0.35	0.59	0.18
	N/n	2/27	—	2/31	3/16	1/2	1/6	1/2	1/4	1/5	2/6	3/22	1/8
C _{ХЛ} , МГ/М ³	мин	0.31	1.6	0.53	0.1	0.07	0.08	0.06	0.04	0.06	0.22	0.03	0.03
	макс	2.06	1.8	3.43	1.71	0.13	0.56	1.19	1.08	0.47	0.87	0.93	2.11
	M	1.04	1.7	2.03	0.42	0.11	0.25	0.24	0.28	0.14	0.58	0.46	0.62
	σ	0.42	0.1	0.77	0.3	0.02	0.12	0.2	0.22	0.1	0.2	0.27	0.49
	N/n	3/44	1/2	4/53	6/42	2/6	4/45	3/44	3/54	1/33	4/34	6/41	2/33
C/N	M	9.4	—	9.1	9.1	9.6	8.2	6.9	10.7	9.1	8.7	10.5	9
	σ	1.8	—	2.5	5.0	1.5	2.6	2.6	1.6	2.9	1.5	4.7	2.4
C/хл“а”	M	191	—	76	521	1671	732	310	—	1577	192	324	192
	σ	76	—	33	437	300	197	36	—	674	104	158	45
Восточная часть													
C _{ВОВ} , МКМ	мин	8.6	—	16.2	9.2	7.8	6.9	29.8	11.0	8.4	3.4	6.4	—
	макс	17.7	—	23.6	19.2	14.0	6.9	74.5	17.7	18.3	29.2	22.4	—
	M	12.9	—	18.5	16.5	9.9	6.9	53.5	13.5	11.3	11.0	15.2	—
	σ	3.2	—	2.5	5.4	2.8	—	12	3.0	2.2	7.5	4.7	—
	N/n	2/7	—	2/11	2/13	1/5	1/1	1/9	1/3	1/19	3/15	2/9	—
N _{ВОВ} , МКМ	мин	1.14	—	1.4	0.37	—	—	3.73	1.38	0.39	0.44	0.58	—
	макс	3.84	—	2.3	3.9	—	—	20.6	2.1	2.88	0.82	2.5	—
	M	1.88	—	1.91	2.49	—	—	10.5	1.73	1.35	0.69	1.73	—
	σ	0.93	—	0.35	0.84	—	—	5.74	0.29	0.55	0.13	0.68	—
	N/n	2/7	—	2/10	2/10	—	—	1/9	1/3	1/19	1/7	2/9	—
C _{ХЛ} , МГ/М ³	мин	0.48	0.6	0.38	0.05	0.09	0.07	0.65	0.03	0.03	0.16	0.01	0.18
	макс	1.58	2.67	3.54	0.8	0.24	0.68	4.32	0.37	0.27	0.76	1.6	0.73
	M	1.05	1.37	1.19	0.3	0.16	0.23	2.33	0.11	0.11	0.48	0.61	0.43
	σ	0.36	0.92	0.79	0.16	0.06	0.15	1.03	0.08	0.06	0.16	0.39	0.14
	N/n	2/8	1/3	4/44	4/39	1/4	3/32	1/8	3/46	3/50	4/55	5/36	2/25
C/N	M	7.4	—	9.9	7.2	—	—	6.8	7.75	10.2	8.3	9.8	—
	σ	1.6	—	2.0	2.2	—	—	3.4	0.7	6.4	2.1	3.7	—
C/хл“а”	M	155	—	92	650	—	—	301	—	—	165	198	—
	σ	33	—	45	164	—	—	110	—	—	71	56	—

Примечание. * мин, макс — границы диапазона изменения величин; M — среднее арифметическое значение, σ — среднее квадратическое отклонение; N — количество рейсов; n — количество станций; VII, VIII — июль, август 1992 г.

