

Изменчивость содержания взвешенного органического вещества в юго-западной части Крымского побережья по данным судовых и спутниковых наблюдений

А. С. Кукушкин¹, А. В. Пархоменко²

¹ *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия*

² *Институт морских биологических исследований РАН им. А. О. Ковалевского
Севастополь, 299011, Россия
E-mail: kukushkinas@mail.ru*

В статье рассматриваются результаты использования судовых (архивных) данных по содержанию компонентов взвешенного органического вещества (ВОВ), судовой и спутниковой информации по концентрации хлорофилла *a* для исследования изменчивости содержания его компонентов (взвешенный органический углерод, азот, фосфор) в поверхностном слое шельфовой зоны юго-западной части Крымского побережья. На основе судовых данных по содержанию компонентов ВОВ и хлорофилла *a* получены сезонные уравнения регрессии между этими показателями, измеренными одновременно в поверхностном слое исследуемой части моря. С использованием указанных уравнений и доступных судовых и спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* рассчитаны сезонные концентрации компонентов ВОВ, отличие которых от измеренных сезонных его концентраций находилось в пределах 10–25 %. По измеренной и рассчитанной концентрации взвешенного органического углерода оценивали особенности его сезонного пространственного распределения в поверхностном слое исследуемого района. На основе измеренных и рассчитанных (по спутниковым данным) концентраций компонентов ВОВ проанализирована их внутригодовая изменчивость, хорошо согласующаяся с годовым ходом развития фитопланктона в шельфовых водах юго-западной части Крымского побережья. Полученные результаты свидетельствуют о корректности выполненных расчётов содержания компонентов ВОВ и подтверждают возможность применения спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* для исследования их пространственной и внутригодовой изменчивости.

Ключевые слова: концентрация хлорофилла *a*, взвешенное органическое вещество, судовые и спутниковые данные, уравнения регрессии, изменчивость, Чёрное море

Одобрена к печати: 28.01.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-137-146

Введение

Взвешенное органическое вещество (ВОВ) является важным биологическим компонентом морской экосистемы. Исследования состава ВОВ и пространственно-временной изменчивости его компонентов позволяют оценить продуктивность экосистемы, интенсивность протекания в ней биохимических процессов и устойчивость к воздействиям на неё различных природных и антропогенных факторов.

Исследования содержания компонентов ВОВ наиболее активно проводились в период 1978–1995 гг. в глубоководной и шельфовой (северо-западной) части Чёрного моря (Бурлакова и др., 1998; Востоков, 1996; Кукушкин, 2013, 2014; Кукушкин, Пархоменко, 2015, 2018б). При этом для пополнения массива данных по содержанию компонентов ВОВ, необходимых для анализа их межгодовой изменчивости, авторами данной статьи был предложен и применён метод расчёта их концентраций, основанный на корреляционной связи между одновременно измеренными концентрациями этих компонентов ВОВ и хлорофилла *a*.

В связи с ограниченностью проводимых в последние 20 лет морских экспедиционных исследований в Чёрном море в работе (Кукушкин, Пархоменко, 2018а) была проведена оценка применимости спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* для изучения изменчивости содержания компонентов ВОВ в поверхностном слое моря, а также приведены результаты

использования рассчитанных по предложенной методике данных о содержании ВОВ для исследования пространственной и межгодовой изменчивости его компонентов в глубоководной и шельфовой (северо-западной) частях Чёрного моря.

Известно, что пределы внутригодовой изменчивости количественных показателей черноморского фитопланктона под влиянием гидрологических, климатических и антропогенных факторов довольно велики (особенно в прибрежных районах) (Георгиева, 1993). На сезонную изменчивость развития фитопланктона, в значительной степени определяющей изменчивость содержания ВОВ юго-западной части Крымского побережья, помимо береговых стоков оказывают влияние воды северо-западного шельфа и открытого моря. В то же время количество полученных ранее данных о содержании компонентов ВОВ и хлорофилла *a* в этой части моря ограничено, что не позволяло качественно исследовать пространственно-временную их изменчивость и оценивать экологическое состояние этого района моря.

