

# Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.464

А.С. Кукушкин

## **Многолетняя изменчивость содержания взвешенного органического вещества в глубоководных районах Черного моря в летне-осенний период**

По данным многолетних наблюдений рассмотрены особенности распределений концентраций компонентов взвешенного органического вещества (ВОВ) и их внутрисезонная и межгодовая изменчивость в поверхностном слое и слое фотосинтеза в глубоководной части Черного моря в летне-осенний период. Получены статистические оценки сезонных и среднемесячных изменений содержания компонентов ВОВ, а также отношений концентраций этих компонентов, характеризующих особенности продукционно-деструкционных процессов в ВОВ. Отмечено увеличение концентраций компонентов ВОВ в 80-е и начале 90-х годов XX столетия, достигших аномально высоких значений летом 1992 г. Рассчитаны оценки содержания взвешенного органического углерода по концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое, основанные на использовании регрессионной зависимости между одновременно измеренными их концентрациями.

**Ключевые слова:** взвешенное органическое вещество, хлорофилл «а», пространственное распределение, изменчивость, отношение концентраций компонентов взвешенного органического вещества.

### **Введение**

Взвешенное органическое вещество является важным биологическим компонентом морской экосистемы. Исследование состава ВОВ и пространственно-временной изменчивости концентраций 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.

Несмотря на повышенное в последние 20 лет внимание к исследованию биогеохимических процессов, влияющих на эволюцию экосистемы Черного моря, изученность пространственно-временной изменчивости содержания компонентов ВОВ в глубоководных районах моря в настоящее время недостаточна. Более исследована изменчивость их концентраций в зимне-весенний период, когда в море в результате интенсивного развития фитопланктона создается запас органического вещества, определяющий функционирование планктонного сообщества в последующие стадии развития экосистемы [1 – 5].

Достаточно подробно также изучена изменчивость в летне-осенний период количественного и качественного состава фитопланктона и его основ-

© А.С. Кукушкин, 2012

ISSN 0233-7584. Мор. гидрофиз. журн., 2012, № 1

17

ных характеристик, к которым относятся первичная продукция и содержание хлорофилла «а» ( $C_{ХЛ}$ ) [6 – 11]. Менее исследована для этого периода года изменчивость распределений концентраций компонентов ВОВ (взвешенных органического углерода  $C_{ВОВ}$  и органического азота  $N_{ВОВ}$ ). Единичные измерения концентрации  $C_{ВОВ}$  были описаны в работах [12 – 16]. Обобщение результатов многолетних исследований содержания ВОВ в шельфовых и глубоководных районах Черного моря и анализ сезонной изменчивости его пространственного распределения были описаны в статье [17]. Однако внутрисезонная и межгодовая изменчивость содержания ВОВ в этой и других работах не рассматривалась.

Целью настоящей работы, продолжающей начатые в статье [5] исследования, являются анализ и обобщение результатов многолетних (1978 – 1994 гг.) исследований распределений концентраций компонентов ВОВ и их изменчивости (внутрисезонной и межгодовой) в летне-осенний период в поверхностном слое (0 – 5 м) и слое фотосинтеза в глубоководных районах Черного моря.

### Материалы и методика

В работе использовались данные судовых измерений концентраций  $C_{ВОВ}$ ,  $N_{ВОВ}$ ,  $C_{ХЛ}$  из банка данных Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей НАН Украины, а также литературные данные по содержанию  $C_{ВОВ}$  и  $C_{ХЛ}$  [6, 13 – 15].

Проанализированы результаты измерений концентраций  $C_{ВОВ}$  и  $N_{ВОВ}$ , полученные в 20 экспедициях в течение 1978 – 1994 гг. на 161 станции и 618 горизонтах, в том числе летом (июнь – сентябрь) – на 78 станциях и 377 горизонтах, осенью (октябрь – декабрь) – на 83 станциях и 241 горизонте. Для анализа также использовали результаты измерений концентраций  $C_{ХЛ}$  на 773 станциях и 3147 горизонтах, в том числе летом – на 404 станциях и 2182 горизонтах, осенью – на 369 станциях и 965 горизонтах.

Для исследования в рамках вышеназванного временного интервала были выделены два периода: 1978 – 1990 гг., для которых было характерно относительно стабильное оптическое состояние вод моря, и 1991 – 1994 гг., в течение которых прозрачность черноморских вод заметно понизилась.

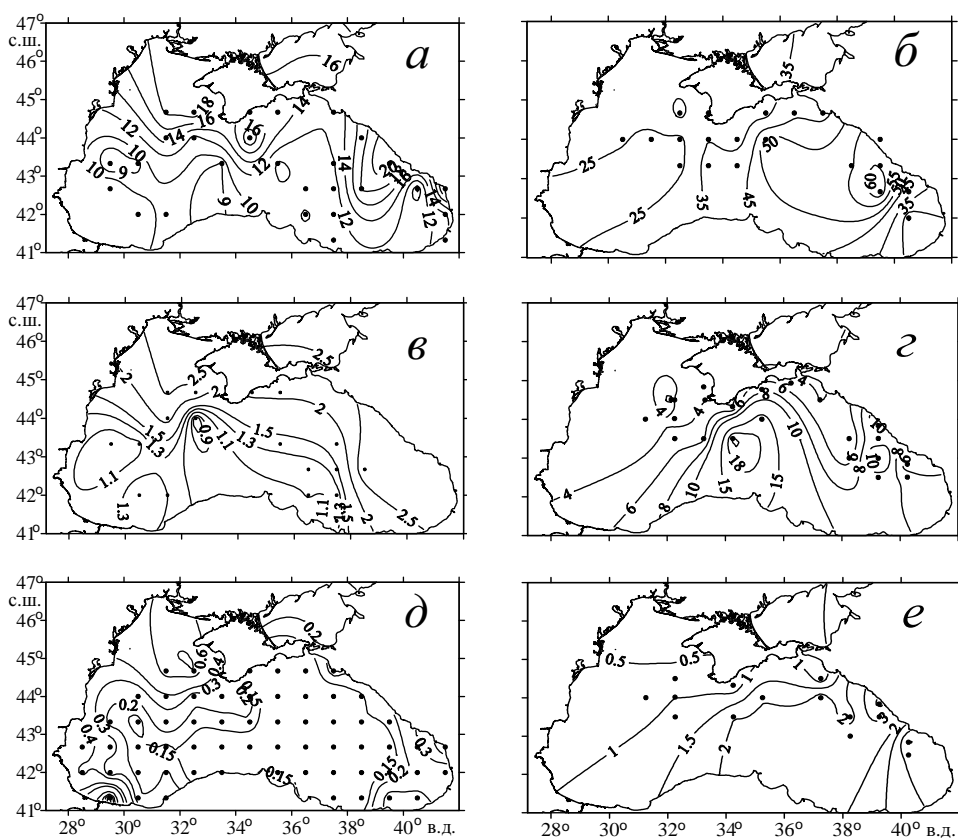
Пробы воды для определения содержания ВОВ отбирали кассетой батометров СТД-зонда ИСТОК-5 (МГИ-4102). Взвешенное органическое вещество получали фильтрацией 1,0 – 2,5 л воды через прокаленные при 400°C для удаления органических веществ стекловолнистые фильтры  $GF/F$ . Концентрации  $C_{ВОВ}$  и  $N_{ВОВ}$ , после обработки фильтров слабой соляной кислотой (0,01M) для удаления карбонатов, определяли на анализаторе  $CHN-1$  (Чехословакия). Точность измерения концентраций  $C_{ВОВ}$  составляла 1%,  $N_{ВОВ}$  – 0,3% от имеющейся массы. Концентрация хлорофилла «а» определялась флюориметрическим методом [18].

Для оценки соотношения детритной (мертвой) и фитопланктонной (живой) фракций в ВОВ использовали величину отношения концентраций  $C_{ВОВ}/C_{ХЛ}$  (далее  $C/ХЛ$  «а»), для оценки степени деструкции ВОВ – атомарное отношение  $C_{ВОВ}/N_{ВОВ}$  (далее  $C/N$ ).

## Результаты и обсуждение

**Пространственное распределение.** Для построения карт сезонных распределений содержания компонентов ВОВ глубоководная часть моря была разбита на прямоугольники со сторонами, равными 40' по широте и 1° по долготе. Практически их форма приближалась к квадратам со стороной 40 миль. По данным измерений, выполненных в каждом сезоне в этих квадратах, вычислялись средние значения концентраций компонентов ВОВ, относящиеся к центру квадрата, для которого они вычислялись. Эти центры, обозначенные на картах жирными точками, дают представление о пространственном расположении станций, данные которых использовались для построения этих карт (рис. 1).

**Летний период.** На распределение и динамику ВОВ в летний период влияют следующие факторы. Прежде всего это сформированный в июне 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 мае – первой половине июня изменяется состав фитопланктона в связи с его переходом к летней стадии сукцессии, которая в значительной степени представлена гетеротрофными видами фитопланктона.