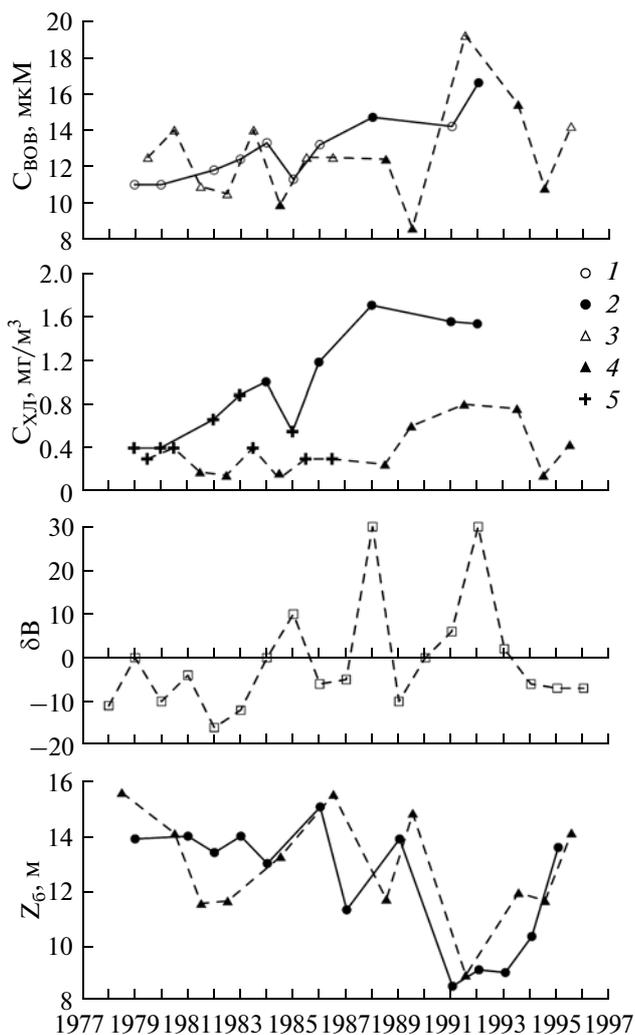


Рис. 4. Межгодовые изменения измеренных (2, 4 – судовые, 5 – спутниковые данные) и рассчитанных (1, 3) концентраций $C_{ВОВ}$ и $C_{ХЛ}$ в поверхностном слое моря, глубины видимости белого диска $Z_б$ в зимний (1, 2, 5 – сплошная линия) и весенний (3, 4, 5 – штриховая линия) периоды и аномалий среднегодовой биомассы фитопланктона δB ($г/м^2$) в слое фотосинтеза.

Отметим, что концентрации $C_{ВОВ}$ и хл “а” в 1981–1984 гг. во время теплых зим, способствующих раннему “цветению” фитопланктона, были выше, а их отклонения от средних значений ниже (рис. 6) по сравнению с весенними. В 1988 г. зимние концентрации $C_{ВОВ}$ и хл “а” заметно увеличились, температура воды и ее прозрачность понизились и была отмечена максимальная биомасса фитопланктона.

В летне-осенний период в течение 1978–1988 гг. выраженного тренда в изменении концентраций $C_{ВОВ}$ и хл “а” не наблюдалось (рис. 5, 6). В то же время, в работе [8] в эти годы отмечалось некоторое увеличение концентрации хл “а” в восточной части моря. Если не принимать во внимание не-

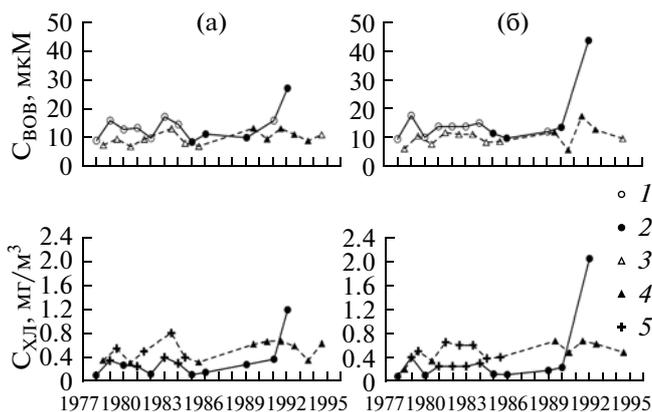


Рис. 5. Межгодовые изменения измеренных (2, 4 – судовые, 5 – спутниковые данные) и рассчитанных (1, 3) концентраций $C_{ВОВ}$ и $C_{ХЛ}$ в летний (1, 2, 5) и осенний (3, 4, 5) периоды в поверхностном слое в западной (а) и восточной (б) частях моря.