Целью настоящей работы является анализ пространственной изменчивости содержания компонентов ВОВ по имеющимся экспериментальным данным и рассчитанным их концентрациям по судовым и спутниковым наблюдениям концентрации хлорофилла *a* в юго-западной части Крымского побережья.

Материалы и методы

В работе использованы данные судовых измерений концентрации взвешенного органического углерода ($C_{\text{ВОВ}}$), азота ($N_{\text{ВОВ}}$), фосфора ($P_{\text{ВОВ}}$) и хлорофилла *a* ($C_{\text{хл}}$) из банка данных Морского гидрофизического института РАН. В течение 1985–1994 гг. в юго-западной части Крымского побережья, ограниченной координатами 44–45°15' с. ш., 32–34° в. д. (рис. 1), содержание $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ измерялось на 44 станциях в 10 экспедиционных рейсах, а содержание $P_{\text{ВОВ}}$ — на 26 станциях в 5 рейсах. Содержание $C_{\text{хл}}$ измерялось на 77 станциях в 18 рейсах в период 1980–1995 гг. Кроме того, были привлечены среднемесячные значения концентраций хлорофилла *a*, полученные по результатам наблюдений спутникового сканера цвета CZCS за 1978–1986 гг. (данные были любезно переданы авторам В. В. Суслиным) и SeaWiFS за 1998–2010 гг. (<http://blackseacolor.com>). Результаты наблюдений сканеров цвета были обработаны с использованием региональных алгоритмов, учитывающих особенности вод Чёрного моря (Суетин и др., 2000; Suslin, Churilova, 2016).