**Р и с. 1.** Распределение концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$ , мкМ (а, б),  $N_{\text{ВОВ}}$ , мкМ (в, г) и  $C_{\text{ХЛ}}$ , мг/м<sup>3</sup> (д, е) в 1978 – 1990 гг. (а, в, д) и в июле 1992 г. (б, г, е) в поверхностном слое в летний период (точки – центры квадратов, по данным для которых проводилось осреднение)

Карты распределений концентраций компонентов ВОВ в летний период были построены отдельно по данным, полученным в 1978 – 1990 гг. (рис. 1, а, в, д) и в июле 1992 г. (рис. 1, б, з, е). Это связано с тем, что летом 1992 г. в море было отмечено необычно интенсивное развитие фитопланктона (особенно его мелкоразмерных видов кокколитофорид и перидиниевых) [19]. В работе [17] такое разделение данных по периодам проведено не было. В результате анализа распределений  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$ , полученных для поверхностного слоя в 1985 – 1992 гг., был сделан вывод о заметном увеличении концентраций этих компонентов в летний период по сравнению с концентрациями в весенний.

Проведенный раздельный анализ данных по периодам наблюдений показал следующее. В летние периоды 1978 – 1990 гг. особенности распределений  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  (рис. 1, а, в) в целом хорошо совпадали. Одинаковыми являлись повышенные концентрации этих компонентов ВОВ в северных районах глубоководной части моря, а также некоторое их увеличение в восточном направлении. Пониженные значения концентраций отмечены в южных районах западной и центральной частей моря. С распределениями концентраций этих компонентов ВОВ хорошо согласуется распределение концентрации хлорофилла «а» (рис 1, д).

Статистические характеристики сезонных изменений содержания компонентов ВОВ в западной и восточной частях моря представлены в табл. 1. Коэффициент вариации, определяемый отношением среднего квадратического отклонения к среднему значению, использован в работе в качестве оценки изменчивости концентраций компонентов ВОВ.

Расчеты показали, что концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  летом в поверхностном слое в 1978 – 1990 гг., равные  $9,9 \pm 1,8$  мкМ в западной и  $11,1 \pm 2,3$  мкМ в восточной частях моря, незначительно изменились по сравнению с весенним периодом ( $11,3 \pm 3,3$  мкМ). Также летом почти не изменилось содержание  $N_{\text{ВОВ}}$  в западной части моря ( $1,23 \pm 0,61$  мкМ), равное весной  $1,26 \pm 0,65$  мкМ. В восточной части моря оно было несколько выше ( $1,35 \pm 0,55$  мкМ), чем в западной, но значительно ниже по сравнению с весенним периодом ( $2,4 \pm 0,1$  мкМ). В слое фотосинтеза летние концентрации компонентов ВОВ (рис. 2) практически не отличались от весенних [5]. Концентрации хлорофилла «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. 1, табл. 1). В слое фотосинтеза концентрация хлорофилла «а» увеличилась в 1,5 – 2 раза по сравнению с концентрацией в поверхностном слое. Различие между весенней и летней концентрациями хлорофилла «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  $10,8 \pm 7,6$ , в восточной –  $10,2 \pm 6,4$ . Такие величины отношений, видимо, свидетельствуют о том, что органическое вещество в основном состоит из детрита, находящегося в сильно трансформированном виде.

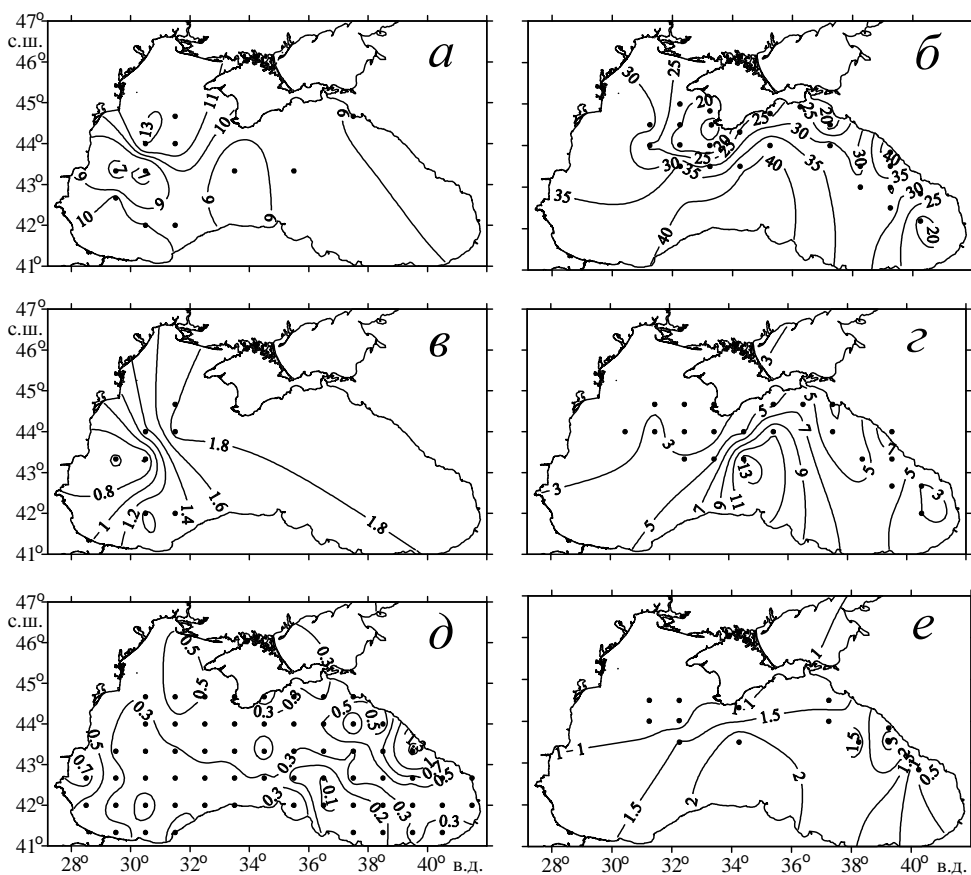
Для слоя фотосинтеза это отношение в западной части моря равнялось  $7,8 \pm \pm 2,2$ . Поэтому с учетом значительных величин отношения  $C / \text{хл«а»}$  это также, видимо, свидетельствует о существенном содержании в ВОВ детрита, находящегося на различных стадиях биохимической трансформации.

Т а б л и ц а 1

**Сезонные изменения концентраций компонентов ВОВ  
в поверхностном слое в западной и восточной частях Черного моря  
в периоды 1978 – 1990 гг. (I), 1991 – 1994 гг. (II) и 1978 – 1994 гг. (I – II)**

Сезон	Параметр	Величина	Западная часть			Восточная часть		
			I	II	I – II	I	II	I – II
Лето	$C_{\text{ВОВ}}$ , мкМ	$m$	9,9	27,3	–	11,11	43,5	–
		$\sigma$	1,8	8,7	–	2,3	20,2	–
		$v$	18	32	–	11	46	–
	$N_{\text{ВОВ}}$ , мкМ	$m$	1,23	3,18	–	1,35	8,3	–
		$\sigma$	0,61	1,58	–	0,55	6,3	–
		$v$	50	50	–	41	76	–
		$N/n$	3/12	2/6	–	2/20	2/12	–
	$C_{\text{ХЛ}}$ , мг/м <sup>3</sup>	$m$	0,21	0,89	–	0,16	2,33	–
		$\sigma$	0,17	0,22	–	0,12	1,03	–
		$v$	81	25	–	75	44	–
		$N/n$	10/176	1/4	–	9/128	1/8	–
	$C / N$	$m$	10,8	9,4	–	10,2	7,0	–
		$\sigma$	7,6	2,2	–	6,4	3,0	–
	$C / \text{хл«а»}$	$m$	1060	395	–	1286	301	–
$\sigma$		635	102	–	430	110	–	
Осень	$C_{\text{ВОВ}}$ , мкМ	$m$	12,1	11,3	11,8	10,9	16,1	12,9
		$\sigma$	4,9	3,5	4,7	7,6	4,7	60,5
		$v$	40	31	40	70	29	50
	$N_{\text{ВОВ}}$ , мкМ	$m$	1,21	1,43	1,27	0,97	2,2	1,5
		$\sigma$	0,47	0,63	0,53	0,54	0,35	0,47
		$v$	39	44	42	55	16	31
		$N/n$	3/27	3/14	6/41	3/15	2/9	5/24
	$C_{\text{ХЛ}}$ , мг/м <sup>3</sup>	$m$	0,52	0,47	0,5	0,44	0,61	0,5
		$\sigma$	0,24	0,23	0,24	0,2	0,31	0,25
		$v$	46	49	48	45	50	50
		$N/n$	5/66	5/42	10/108	5/71	4/45	9/116
	$C / N$	$m$	10,3	8,9	9,9	9,1	9,2	9,1
		$\sigma$	3,8	4,1	4,0	3,5	2,1	3,0
	$C / \text{хл«а»}$	$m$	228	378	271	152	200	181
		$\sigma$	106	185	150	64	52	75

П р и м е ч а н и е:  $m$  – среднее арифметическое значение,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение,  $v$  – коэффициент вариации (%),  $N$  – число рейсов,  $n$  – число станций.