сколько завышенные (это было отмечено при сравнении данных судовых и спутниковых наблюдений) концентрации хл “а” в первой половине 80-х годов, полученные по спутниковым наблюдениям, то по судовым данным также отмечается ее повышение. Характер межгодовой изменчивости этих показателей в западной и восточной частях моря был примерно одинаковым. Пониженные концентрации были получены в 1978, 1980, 1982 и 1985 гг., когда лето было холодным [27], а биомасса фитопланктона пониженная (кроме 1985 г.). Холодным летом 1985 г. основная масса фитопланктона состояла из диатомовых, мелких перидиниевых и золотистых водорослей, крайне неравномерно распределенных по акватории моря [22]. Разброс величин численности составлял от 1 млн до 6 млрд кл/м³, а значения биомассы в зависимости от комплекса видов колебались в 46 раз. Поэтому низкое содержания $C_{ВОВ}$ и хл “а” было, видимо, получено в районах моря с относительно низкой биомассой фитопланктона.

Временной интервал 1990–1993 гг. характеризовался холодными зимами и пониженной зимней температурой воды, теплым летним периодом, повышенной биомассой фитопланктона и заметным уменьшением прозрачности воды. В эти же годы в Черном море отмечались существенные изменения в структуре зоопланктонного сообщества, связанные с массовым развитием гребневика *Mnemiopsis leidyi*. Такие климатические и биологические условия способствовали наблюдаемым в эти годы повышенным концентрациям $C_{ВОВ}$ и хл “а” (рис. 4, 5, 6). На рис. 6 не показаны максимальные аномалии этих концентраций, полученные в летний период 1992 г.

После 1993 г. уменьшение биомассы гребневика и увеличение количества кормового зоопланк-

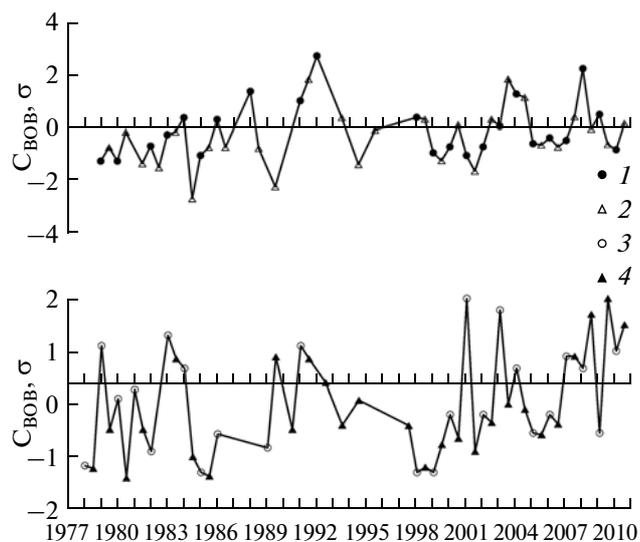


Рис. 6. Межгодовые изменения аномалий содержания C_{BOB} в зимний (1), весенний (2), летний (3) и осенний (4) периоды в западной части моря.

тона способствовало началу процесса восстановления экосистемы открытой части моря. В 1994 и 1995 гг. было отмечено снижение биомассы фитопланктона. Это, в свою очередь, повлияло на уменьшение содержания C_{BOB} и хл “а” и повышение прозрачности воды, значения которых приблизились к уровню первой половины 80-х годов.

Сведения о наблюдениях содержания компонентов ВОВ в глубоководной части моря в период после 1995 г. по настоящее время нам неизвестны. В то же время сейчас доступны данные о концентрации хл “а”, полученные в 1998–2010 гг. с помощью сканера цвета Sea WiFS [31], по которым были рассчитаны оценки возможных величин содержания C_{BOB} в этом временном интервале (табл. 3). Относительно высокое содержание C_{BOB} в весенне-летний период возможно связано с более высокими концентрациями хл “а” (~10–30%), использованными для его расчетов, по спутниковым наблюдениям по сравнению с судовыми.