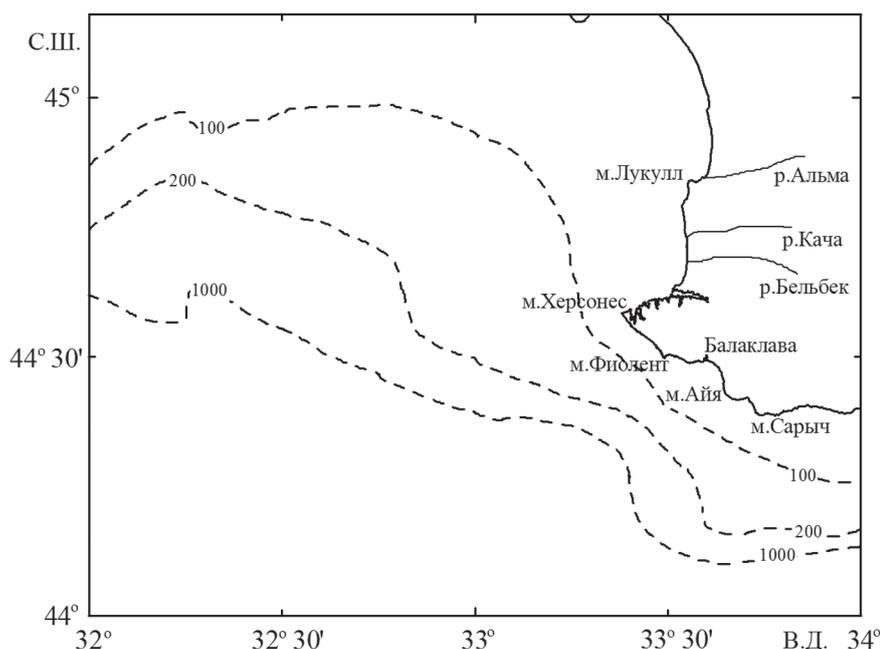


Рис. 1. Карта района. Штриховые линии — изобаты в метрах

Методика отбора проб и определения в них содержания компонентов ВОВ подробно описана в работах (Бурлакова и др., 1998; Кукушкин, 2013, 2014; Кукушкин, Пархоменко, 2015). Взвешенное органическое вещество получали фильтрацией 1,0–2,5 л воды через прокалённые при 400 °С для удаления органических веществ стекловолкнистые фильтры GF/F. Концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и $N_{\text{ВОВ}}$ после обработки фильтров слабой соляной кислотой (0,01 М) для удаления карбонатов вычисляли на анализаторе CHN-1 (Чехословакия), концентрацию $P_{\text{ВОВ}}$ определяли сжиганием взвеси на стекловолкнистых фильтрах GF/F в плаве кислых солей, а концентрацию хлорофилла a — флюориметрическим методом. Данные по биомассе фитопланктона, используемые для анализа внутригодовой изменчивости содержания полученных компонентов ВОВ, определяли с помощью микроскопирования предварительно сконцентрированного фитопланктона методом мягкой обратной фильтрации (Black Sea..., 2003).

Сравнение измеренных концентраций компонентов ВОВ в шельфовой зоне исследуемого района и рассчитанных по одновременно измеренным концентрациям $C_{\text{хл}}$ с помощью сезонных уравнений регрессии для северо-западной (шельфовой) части моря (Кукушкин, Пархоменко, 2018а) показало значительное их различие (свыше 50 %). Наиболее заметная разница в значениях концентраций отмечалась в весенний и летний периоды, когда трансформированные речные воды, обогащённые биогенными элементами, распространялись на большую часть акватории северо-западного шельфа (Кукушкин, 2013). Поэтому для исследуемого района, на который эти трансформированные речные воды эпизодически оказывают слабое влияние, с использованием одновременно измеренных концентраций компонентов ВОВ и $C_{\text{хл}}$ в поверхностном слое моря были получены уравнения линейной регрессии, параметры которых представлены в *табл. 1*.

Таблица 1. Параметры уравнений регрессии ($y = ax + b$), связывающие концентрацию взвешенного органического углерода ($C_{\text{ВОВ}}$, мкМ), азота ($N_{\text{ВОВ}}$, мкМ) и фосфора ($P_{\text{ВОВ}}$, мкМ) с концентрацией хлорофилла a ($C_{\text{хл}}$, мг/м^{-3}) в поверхностном слое в юго-западной (шельфовой) части Крымского побережья. N — число пар параметров

Параметры уравнения			Зима	Весна	Лето	Осень
y	x					
$C_{\text{ВОВ}}$	$C_{\text{хл}}$	a	9,7	6,3	7,8	7,7
		b	4,2	7,6	12,3	5,8
		r	0,78	0,74	0,9	0,76
		s	1,0	1,4	5,7	0,9
		N	10	13	15	10
$N_{\text{ВОВ}}$	$C_{\text{хл}}$	a	0,5	1,9	4,5	2,5
		b	0,57	0,7	1,0	1,0
		r	0,87	0,83	0,7	0,7
		s	0,03	0,3	0,4	0,55
		N	8	15	14	10
$P_{\text{ВОВ}}$	$C_{\text{хл}}$	a	0,015	0,052	0,14	0,054
		b	0,017	0,03	0,01	0,01
		r	0,62	0,78	0,7	0,72
		s	0,002	0,011	0,013	0,002
		N	8	15	12	8

Пространственную структуру исследуемых показателей оценивали по их распределениям в поверхностном слое (0–5 м). Для построения карт сезонных распределений значения исследуемых параметров усредняли в квадратах со стороной 10'. Средние их значения относились к центру квадрата, в котором они рассчитывались.

Результаты и обсуждение

Сезонная изменчивость пространственного распределения содержания C_{BOB}

С использованием сезонных уравнений регрессии (см. табл. 1) и доступного массива судовых и спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* были рассчитаны сезонные значения концентраций C_{BOB} , N_{BOB} , P_{BOB} (табл. 2). На рис. 2 представлено пространственное распределение содержания C_{BOB} в поверхностном слое в годовом цикле, построенное по данным натурных наблюдений, дополненным рассчитанными его значениями по измеренным концентрациям хлорофилла *a*. Измеренные и рассчитанные сезонные значения концентрации C_{BOB} в шельфовой зоне (0–200 м) района (см. табл. 2) были примерно одинаковые, что отразилось на достаточно однородном характере её сезонных распределений.