**Р и с. 2.** Распределение концентраций  $C_{\text{BOV}}$ , мкМ (а, б),  $N_{\text{BOV}}$ , мкМ (в, з) и  $C_{\text{ХЛ}}$ , мг/м<sup>3</sup> (д, е) в 1978 – 1990 гг. (а, в, д) и в июле 1992 г. (б, з, е) в слое фотосинтеза в летний период (точки – центры квадратов, по данным для которых проводилось осреднение)

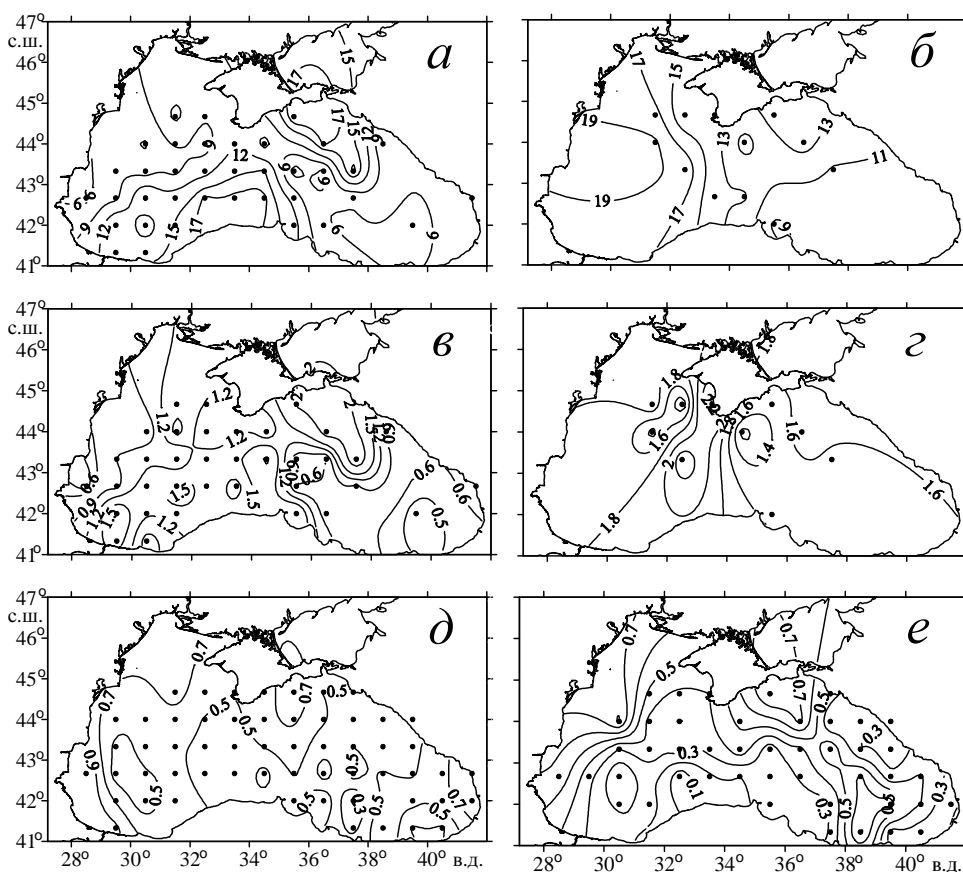
В июле 1992 г. содержание компонентов ВОВ в поверхностном слое в северной половине акватории моря значительно увеличилось по сравнению с предыдущим периодом наблюдений (рис. 1, б, з). В западной части моря их концентрации возросли более чем в 2,5 раза, в восточной части концентрация  $C_{\text{BOV}}$  увеличилась почти в 4 раза, а  $N_{\text{BOV}}$  – в 6 раз (табл. 1). Повышенные значения содержания компонентов ВОВ наблюдались в центральном районе моря, где концентрация  $C_{\text{BOV}}$  была равна 40 – 50 мкМ, а концентрация  $N_{\text{BOV}}$  — 10 – 18 мкМ. Пониженные значения их концентраций отмечены в западной и юго-восточной частях моря. Распределение концентрации хлорофилла «а» (рис. 1, е) хорошо совпадало с распределениями концентраций  $C_{\text{BOV}}$  и  $N_{\text{BOV}}$  (особенно  $C_{\text{BOV}}$ ). Содержание хлорофилла «а» в 1992 г. по сравнению с предыдущим периодом заметно увеличилось во всем море, но более значительно – в восточной его части. Здесь оно возросло более чем в 10 раз. Распределения компонентов ВОВ и их концентрации в слое фотосинтеза (рис. 2, б, з, е) хорошо совпадали с их распределениями и концентрациями в поверхностном слое (рис. 1, б, з, е). Также были близки рассчитанные значения отношений  $C / N$  (равные  $9,4 \pm 2,2$  и  $8,3 \pm 1,8$  в западной части моря и

$7,0 \pm 3,0$  и  $5,6 \pm 1,5$  в восточной части в поверхностном слое и слое фотосинтеза соответственно) и  $C / \text{хл}\langle a \rangle$  ( $395 \pm 102$  и  $377 \pm 151$  в западной части моря и  $301 \pm 110$  и  $285 \pm 189$  в восточной части в поверхностном слое и слое фотосинтеза соответственно). Такие величины отношений, видимо, свидетельствуют о том, что в состав ВОВ в обеих частях моря помимо фитопланктона входил детрит, находившийся на различных стадиях биохимической трансформации. При этом в восточной части моря он был менее трансформированным.

**Осенний период.** На распределение ВОВ в осенний период влияют следующие факторы. Прежде всего это сезонная перестройка вертикальной гидрологической структуры вод, снижающая ее устойчивость. Поздней осенью разрушаются сезонные термоклин и пикноклин, что способствует поступлению питательных 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 появляются диатомовые водоросли.

Осенью пространственные распределения содержания компонентов ВОВ изменились по сравнению с их распределениями в летний период, полученными в течение 1978 – 1990 гг. Повышенные их концентрации ( $C_{\text{ВОВ}}$  равны  $15 - 19$  мкМ,  $N_{\text{ВОВ}}$  —  $1,5 - 1,9$  мкМ) в поверхностном слое наблюдались в южной части центрального района моря (рис. 3, а, в), тогда как летом здесь они были пониженными ( $C_{\text{ВОВ}}$  равны  $9 - 10$  мкМ,  $N_{\text{ВОВ}}$  —  $0,9 - 1,1$  мкМ) (рис. 1, а, в). Наблюдаемая летом область повышенных значений концентраций этих компонентов ВОВ в северо-восточной части моря в осенний период сохранилась, а в северо-западном районе глубоководной части моря их концентрации уменьшились примерно в 1,5 раза. В распределении хлорофилла «а» в поверхностном слое в осенний период в основном сохранились особенности, отмеченные выше для его распределений в летний период. В то же время на большей части акватории моря это распределение стало менее однородным, напоминая мозаичную структуру (рис. 3, д). Так, выделялись области с повышенными концентрациями хлорофилла «а» в юго-западном и северо-западном районах.

В связи с ограниченным объемом данных о содержании компонентов ВОВ в слое фотосинтеза в осенний период представляется возможным выделить только некоторые особенности их пространственных распределений. В распределении  $C_{\text{ВОВ}}$  в слое фотосинтеза (в отличие от его распределения в поверхностном слое) было характерно увеличение концентрации в западном направлении (рис. 3, б). В распределении  $N_{\text{ВОВ}}$  выделялась область повышенной его концентрации, расположенная к юго-западу от южной оконечности Крыма (рис. 3, з). В распределении хлорофилла «а» в слое фотосинтеза отмечены такие же особенности, какие были характерны для его распределения в поверхностном слое. Повышенные концентрации наблюдались в северо-восточном, западном и северо-западном районах моря (рис. 3, е). Отличной от летнего периода особенностью явилось низкое содержание хлорофилла «а» в южной половине моря, увеличивающееся в северном направлении и в районе Кавказского побережья. Область повышенных его концентраций была отмечена также в юго-восточной части моря (в районе квазистационарного антициклонического круговорота).



**Р и с. 3.** Распределение концентраций  $S_{\text{ВОВ}}$ , мкМ (а, б),  $N_{\text{ВОВ}}$ , мкМ (в, з) и  $C_{\text{ХЛ}}$ , мг/м<sup>3</sup> (д, е) в поверхностном слое (а, в, д) и в слое фотосинтеза (б, з, е) в осенний период (точки – центры квадратов, по данным для которых проводилось осреднение)

Расчеты статистических характеристик изменений концентраций компонентов ВОВ в глубоководной части моря в осенний период (табл. 1, 2) показали следующее. Содержание  $S_{\text{ВОВ}}$  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%. В слое фотосинтеза содержание  $S_{\text{ВОВ}}$  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 хлорофилла «а». В поверхностном слое она увеличилась в 2,5 – 3 раза по сравнению с летним периодом (1978 – 1990 гг.). В слое фотосинтеза содержание хлорофилла «а» в западной части моря увеличилось незначительно, а в восточной оно возросло в 2 раза.

Концентрации  $S_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое и 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.