На рис. 6 показаны аномалии (отклонения от средних значений, выраженные в терминах сред-

них квадратичных отклонений σ) межгодовых сезонных изменений содержания C_{BOB} в западной части моря в годовом цикле. Предварительный краткий анализ этих изменений выявил наличие некоторых особенностей, которые также были отмечены при анализе межгодовой изменчивости содержания компонентов ВОВ в период 1978–1995 гг. Так, в зимне-весенний период в 1999–2002 гг., как и в 1978–1983 гг., когда биомасса фитопланктона была пониженной, при примерно одинаковых температурных условиях (теплые зимы), концентрация C_{BOB} была ниже средних значений. В 2000 и 2007 гг., (как и в 1985 г.) во время умеренно холодной зимы содержание C_{BOB} было пониженным, а весной оно увеличилось. Еще более высокое его содержание было отмечено в зимне-весенний период в 2003 и 2004 гг. В эти годы, как и в 1992 и 1993 гг., были зарегистрировано событие Эль-Ниньо и низкая температура воды в море (ниже климатической). Такие характерные для холодной зимы условия способствовали интенсивному зимне-весеннему “цветению” фитопланктона, высокой его биомассе и повышенному содержанию C_{BOB} в 1992 и 1993 гг. Высокая его концентрация зимой и значительное ее уменьшение весной наблюдались в 1988 и 2008 гг. В эти годы зимние температура воздуха и морской воды были несколько ниже их климатических значений, а биомасса фитопланктона в 1988 г. – высокой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа многолетних данных (1978–1995 гг.) отмечено заметное различие содержаний компонентов ВОВ, зарегистрированных в море в первой и второй половинах 80-х и первой половине 90-х г. 20 столетия (особенно в летний период). Показано, что период до середины 80-х г. характеризовался относительно низкими величинами и невысокой изменчивостью их концентраций. Во второй половине 80-х г. (время появления в море гребневика *Mnemiopsis leidyi*) и в начале 90-х г. наблюдалось увеличение содержания компонентов ВОВ. Максимальные их концентрации были зарегистрированы в июле

Таблица 3. Сезонные изменения концентраций хл “а” ($C_{ХЛ}$, мг/м³) по данным сканера Sea WiFS и рассчитанных концентраций C_{BOB} ($C_{РАСЧ}$, мкМ) в западном и восточном районах Черного моря в период 1998–2010 гг.

Сезон	Западный район		Восточный район	
	$C_{ХЛ}$	$C_{РАСЧ}$	$C_{ХЛ}$	$C_{РАСЧ}$
Зима	0.88 ± 0.31	12.7 ± 1.4	0.89 ± 0.34	12.5 ± 0.9
Весна	0.52 ± 0.15	15.6 ± 1.9	0.53 ± 0.15	15.7 ± 2.0
Лето	0.34 ± 0.04	16.2 ± 1.0	0.33 ± 0.04	15.9 ± 0.9
Осень	0.69 ± 0.22	12.2 ± 2.7	0.59 ± 0.19	12.1 ± 2.5

1992 г. в период аномально интенсивного развития мелкоклеточного фитопланктона.

Повышенные концентрации компонентов ВОВ в поверхностном слое и в слое фотосинтеза в зимне-весенний период находились, как правило, в районах подъема вод (внутренние области циклонических круговоротов), а пониженные — в районах опускания вод (периферии циклонических круговоротов и антициклонические вихревые образования). Весной концентрация $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ уменьшалась в среднем в 1.5–2 раза, а хл “а” — в 4–5 раз. Максимальные значения наблюдались в марте, а минимальные — в мае.

Повышенные концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое и в слое фотосинтеза в летний период в 1978–1990 гг. наблюдались в северной части моря и вдоль Кавказского побережья, пониженные — были отмечены в его южной части. Абсолютные величины концентраций обоих компонентов ВОВ в поверхностном слое летом были незначительно ниже их концентраций в весенний период, а в слое фотосинтеза в эти оба периода они были близки. Минимальные значения концентраций были отмечены в июне и сентябре. Концентрация хл “а” в поверхностном слое летом уменьшилась примерно в 2 раза по сравнению с ее значением в весенний период.