Таблица 2. Сезонные изменения измеренных ($C_{\text{эксп}}$, $N_{\text{эксп}}$, $P_{\text{эксп}}$, мкМ) и рассчитанных ($C_{\text{расч}}$, $N_{\text{расч}}$, $P_{\text{расч}}$, мкМ) концентраций компонентов BOB по концентрации хлорофилла *a* ($C_{\text{хл эксп}}$, $C_{\text{хл спутн}}$ — CZCS, SW), полученных в шельфовой зоне исследуемого района

Сезон	$C_{\text{эксп}}$	$C_{\text{расч}}$			$N_{\text{эксп}}$	$N_{\text{расч}}$			$P_{\text{эксп}}$	$P_{\text{расч}}$		
		$C_{\text{хл эксп}}$	$C_{\text{хл спутн}}$			$C_{\text{хл эксп}}$	$C_{\text{хл спутн}}$			$C_{\text{хл эксп}}$	$C_{\text{хл спутн}}$	
			CZCS	SW			CZCS	SW			CZCS	SW
Зима	8,5	10,1	10	11,2	1	0,88	0,89	1	0,027	0,028	0,028	0,03
Весна	11,9	10,1	10,5	10,6	1,88	1,72	1,95	1,61	0,060	0,067	0,058	0,058
Лето	14,4	15	14	14,8	2,15	2,45	2,31	2,34	0,045	0,053	0,053	0,057
Осень	11,5	10,5	11	10,2	1,4	1,65	2,5	2,41	0,031	0,038	0,041	0,041