**Сезонные изменения концентраций компонентов ВОВ  
в слое фотосинтеза в западной и восточной частях Черного моря  
в периоды 1978 – 1990 гг. (I), 1991 – 1994 гг. (II) и 1978 – 1994 гг. (I – II)**

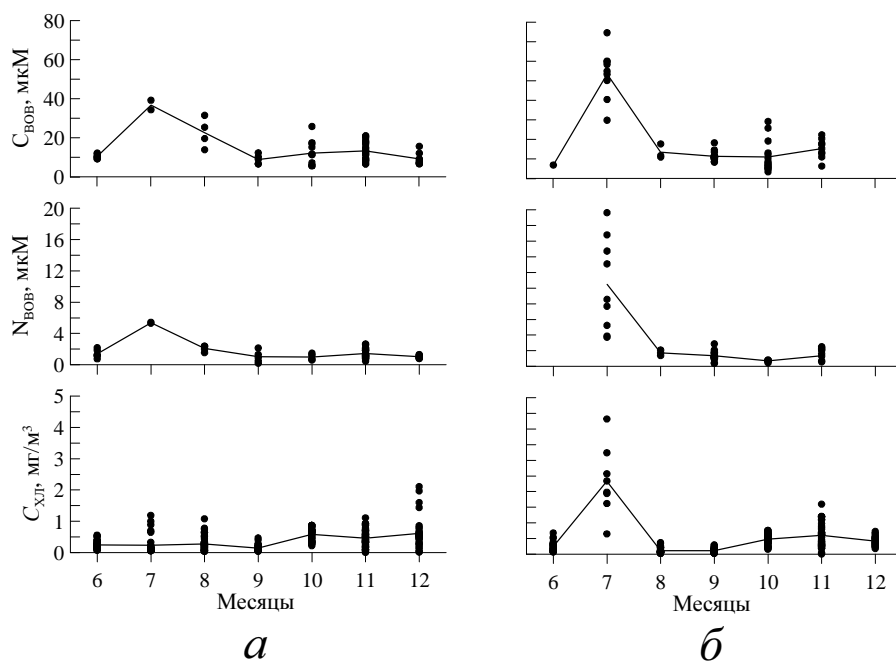
Сезон	Параметр	Величина	Западная часть			Восточная часть		
			I	II	I – II	I	II	I – II
Лето	C <sub>ВОВ</sub> , мкМ	<i>m</i>	9,3	25,9	–	9,9	35,2	–
		$\sigma$	2,0	7,8	–	–	9,0	–
		<i>v</i>	22	30	–	–	25	–
	N <sub>ВОВ</sub> , мкМ	<i>m</i>	1,24	3,35	–	–	7,3	–
		$\sigma$	0,36	1,67	–	–	3,4	–
		<i>v</i>	29	50	–	–	46	–
		<i>N/n</i>	3/8	2/5	–	1/1	1/9	–
	C <sub>ХЛ</sub> , мг/м <sup>3</sup>	<i>m</i>	0,3	0,96	–	0,35	2,15	–
		$\sigma$	0,15	0,35	–	0,22	0,94	–
		<i>v</i>	50	36	–	63	44	–
		<i>N/n</i>	8/118	1/4	–	5/56	1/6	–
	C / N	<i>m</i>	7,8	8,3	–	–	5,6	–
		$\sigma$	2,2	1,8	–	–	1,5	–
	C / хл«а»	<i>m</i>	350	377	–	594	285	–
		$\sigma$	196	151	–	–	189	–
Осень	C <sub>ВОВ</sub> , мкМ	<i>m</i>	13,3	11,0	12,0	15,6	10,4	12,8
		$\sigma$	6,9	5,2	5,9	6,2	3,8	5,1
		<i>v</i>	52	47	49	40	36	40
	N <sub>ВОВ</sub> , мкМ	<i>m</i>	0,78	2,0	1,6	1,34	1,43	1,4
		$\sigma$	–	0,53	0,7	0,23	0,25	0,24
		<i>v</i>	–	26	44	17	17	17
		<i>N/n</i>	2/3	3/7	5/10	2/4	2/9	4/13
	C <sub>ХЛ</sub> , мг/м <sup>3</sup>	<i>m</i>	0,28	0,42	0,34	0,33	0,75	0,47
		$\sigma$	0,18	0,14	0,18	0,2	0,24	0,25
		<i>v</i>	64	33	53	60	32	53
		<i>N/n</i>	4/20	4/14	8/34	4/23	3/12	7/35
	C / N	<i>m</i>	6,3	7,1	6,9	7,3	10,3	7,4
		$\sigma$	–	1,2	1,1	1,8	3,6	1,3
	C / хл«а»	<i>m</i>	210	294	280	210	168	182
		$\sigma$	–	232	214	2	10	22

П р и м е ч а н и е: *m* – среднее арифметическое значение,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, *v* – коэффициент вариации (%), *N* – число рейсов, *n* – число станций.

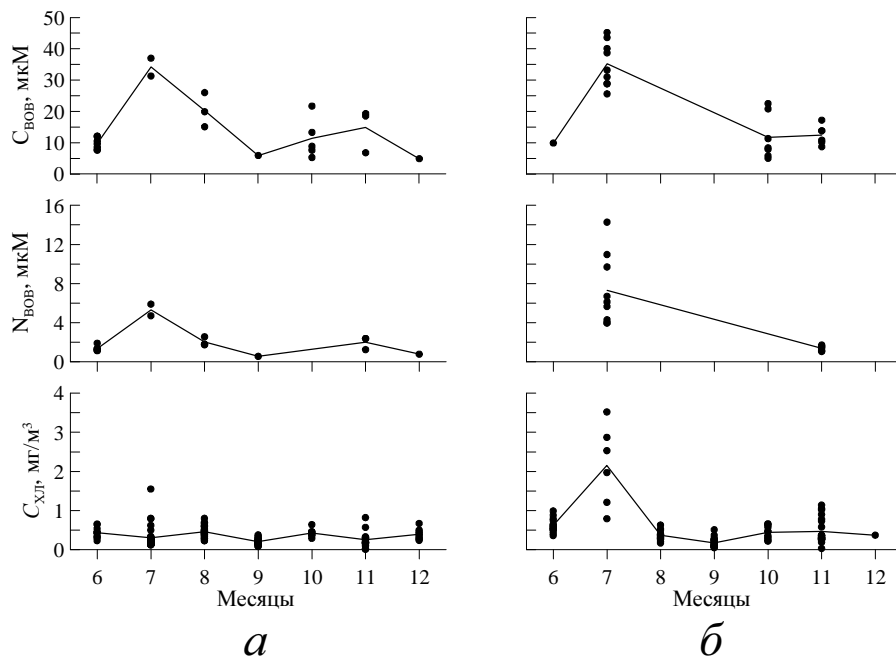
Рассчитанные величины отношения  $C / \text{хл«а»}$  были примерно одинаковыми в поверхностном слое и слое фотосинтеза и равными 270 – 280 в западной и 182 в восточной частях моря. Величины отношения  $C / N$  были близкими в одинаковых слоях в обеих частях моря. В разных слоях эти величины отличались. Так, в поверхностном слое это отношение в западной части было равно  $9,9 \pm 4,0$ , в восточной –  $9,1 \pm 3,0$ . В слое фотосинтеза оно было равно  $6,9 \pm 1,0$  и  $7,4 \pm 1,3$  в западной и восточной частях моря соответственно. Такие величины отношений свидетельствуют о том, что ВОВ в осенний период было представлено фитопланктоном и детритом, находившемся на различных стадиях трансформации. При этом в слое фотосинтеза детрит был менее трансформирован.

**Внутрисезонная изменчивость.** В первом приближении о внутрисезонной изменчивости можно судить по сезонным изменениям коэффициента вариации  $v$  ( $v = 100\sigma / m$ , %), выражающего долю среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) в процентах от среднего значения ( $m$ ). Краткий анализ сезонных изменений этого коэффициента (табл. 1, 2), обусловленных пространственной и межгодовой изменчивостью концентраций компонентов ВОВ, показал следующее.

Летом в поверхностном слое в 1978 – 1990 гг. более высокая изменчивость концентраций компонентов ВОВ наблюдалась в западной части моря, а в 1992 г., наоборот, – в восточной его части. При этом максимальные изменения были характерны для концентрации хлорофилла «а», минимальные – для  $C_{\text{ВОВ}}$ . Осенью в поверхностном слое повышенная изменчивость была отмечена для концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  и хлорофилла «а» в восточной части моря. В слое фотосинтеза в летний период в течение всего времени наблюдений более высокая изменчивость концентраций этих же компонентов была отмечена также в восточной части. В осенний период более изменчивым было содержание  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в западной части. Изменения концентрации хлорофилла «а» в обеих частях моря были близки. Изменения концентраций компонентов ВОВ в поверхностном слое и слое фотосинтеза в западной и восточной частях моря в летне-осенний период показаны на рис. 4, 5. Рассчитанные для каждого месяца (с июня по декабрь) средние значения концентраций компонентов ВОВ соединены на этих рисунках линиями, что позволяет более наглядно проследить характер внутрисезонных изменений этих концентраций. Кроме того, для каждого месяца были рассчитаны средние арифметические значения и средние квадратические отклонения величин отношений  $C / N$  и  $C / \text{хл«а»}$  для поверхностного слоя и слоя фотосинтеза (табл. 3).