В осенний период повышенное содержание компонентов ВОВ в поверхностном слое наблюдалось в южной части центрального района моря и в его северо-восточной части, а в слое фотосинтеза — в западной части моря. Абсолютные величины концентраций по сравнению с летним периодом увеличились на 10–20% в поверхностном слое и до 30% в слое фотосинтеза. Максимальные значения концентраций отмечены в ноябре, минимальные — в декабре. Концентрация хл “а” в поверхностном слое увеличилась в 2.5–3 раза, в слое фотосинтеза — в 1.2–2 раза. Пространственные распределения концентраций компонентов ВОВ во все сезоны хорошо совпадали с распределениями концентрации хл “а”.

Хорошая согласованность сезонных и межгодовых изменений концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ и хл “а”, являющегося показателем биомассы фитопланктона, свидетельствует о роли фитопланктона, как главного продуцента ВОВ.

Автор благодарит З.П. Бурлакову и Л.В. Еремееву за полезные обсуждения полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агатова А.И., Бурлакова З.П., Еремеева Л.В., Торгунова Н.И. Растворенное и взвешенное органическое вещество Черного моря в зимне-весенний период // Комплексные океанографические исследования Черного моря. Севастополь: МГИ АН УССР, 1989. С. 153–164.
2. Бурлакова З.П., Еремеева Л.В., Крупаткина Д.К., Чистенко В.М. Распределение и элементный состав взвешенного вещества в западной и северо-западной частях Черного моря // Процессы формирования и внутригодовой изменчивости гидрофизических и гидрохимических полей Черного моря. Севастополь: МГИ АН УССР, 1988. С. 162–172.
3. Бурлакова З.П., Еремеева Л.В., Коновалов С.К. Сезонная и пространственная изменчивость содержания взвешенного органического вещества в деятельном слое Черного моря // Морск. гидрофиз. журн. 1998. № 5. С. 30–62.
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.
5. Ведерников В.И. Особенности распределения первичной продукции и хлорофилла в Черном море в весенний и летний периоды // Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные и антропогенные факторы. М.: Наука, 1991. С. 128–147.
6. Ведерников В.И., Демидов А.Б. Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // Океанология. 1993. Т. 33. № 2. С. 229–235.
7. Ведерников В.И., Демидов А.Б., Корнеева Г.А. Особенности распределения продукционных характеристик фитопланктона и скорость гидролиза природных полимеров в Черном море в осенний период // Океанология. 1996. Т. 36. № 2. С. 250–259.
8. Ведерников В.И., Демидов А.Б. Долговременная и сезонная изменчивость хлорофилла и первичной продукции в восточных районах Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. / Отв. ред. Зацепин А. Г., Флинт М.В. М.: Наука, 2002. С. 212–234.
9. Востоков С.В. Взвешенное органическое вещество в открытых водах Черного моря весной 1984 г. // Современное состояние экосистемы Черного моря. М.: Наука, 1987. С. 59–67.
10. Востоков С.В., Коржикова Л.И. Особенности вертикального распределения взвешенного органического вещества в эпипелагиали Черного моря (май–июнь 1986 г.) // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. М.: Наука, 1989. С. 246–255.
11. Востоков С.В. Динамика взвешенного органического вещества в Черном море в период зимне-весеннего цветения вод фитопланктоном // Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные и антропогенные факторы. М.: Наука, 1991. С. 262–271.
12. Востоков С.В. Взвешенное вещество как показатель продуктивности в западной части Черного моря // Океанология. 1996. Т. 36. № 2. С. 260–267.
13. Востоков С.В., Лисицын Б.Е., Коновалов Б.В. и др. Мезомасштабная изменчивость концентрации хлорофилла “а”, взвешенного органического вещества и спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона в поверхностном