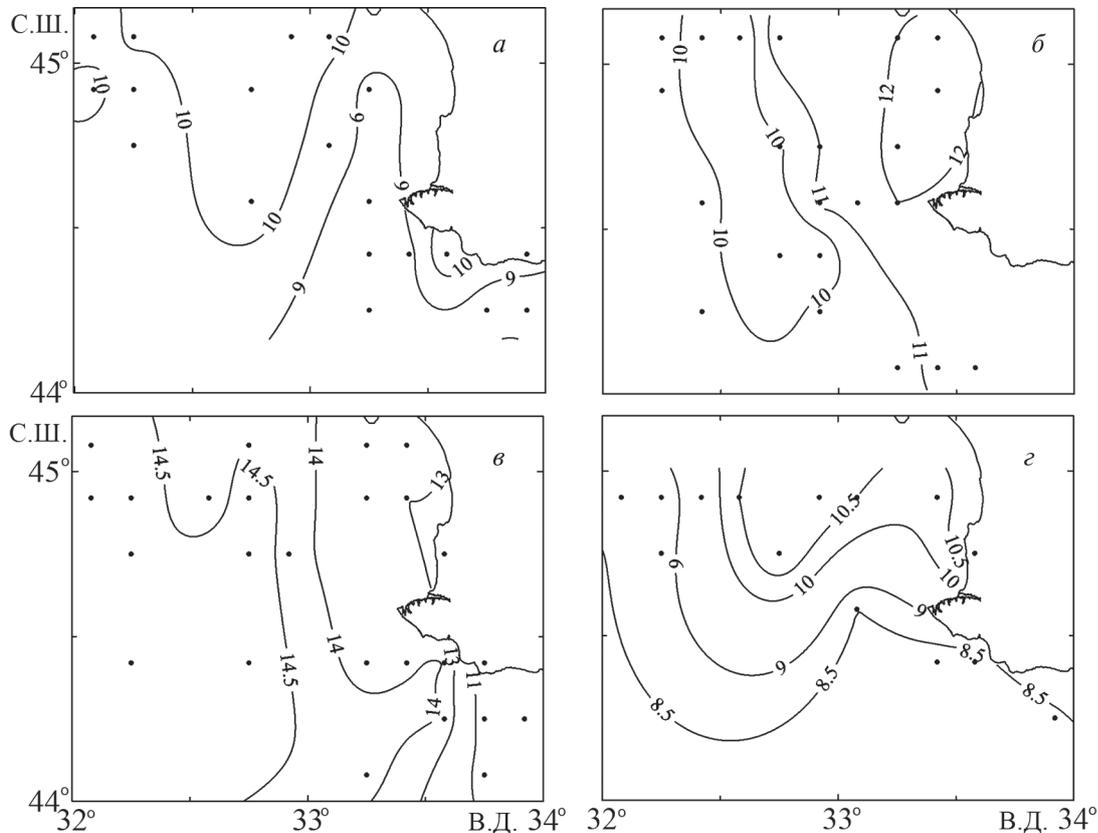


Рис. 2. Распределение концентрации C_{BOB} (мкМ) по данным измерений и расчёта по измеренной концентрации хлорофилла *a* в зимний (а), весенний (б), летний (в) и осенний (г) периоды

Пространственное распределение концентрации $C_{\text{ВОВ}}$, построенное по данным хлорофилла a , полученным на основе спутниковых наблюдений, представлено на *рис. 3*. Характер сезонных распределений $C_{\text{ВОВ}}$ на этом рисунке, как и на *рис. 2*, был однородным. Абсолютные величины рассчитанных концентраций $C_{\text{ВОВ}}$ хорошо совпадают с измеренными (см. *табл. 2*), что свидетельствует о корректности выполненных расчётов и подтверждает возможность применения спутниковых данных по концентрации хлорофилла a для исследования изменчивости распределения содержания ВОВ.