**Р и с. 4.** Изменение концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$ ,  $N_{\text{ВОВ}}$  и  $C_{\text{ХЛ}}$  в поверхностном слое в глубоководных районах западной (а) и восточной (б) частей Черного моря с июня по декабрь (линией соединены средние месячные значения концентраций)



**Р и с. 5.** Изменение значений концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$ ,  $N_{\text{ВОВ}}$  и  $C_{\text{ХЛ}}$  в слое фотосинтеза в глубоководных районах западной (а) и восточной (б) частей Черного моря с июня по декабрь (линией соединены средние месячные значения концентраций)

**Внутрисезонные изменения концентраций компонентов ВОВ  
в поверхностном слое и слое фотосинтеза в западной и восточной частях  
Черного моря в летне-осенний период (июнь – декабрь)**

Параметр	Величина	Западная часть							Восточная часть						
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Поверхностный слой															
С <sub>ВОВ</sub> , мкМ	мин	9,2	34,3	13,9	6,7	5,7	6,6	6,7	6,9	29,8	11,0	8,4	3,4	6,4	–
	макс	12,2	39,3	31,5	12,3	25,8	21,1	15,7	6,9	74,5	17,7	18,3	29,2	22,4	–
	<i>m</i>	10,5	36,8	22,6	9,0	12,3	13,4	9,2	6,9	53,5	13,5	11,3	11,0	15,2	–
	$\sigma$	1,0	2,5	6,6	2,2	6,0	4,5	3,0	–	12	3,0	2,2	7,5	4,7	–
	<i>N/n</i>	2/7	1/2	1/4	1/5	3/11	3/22	1/8	1/1	1/9	1/3	1/19	3/15	2/9	–
N <sub>ВОВ</sub> , мкМ	мин	0,76	5,31	1,55	0,2	0,6	0,47	0,8	–	3,73	1,38	0,39	0,44	0,58	–
	макс	2,19	5,44	2,38	2,15	1,49	2,67	1,24	–	20,6	2,1	2,88	0,82	2,5	–
	<i>m</i>	1,41	5,38	2,08	1,02	1	1,43	1,03	–	10,5	1,73	1,35	0,69	1,73	–
	$\sigma$	0,48	0,07	0,34	0,68	0,35	0,59	0,18	–	5,74	0,29	0,55	0,13	0,68	–
	<i>N/n</i>	1/6	1/2	1/4	1/5	2/6	3/22	1/8	–	1/9	1/3	1/19	1/7	2/9	–
С <sub>ХЛ</sub> , мг/м <sup>3</sup>	мин	0,08	0,06	0,04	0,06	0,22	0,03	0,03	0,07	0,65	0,03	0,03	0,16	0,01	0,18
	макс	0,56	1,19	1,08	0,47	0,87	0,93	2,11	0,68	4,32	0,37	0,27	0,76	1,6	0,73
	<i>m</i>	0,25	0,24	0,28	0,14	0,58	0,46	0,62	0,23	2,33	0,11	0,11	0,48	0,61	0,43
	$\sigma$	0,12	0,2	0,22	0,1	0,2	0,27	0,49	0,15	1,03	0,08	0,06	0,16	0,39	0,14
	<i>N/n</i>	4/45	3/44	3/54	1/33	4/34	6/41	2/33	3/32	1/8	3/46	3/50	4/55	5/36	2/25
C / N	<i>m</i>	8,2	6,9	10,7	9,1	8,7	10,5	9	–	6,8	7,75	10,2	8,3	9,8	–
	$\sigma$	2,6	2,6	1,6	2,9	1,5	4,7	2,4	–	3,4	0,7	6,4	2,1	3,7	–
C / хл«а»	<i>m</i>	732	310	–	1577	192	324	192	–	301	–	–	165	198	–
	$\sigma$	197	36	–	674	104	158	45	–	110	–	–	71	56	–
Слой фотосинтеза															
С <sub>ВОВ</sub> , мкМ	мин	7,6	31,3	15,1	15,9	5,3	6,8	4,9	9,9	25,6	–	–	5	8,7	–
	макс	12,1	37	26	15,9	21,7	19,3	4,9	9,9	40,8	–	–	22,5	17,2	–
	<i>m</i>	9,7	34,1	20,3	15,9	11,4	14,8	4,9	9,9	35,2	–	–	11,7	12,4	–
	$\sigma$	1,7	2,8	4,4	0	5,8	5,7	–	–	9	–	–	6,6	2,8	–
	<i>N/n</i>	2/7	1/2	1/3	1/1	2/5	2/3	1/1	1/1	1/9	–	–	2/7	2/6	–
N <sub>ВОВ</sub> , мкМ	мин	1,13	4,71	1,74	0,56	–	1,25	0,78	–	3,96	–	–	–	1,6	–
	макс	1,9	5,9	2,56	0,65	–	2,38	0,78	–	14,28	–	–	–	1,72	–
	<i>m</i>	1,35	5,3	2,04	0,56	–	2	0,78	–	7,3	–	–	–	1,4	–
	$\sigma$	0,26	0,6	0,37	–	–	0,53	–	–	3,39	–	–	–	0,24	–
	<i>N/n</i>	1/6	1/2	1/3	1/1	–	2/3	1/1	–	1/9	–	–	–	2/6	–
С <sub>ХЛ</sub> , мг/м <sup>3</sup>	мин	0,23	0,12	0,23	0,08	0,29	0,01	0,24	0,36	0,79	0,21	0,05	0,22	0,03	0,37
	макс	0,65	1,55	0,69	0,38	0,64	0,82	0,67	0,99	3,52	0,63	0,51	0,66	1,14	0,37
	<i>m</i>	0,44	0,3	0,43	0,2	0,43	0,25	0,39	0,61	2,15	0,37	0,18	0,44	0,47	0,37
	$\sigma$	0,13	0,25	0,12	0,08	0,1	0,2	0,12	0,16	1,0	0,11	0,11	0,16	0,3	–
	<i>N/n</i>	3/11	3/44	2/30	2/29	3/8	3/16	2/10	2/16	1/6	2/16	1/25	3/11	3/23	1/1
C / N	<i>m</i>	7,4	6,4	9,6	10,5	–	7,1	6,3	–	5,6	–	–	–	9,3	–
	$\sigma$	2,1	0,1	1,3	–	–	1,2	–	–	1,4	–	–	–	3,4	–
C / хл«а»	<i>m</i>	257	283	–	355	196	539	210	384	285	–	–	275	182	–
	$\sigma$	55	3	–	–	61	133	–	–	109	–	–	92	22	–

Примечание: мин, макс – границы диапазона изменения величин, *m* – среднее арифметическое значение,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, *N* – количество рейсов, *n* – количество станций.

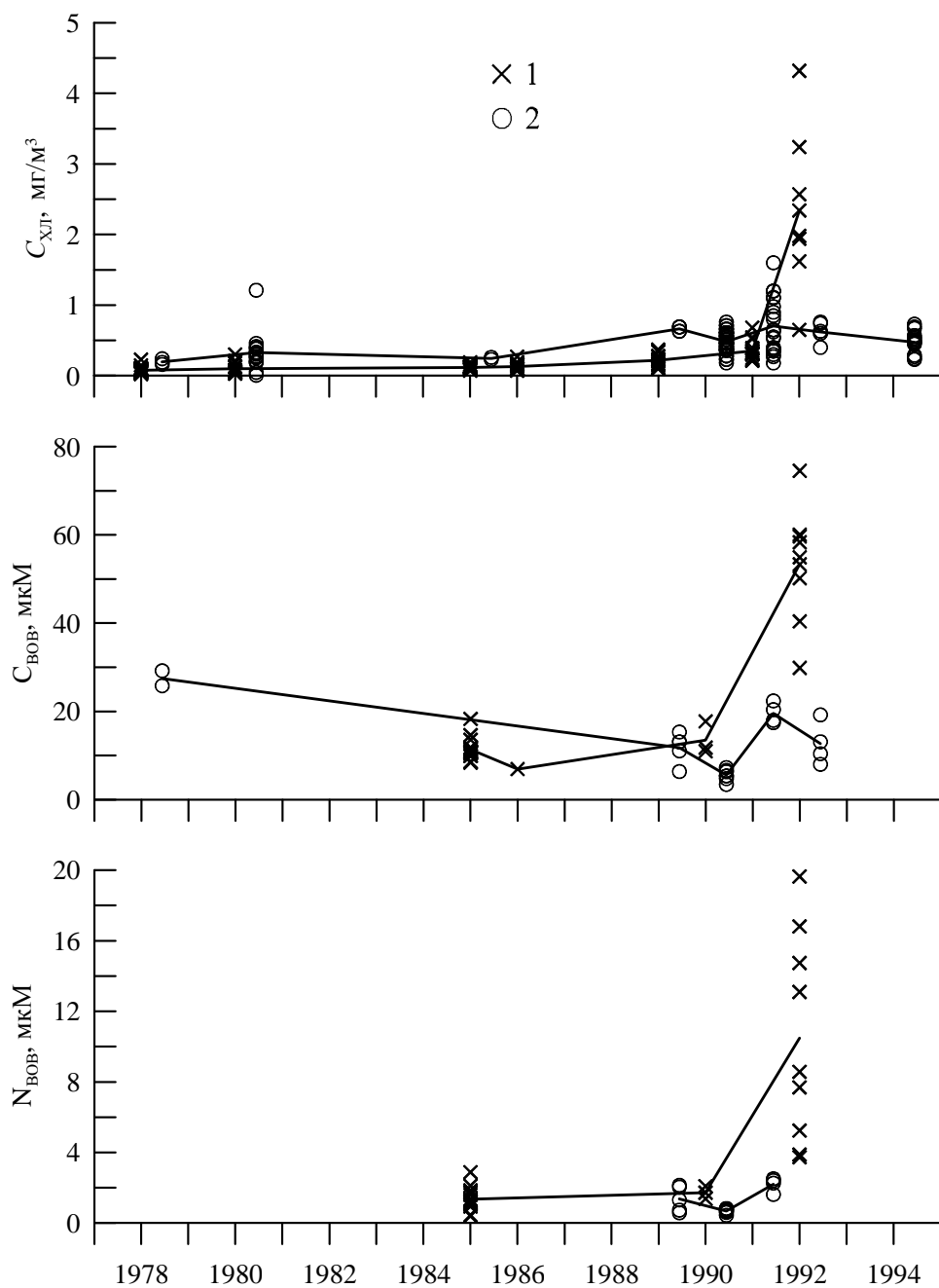
Характер внутрисезонных изменений концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое и слое фотосинтеза в обеих частях моря примерно одинаков. Аномально высокие их среднемесячные значения в июле и августе, сопоставимые с концентрациями компонентов ВОВ в летний период в предустьевых районах северо-западной части моря [20], были получены в 1992 г. в период необычно интенсивного развития фитопланктона [19]. Это также подтверждается зарегистрированными нами в июле этого года в восточной части моря высокими концентрациями хлорофилла «а» (более  $2 \text{ мг/м}^3$ ). Кроме того, средние величины отношения  $C / \text{хл}«а»$ , равные  $283 - 310$  в обеих частях моря, и отношения  $C / N$ , равные  $6,4 - 6,9$  в западной части и  $5,6 - 6,8$  в восточной, свидетельствуют о том, что ВОВ в июле 1992 г. состояло из фитопланктона и свежего детрита. В западной части в этот период также зафиксированы достаточно высокие концентрации хлорофилла «а» ( $0,89 \pm 0,22 \text{ мг/м}^3$ ). Однако приведенные в табл. 3 осредненные за несколько лет среднемесячные значения оказались существенно ниже этих величин и более близкими к среднегодовым значениям, рассчитанным за период 1960 – 1991 гг. [8]. 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, 2. В позднелетний период (сентябрь) во всем море и в декабре в западной его части содержание компонентов ВОВ было пониженным. В ноябре отмечено небольшое повышение их концентраций. Отметим также, что содержание  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в летне-осенний период в поверхностном слое выше, чем в слое фотосинтеза.