- слое северо-восточной части Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Отв. ред. Зацепин А.Г., Флинт М.В. М.: Наука, 2002. С. 235–247.
14. Демидов А.Б. Пространственно-временная изменчивость хлорофилла “а” в Черном море в зимне-весенний период // Океанология. 1999. Т. 39. № 5. С. 755–767.
 15. Демидов А.Б. Сезонная изменчивость и оценка годовых величин первичной продукции фитопланктона в Черном море // Океанология. 2008. Т. 48. № 5. С. 718–733.
 16. Крупаткина Д.К., Берсенева Г.П. Первичная продукция и хлорофилл “а” Черного моря в осенне-зимний период // Океанология. 1994. Т. 34. № 6. С. 849–854.
 17. Кукушкин А.С., Буракова З.П., Еремеева Л.В. Изменчивость распределения прозрачности и содержания взвешенного вещества в поверхностном слое вод северо-западной части Черного моря в летний период // Океанология. 2006. Т. 46. № 6. С. 834–845.
 18. Кукушкин А.С. Изменчивость содержания взвешенного органического вещества в глубоководных районах Черного моря в зимне-весенний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. Вып. 18. С. 213–227.
 19. Кукушкин А.С. Многолетняя изменчивость содержания взвешенного органического вещества в глубоководных районах Черного моря в летне-осенний период // Морск. гидрофиз. журн. 2012. № 1. С. 17–38.
 20. Кривенко О.В., Пархоменко А.В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948–2001 гг. // Морск. эколог. журн. 2010. Т. 9. № 4. С. 5–24.
 21. Люцарев С.В., Шанин С.С. Особенности распределения взвешенного органического углерода в толще вод Черного моря // Океанология. 1996. Т. 36. № 4. С. 538–542.
 22. Планктон Черного моря / Под ред. Ковалева А.В., Финенко З.З. Киев: Наукова думка, 1993. 280 с.
 23. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
 24. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятности. М.: Наука, 1970. 256 с.
 25. Сеничкина Л.Г., Георгиева Л.В., Нестерова Д.А. и др. Фитопланктон Черного моря летом 1989 г.: биомасса и ее связь с гидрологическими условиями // Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные антропогенные факторы. М.: Наука, 1991. С. 104–116.
 26. Стельмах Л.В., Бабич И.И., Тугрул С. Отношение органического углерода к хлорофиллу “а” в фитопланктоне поверхностных вод в западной части Черного моря в период осеннего “цветения” // Экология моря. 2006. Вып. 72. С. 87–91.
 27. 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.
 28. Филиппов В.С. Взвешенный органический углерод в водах аэробной зоны Черного моря // Экосистемы пелагиали Черного моря. М.: Наука, 1980. С. 62–64.
 29. Финенко З.З. Содержание органического взвешенного вещества в системе Черного и Азовского морей // Исследование планктона Черного и Азовского морей. Биология моря. Вып. 2. Киев: Наукова думка, 1965. С. 12–16.
 30. Hobson Z.A., Menzel D.W., Barber R.T. Primary productivity and sizes of pools of organic carbon in the mixed layer of the ocean // Mag. Biology. 1973. V. 19. № 4. P. 298–306.
 31. URL: <http://blackseacolor.com>.
 32. Yilmaz A., Yunev O., Vedernikov V. et al. Unusual temporal variations in the spatial distribution of chlorophyll-a in the Black Sea during 1990–1996 // Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea / Ed. Ivanov L.I., Oguz T. Dordrecht: Kluwer, 1998. V. 1. P. 105–120.
 33. Yunev O.A., Vedernikov V.I., Basturk O. et al. Long-term variability of vertical chlorophyll a and nitrate profiles in the open Black Sea: eutrophication and climate change // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2005. № 294. P. 95–107.

Variability of Suspended Organic Matter in the Surface Layer of the Black Sea Deep-Sea Areas

A. S. Kukushkin

Based on the data of multi-year observations (1978–1995) considered are the features of distributions of suspended organic matter (SOM) concentrations and their annual and inter-annual variability in the surface and photosynthesis layers in the deep-sea part of the Black Sea. Statistic estimates of seasonal and monthly average variations of SOM components' content and concentration relations of these components are obtained. The estimates of seasonal content of suspended organic carbon by chlorophyll “a” concentration in the surface layer are calculated based on regression dependence between their simultaneously measured concentrations, and, with account of this data, its inter-annual variations in 1978–2010 are analyzed. Increase of SOM components' concentration in 80-ies of the 20th century, which reached anomaly high estimations in summer, 1992, is noted. It is shown that seasonal inter-annual variations of SOM components' concentration are generally connected with inter-annual dynamics of plankton biomass which, in its turn, is determined with climate conditions.