Характер внутрисезонных изменений концентрации хлорофилла «а» несколько отличался от аналогичных изменений концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$ . В западной части моря в июне – августе изменчивость среднемесячной концентрации была невысокой ( $0,24 - 0,28 \text{ мг/м}^3$ ). В сентябре его концентрация уменьшилась почти в 2 раза. Также в 2 раза она понизилась в восточной части моря в августе – сентябре по сравнению с июнем. 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 его прогрессирующей трансформации. В слое фотосинтеза доля детрита в летний период была значительно ниже, чем в поверхностном слое. К концу лета она увеличилась не на много (величина отношения  $C / \text{хл}«а»$  увеличилась с 257 – 283 в июне – июле до 355 в сентябре). При этом в конце лета детрит был более трансформирован, чем в начале (величина отношения  $C / N$ , равная в июне 7,4, в сентябре увеличилась до 10,5). В осенний период содержание хлорофилла «а» в обеих частях моря по сравнению с летним периодом увеличилось как в поверхностном слое, так и в слое фотосинтеза. Небольшие максимумы концентрации в поверхностном слое и слое фотосинтеза в западной части моря отмечены в октябре и декабре, в восточной части – в ноябре. Величины отношения  $C / \text{хл}«а»$  в поверхностном слое, равные 192 – 198, и отношения  $C / N$ , равные 9 – 9,8, свидетельствуют о наличии в составе ВОВ относительно свежего фитопланктона и детрита, который был достаточно трансформирован. В слое фотосинтеза относительный вклад фитопланктона в ВОВ в эти месяцы был примерно такой же, как в поверхностном

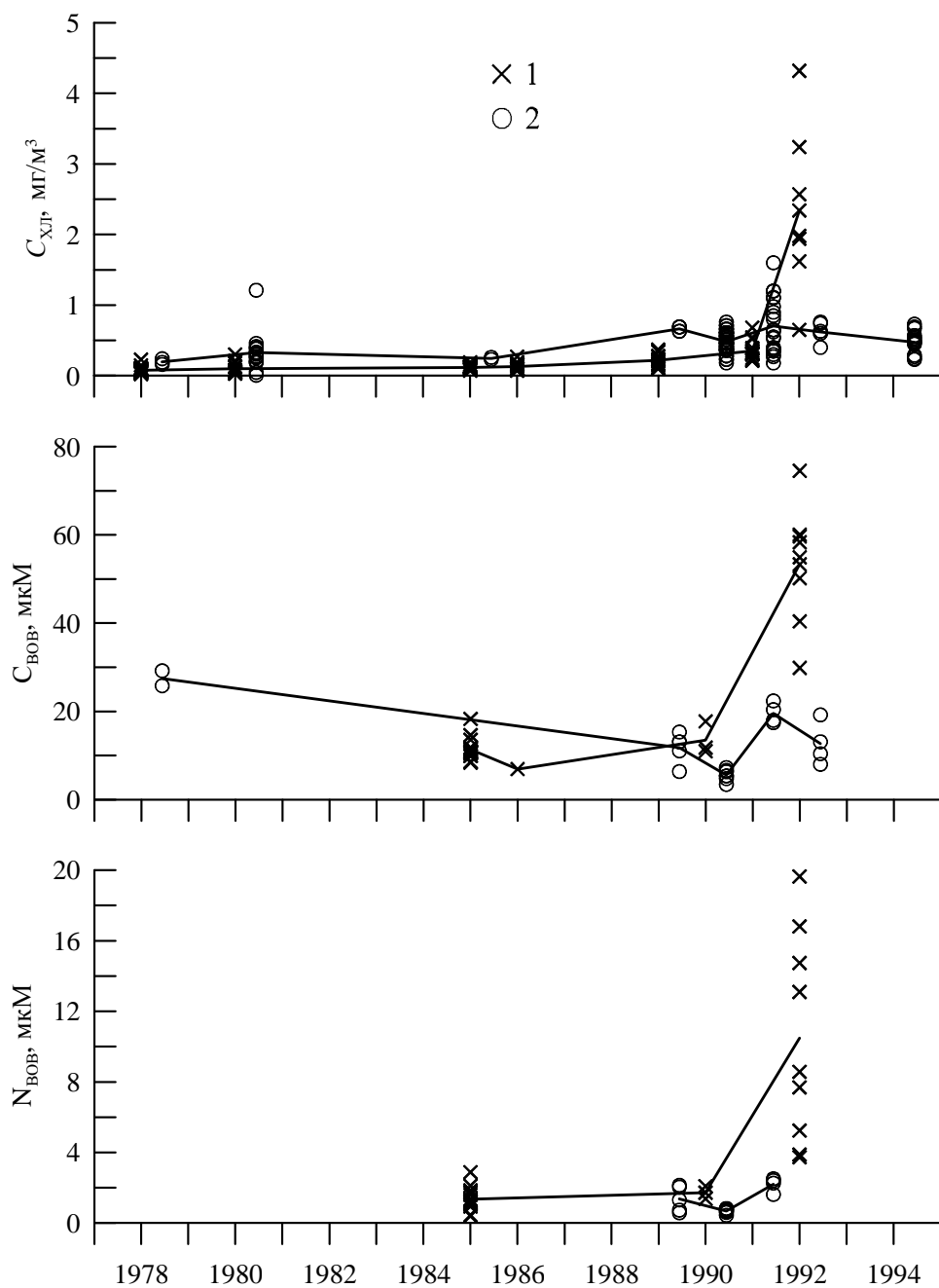
слое. В то же время, учитывая величину отношения  $C / N$ , равную 6,3 в западной части моря и 9,3 в восточной, видимо, можно предполагать меньшую деструкцию детрита в этом слое по сравнению со степенью его трансформации в поверхностном слое.

**Межгодовая изменчивость.** Достаточно заметная изменчивость величин концентраций компонентов ВОВ в различные месяцы (рис. 4, 5), видимо, является следствием как пространственной их изменчивости, так и межгодовой. Сравнение диапазона изменений 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 летний период в 1,6 – 2 раза, в осенний — в 2,3 – 3 раза. Такие сравнительные оценки изменчивости согласуются с оценками, приведенными в работе [8].

Несмотря на непродолжительные по времени и ограниченные по объему данные наблюдений содержания ВОВ в летне-осенний период, все же попытаемся проследить особенности его многолетней изменчивости в западной и восточной частях моря. Изменения летних и осенних концентраций компонентов ВОВ в поверхностном слое, полученные по данным отдельных съемок в период 1978 – 1994 гг., показаны на рис. 6, 7. На этих рисунках можно выделить три временных интервала 1978 – 1985, 1986 – 1991 и 1992 – 1994 гг., характеризующихся различными уровнями содержания этих компонентов. Для первого интервала (1978 – 1985 гг.) в летний период для поверхностного слоя характерны относительно небольшие средние значения концентраций хлорофилла «а» ( $0,11 - 0,18 \text{ мг/м}^3$ ) и невысокая их межгодовая изменчивость в обеих частях моря (данные по концентрациям  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в этот период нам не известны). В течение 1986 – 1991 гг. в этом слое наблюдалось немонотонное возрастание как концентрации хлорофилла «а» ( $0,13 - 0,35 \text{ мг/м}^3$ ), отмеченное и в работе [8], так и концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  (с 9 до 10,3 мкМ в западной и с 11,3 до 13,5 мкМ в восточной частях моря) и  $N_{\text{ВОВ}}$  (с 1,02 до 1,4 мкМ в западной и с 1,35 до 1,73 мкМ в восточной частях моря). И, наконец, в 1992 г. были зарегистрированы аномально высокие значения их концентраций. Отметим, что в слое фотосинтеза в летний период характер межгодовых изменений содержания компонентов ВОВ в западной части моря сохранился (данных измерений в восточной части моря для такого анализа было недостаточно). Осенью, как и летом, в период 1978 – 1985 гг. в поверхностном слое в обеих частях моря были зарегистрированы относительно небольшие ( $0,24 - 0,33 \text{ мг/м}^3$ ) концентрации хлорофилла «а» и невысокие их межгодовые изменения. В период с 1986 по 1991 гг. наблюдалось увеличение этих концентраций, а в последующие годы некоторое их снижение. Для межгодовых изменений содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в осенний период характерно следующее. В октябре 1978 г. в 64-м рейсе НИС «Витязь» были получены достаточно высокие концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  [13]. В 1989 и 1990 гг. в поверхностном слое в обеих частях моря наблюдалось уменьшение концентраций как  $C_{\text{ВОВ}}$ , так и  $N_{\text{ВОВ}}$ . Такое же небольшое снижение концентрации в эти годы было отмечено и для хлорофилла «а». В 1991 г. концентрации этих компонентов ВОВ заметно увеличились, а в последующие годы также заметно уменьшились (особенно в западной части моря).



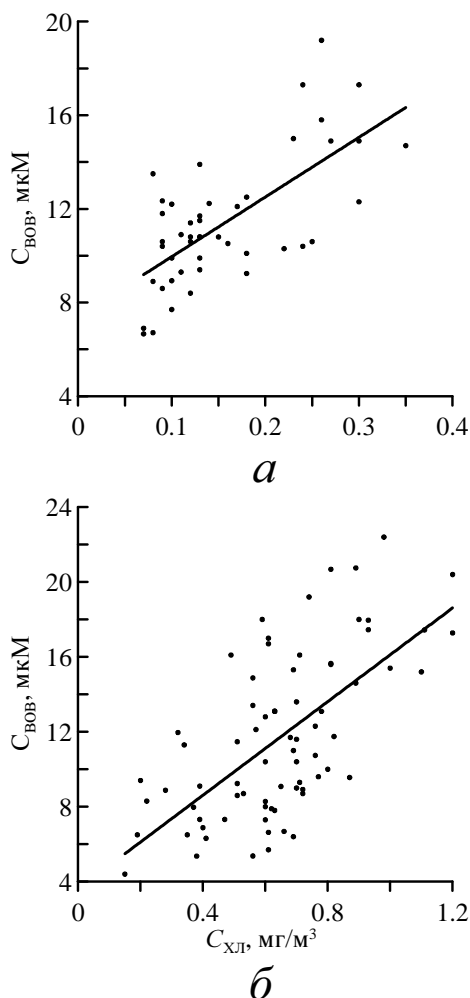
**Р и с. 6.** Изменение значений летних (1) и осенних (2) концентраций  $C_{BOB}$ ,  $N_{BOB}$  и  $C_{XLI}$  в поверхностном слое в западной части Черного моря (линией соединены средние значения концентраций)



**Р и с. 7.** Изменение значений летних (1) и осенних (2) концентраций  $C_{BOB}$ ,  $N_{BOB}$  и  $C_{XL}$  в поверхностном слое в восточной части Черного моря (линией соединены средние значения концентраций)



Достаточно хорошее соответствие характера изменчивости концентраций хлорофилла «а» и  $C_{\text{ВОВ}}$ , отмеченное при анализе их пространственно-временных изменений, не выполнялось в 1978 г. В октябре этого года были зарегистрированы высокие концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  [13], а также невысокие концентрации хлорофилла «а», близкие к наблюдавшимся в 70-е малопродуктивные годы [8]. Объяснение высоких значений концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  в работе [13] не приведено.



**Р и с. 8.** Линейная регрессионная зависимость содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  от концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое глубоководной части Черного моря в летний (а) и осенний (б) периоды

ные годы его концентрации приведены в табл. 4. Значения коэффициентов корреляции  $r$  (0,64 – 0,68) для приведенных в таблице зависимостей оказались достоверными при высоких уровнях значимости ( $p < 0,001$ ).

Отсутствие в литературе сведений о содержании  $C_{\text{ВОВ}}$  в 70-е и первой половине 80-х годов, являющегося важным биогеохимическим компонентом экосистемы Черного моря, не позволяет в полной мере получить представление об ее эволюции. Компенсировать отсутствие данных о  $C_{\text{ВОВ}}$  можно путем использования корреляционных связей между измеренными одновременно концентрациями хлорофилла «а», представленными для этих лет достаточно полно, и концентрациями  $C_{\text{ВОВ}}$ . Для этого рассчитывались уравнения линейной регрессии вида  $y = ax + b$ . Степень связи между переменными ( $y$  – это  $C_{\text{ВОВ}}$ ,  $x$  –  $C_{\text{ХЛ}}$ ) оценивалась по коэффициенту корреляции ( $r$ ), его достоверности ( $p$ ) и стандартной ошибке регрессии ( $\sigma$ ) [21]. Регрессионная зависимость концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  от концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое в летне-осенний период показана на рис. 8. Для ее построения использовали данные одновременных наблюдений этих параметров в западной и восточной частях моря в летний период в течение 1985 – 1989 гг. и в осенний период в 1989 – 1993 гг., когда аномальные изменения их концентраций не наблюдались. Результаты расчетов содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  и измеренные в различных

Таблица 4

Сопоставление измеренных ( $C_{\text{СВОВ изм}}$ ) и рассчитанных ( $C_{\text{СВОВ расч}}$ ) по средним значениям концентраций хлорофилла «а» величин содержания взвешенного органического углерода в летне-осенний период хлорофилла «а» величин содержания взвешенного органического углерода в летне-осенний период

Параметр	1978	1980	1982	1985	1986	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Западная часть											
Лето, $C_{\text{СВОВ расч}} = 25,5 C_{\text{ХЛ}} + 7,4$ ( $r = 0,68; \sigma = 2,1; N = 46$ )											
$C_{\text{СВОВ расч}}$	9,5	11,5	10,5	10,2	11,0	13,9	–	14,5	30,1	–	–
$C_{\text{СВОВ изм}}$	–	–	–	$9,0 \pm 2,2$	$11,7 \pm 1,1$	$10,3 \pm 1,0$	–	–	$27,3 \pm 8,7$	–	–
Осень, $C_{\text{СВОВ расч}} = 12,5 C_{\text{ХЛ}} + 3,6$ ( $r = 0,64; \sigma = 3,4; N = 75$ )											
$C_{\text{СВОВ расч}}$	8,6	6,6	–	7,5	–	11,7	11,2	11,8	11,0	7,6	11,5
$C_{\text{СВОВ изм}}$	$18,6 \pm 4,2$	–	–	–	–	$12,8 \pm 4,7$	$8,8 \pm 4,2$	$17,6 \pm 0,8$	$10,6 \pm 1,4$	$9,4 \pm 2,3$	–
Восточная часть											
Лето, $C_{\text{СВОВ расч}} = 25,5 C_{\text{ХЛ}} + 7,4$ ( $r = 0,68; \sigma = 2,1; N = 46$ )											
$C_{\text{СВОВ расч}}$	9,4	10,0	–	10,5	10,6	13,0	13,3	16,3	–	–	–
$C_{\text{СВОВ изм}}$	–	–	–	$11,3 \pm 2,2$	$9,7 \pm 2,5$	–	$13,5 \pm 3,0$	–	–	–	–
Осень, $C_{\text{СВОВ расч}} = 12,5 C_{\text{ХЛ}} + 3,6$ ( $r = 0,64; \sigma = 3,4; N = 75$ )											
$C_{\text{СВОВ расч}}$	6,1	7,7	–	6,6	–	12,0	9,6	12,0	11,4	–	–
$C_{\text{СВОВ изм}}$	$27,5 \pm 1,7$	–	–	–	–	$11,8 \pm 3,0$	$6,8 \pm 1,2$	$17,4 \pm 2,0$	$12,7 \pm 0,2$	–	–

П р и м е ч а н и е:  $r$  – коэффициент корреляции,  $\sigma$  – стандартная ошибка регрессии,  $N$  – число наблюдений.

Сопоставление измеренных и рассчитанных концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  для летне-осеннего периода показало их удовлетворительное соответствие. Согласно расчету для временного интервала 1978 – 1985 гг. в летний период были характерны относительно невысокие и примерно одинаковые в обеих частях моря концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$ , средние значения которых изменялись в пределах 9,4 – 11,5 мкМ. Сравнение таких оценок содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  с результатами измерений его концентраций в конце июня 1979 г. на участке вдоль Кавказского побережья от Туапсе до Батуми позволяет сделать в первом приближении предположение об их правдоподобности [22]. В области материкового склона на участках моря, удаленных от крупных портовых и курортных городов и предустьевых районов рек и отстоящих от берега на расстоянии 20 – 25 км, концентрация  $C_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое изменялась в пределах 4 – 15 мкМ. В прибрежных районах (расстояние от берега 4 – 10 км) его концентрация достигала значений 20 – 50 мкМ. В течение 1986 – 1991 гг. рассчитанные концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  (как и измеренные) увеличивались. Отметим, что даже для лета 1992 г. рассчитанные концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  в западной части моря оказались близки к измеренным. При анализе внутрисезонной изменчивости ВОВ было высказано предположение о, возможно, близком содержании компонентов ВОВ в июле в обычные неаномальные годы к его средним концентрациям, полученным для летнего периода в 1985 – 1990 гг. Рассчитанные концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое в западной части моря для июля 1982 г. и июля – августа 1989 г., равные 10,5 и 13,5 мкМ соответственно (табл. 4), были близки к средним концентрациям в летний период (табл. 1) и, следовательно, подтверждают высказанное предположение. В осенний период в 1978 – 1985 гг. рассчитанные концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  (6,1 – 8,6 мкМ) были заметно ниже по сравнению с измеренными концентрациями в 1989 – 1992 гг. ( $C_{\text{ВОВ расч}}$  находились в пределах 9,6 – 12,0 мкМ, а  $C_{\text{ВОВ изм}}$  – в диапазоне 6,8 – 12,8 мкМ). В связи с этим представляет интерес сравнение измеренных в сентябре – октябре 1999 г. в глубоководном районе северо-восточной части моря концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  с рассчитанными нами значениями содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  по концентрациям хлорофилла «а», приведенным в работе [16]. Так, в сентябре концентрация  $C_{\text{ВОВ изм}}$  равнялась  $10,4 \pm 1,5$  мкМ, а  $C_{\text{ВОВ расч}}$  –  $11,9 \pm 2,1$  мкМ. В октябре результаты измерений и расчетов различались несколько больше (концентрация  $C_{\text{ВОВ изм}}$  была равна  $12,5 \pm 3,0$  мкМ,  $C_{\text{ВОВ расч}}$  –  $9,2 \pm 3,4$  мкМ), но все же находились в удовлетворительном согласии. Это позволяет предположить, что заметных изменений в содержании  $C_{\text{ВОВ}}$  в конце 90-х годов не происходило.

### Заключение

В результате проведенного анализа многолетних данных (1978 – 1994 гг.) изучены основные особенности распределения концентраций компонентов ВОВ и их изменчивость (сезонная, внутрисезонная и межгодовая) в поверхностном слое и слое фотосинтеза в западной и восточной глубоководных частях Черного моря в летне-осенний период.

Отмечено заметное различие концентраций компонентов ВОВ, измеренных в море в первой и второй половинах 80-х и первой половине 90-х годов XX столетия (особенно в летний период).

Показано, что период до середины 80-х годов характеризовался относительно низкими величинами концентрации хлорофилла «а» и невысокой ее изменчивостью (это, видимо, можно отнести и к содержаниям  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$ , данные о которых в этот период нам не известны). Во второй половине 80-х годов (время появления в море гребневика *Mnemiopsis leidyi*) и в начале 90-х годов наблюдалось увеличение содержания компонентов ВОВ. Максимальные их концентрации были зарегистрированы в июле 1992 г. в период аномально интенсивного развития мелкоклеточного фитопланктона.

Рассчитаны оценки содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое, основанные на использовании регрессионной зависимости между одновременно измеренными концентрациями хлорофилла «а» и  $C_{\text{ВОВ}}$ . Сравнение рассчитанных и измеренных концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  показало удовлетворительное их согласие, что позволило оценить его содержание в периоды отсутствия наблюдений (конец 70-х – первая половина 80-х годов). Это может послужить основой для таких оценочных расчетов в настоящее время, когда доступна спутниковая информация о концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое и крайне ограничены экспедиционные измерения содержания взвешенного вещества.

Пространственное распределение концентраций компонентов ВОВ в летний период в 1979 – 1990 гг. незначительно изменилось по сравнению с их распределениями в весенний период. Повышенные концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в поверхностном слое и слое фотосинтеза 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  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в этих слоях в западной и восточной частях моря отмечены в июне и сентябре. Концентрация хлорофилла «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 южном и северо-восточном районах моря, а в слое фотосинтеза – в западной его части. Абсолютные величины их концентраций по сравнению с летним периодом увеличились на 10 – 20% в поверхностном слое и до 30% в слое фотосинтеза. Максимальные значения концентраций  $C_{\text{ВОВ}}$  и  $N_{\text{ВОВ}}$  в этих слоях во всем море отмечены в ноябре, минимальные – в декабре. Концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое увеличилась в 2,5 – 3 раза, в слое фотосинтеза — в 1,2 – 2 раза.

Автор выражает глубокую признательность З.П. Бурлаковой и Л.В. Еремеевой за предоставленные экспериментальные данные и полезные обсуждения полученных результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агатова А.И., Бурлакова З.П., Еремеева Л.В и др.* 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. *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.
3. *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.
4. *Демидов А.Б.* Пространственно-временная изменчивость хлорофилла «а» в Черном море в зимне-весенний период // Океанология. – 1999. – 39, № 5. – С. 755 – 767.
5. *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 использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – Вып. 18. – С. 213 – 227.
6. *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.
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. – 36, № 2. – С. 250 – 259.
8. *Ведерников В.И., Демидов А.Б.* Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // Там же. – 1993. – 33, № 2. – С. 229 – 235.
9. *Георгиева Л.С.* Видовой состав и динамика фитоценоза // Планктон Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1993. – С. 31 – 55.
10. *Крупаткина Д.К., Берсенева Г.П.* Первичная продукция и хлорофилл «а» Черного моря в осенне-зимний период // Океанология. – 1994. – 34, № 6. – С. 849 – 854.
11. *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 и антропогенные факторы. – М.: Наука, 1991. – С. 104 – 116.
12. *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.
13. *Филиппов В.С.* Взвешенный органический углерод в водах аэробной зоны Черного моря // Экосистемы пелагиали Черного моря. – М.: Наука, 1980. – С. 62 – 64.
14. *Люцарев С.В., Шанин С.С.* Особенности распределения взвешенного органического углерода в толще вод Черного моря // Океанология. – 1996. – 36, № 4. – С. 538 – 542.
15. *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.
16. *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. А.Г. Зацепин, М.В. Флинт. – М.: Наука, 2002. – С. 235 – 247.
17. *Бурлакова З.П., Еремеева Л.В., Коновалов С.К.* Сезонная и пространственная изменчивость содержания взвешенного органического вещества в деятельном слое Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 1998. – № 5. – С. 30 – 62.

18. Юнев О.А., Берсенева Г.П. Флюориметрический метод определения концентрации хлорофилла «а» и феофитина в фитопланктоне // Гидробиологический журнал. – 1986. – 22, № 2. – С. 102 – 108.
19. 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 / Eds. L.I. Ivanov, T. Oguz. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. – 1. – P. 105 – 120.
20. Кукушкин А.С., Бурлакова 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. – 46, № 6. – С. 834 – 845.
21. Румишинский Л.З. Элементы теории вероятности. – М.: Наука, 1970. – 256 с.
22. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Структура поля прозрачности и особенности ее формирования в поверхностном слое вод прибрежной зоны Кавказского побережья в весенне-летний период // Океанология. – 2001. – 41, № 6. – С. 815 – 826.

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

Материал поступил  
в редакцию 02.06.10  
После доработки 13.08.10

**АНОТАЦІЯ** За даними багаторічних спостережень розглянуті особливості розподілів концентрацій компонентів зваженої органічної речовини (ЗОР) та їх внутрішньосезонна і міжрічна мінливість в поверхневому шарі та шарі фотосинтезу в глибоководній частині Чорного моря в літньо-осінній період. Одержані статистичні оцінки сезонних і середньомісячних змін вмісту компонентів ЗОР, а також відносин концентрацій цих компонентів, які характеризують особливості продукційно-деструкційних процесів у ЗОР. Відмічено збільшення концентрацій компонентів ЗОР у 80-і та початку 90-х років ХХ сторіччя, які досягли аномально високих значень влітку 1992 р. Розраховані оцінки вмісту зваженого органічного вуглецю за концентрацією хлорофілу «а» в поверхневому шарі, засновані на використуванні регресійної залежності між одночасно вимірними їх концентраціями.

**Ключові слова:** зважена органічна речовина, хлорофіл «а», просторовий розподіл, мінливість, відношення концентрацій компонентів зваженої органічної речовини.

**ABSTRACT** Based on the data of multi-year observations considered are the features of concentrations' distributions of suspended organic matter (SOM) components and their intra-seasonal and inter-annual variability in the surface and photosynthesis layers in the deep-water part of the Black Sea in summer-autumn period. Statistical estimates of seasonal and monthly average variations of SOM components' content and the relations of these components' concentrations characterizing the features of production-destruction processes in SOM are obtained. Increase of SOM components' concentrations in the 80ies and early 90ies of the last century (the abnormally high values were achieved in summer, 1992) is noted. Using chlorophyll «a» concentration in the surface layer, the estimates of suspended organic carbon content are calculated based on regression dependence between their simultaneously measured concentrations.

**Keywords:** suspended organic matter, chlorophyll «a», spatial distribution, variability, relation of concentrations of suspended organic matter components.