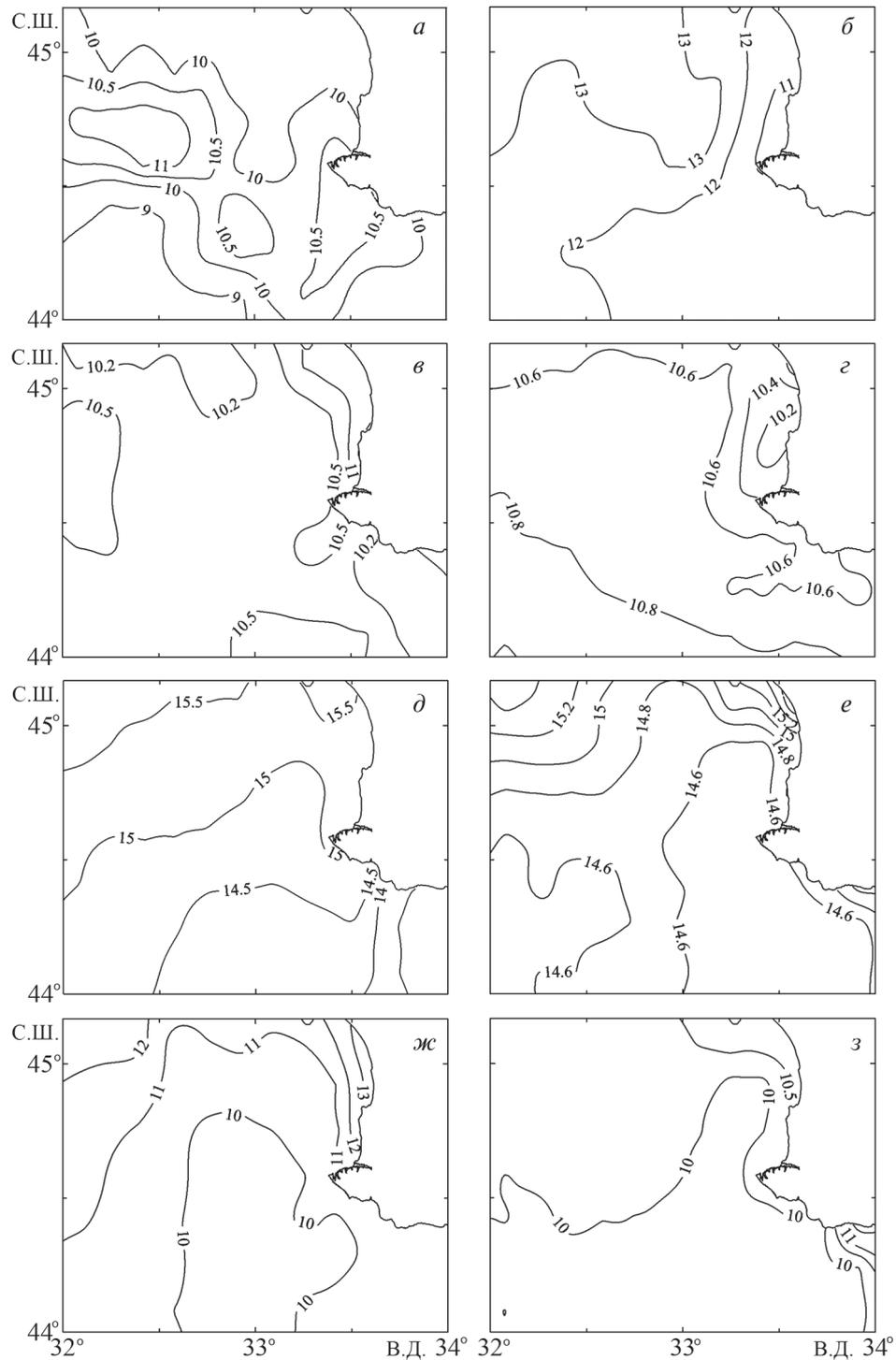


Рис. 3. Распределение концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ (мкМ), рассчитанной на основе спутниковых данных по концентрации хлорофилла a — сканер CZCS (*а, в, д, ж*) и Sea WiFS (*б, г, е, з*) в зимний (*а, б*), весенний (*в, г*), летний (*д, е*) и осенний (*ж, з*) периоды

Сравнение измеренных и рассчитанных концентраций $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ (см. табл. 2) также в целом показывает удовлетворительное их совпадение. Некоторые различия этих сезонных концентраций (например, концентраций $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ в летний и осенний сезон) могут быть связаны как с неодинаковой обеспеченностью данных по акватории шельфовой зоны исследуемого района, так и с межгодовой изменчивостью их концентраций. Пространственные распределения $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ не приводятся. В то же время, учитывая использование при расчёте их концентраций и концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ одних и тех же данных по содержанию хлорофилла *a*, можно достаточно уверенно считать, что характер их пространственных распределений будет однородным и близким к распределению $C_{\text{ВОВ}}$.

Таким образом, сравнение измеренных и рассчитанных (по данным судовых и спутниковых наблюдений C_{chl}) концентраций $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ показало однородный характер пространственного распределения и незначительные различия их абсолютных величин в разные сезоны года, что свидетельствует о корректности выполненных расчётов и подтверждает возможность применения спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* для исследования изменчивости распределения содержания ВОВ.

В связи с отсутствием результатов измерений компонентов ВОВ, проведённых другими авторами в исследуемых районах, представляет интерес сопоставить их концентрации, рассчитанные нами, с результатами измерений в соседних районах моря. Известны данные измерений, полученные в восточном районе северо-западной части моря (СЗЧМ) с координатами $44^{\circ}30' - 46^{\circ}$ с. ш., $32^{\circ} - 33^{\circ}30'$ в. д., частично включающем исследуемый нами район, а также в западном циклоническом круговороте (Бурлакова и др., 1998; Кукушкин, 2013, 2014). Данные сравнительного анализа измеренных в этих районах и рассчитанных по концентрации хлорофилла *a* (сканер CZCS) концентраций компонентов ВОВ представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сезонные изменения рассчитанных ($C_{\text{расч}}$, $N_{\text{расч}}$, $P_{\text{расч}}$, мкМ) по концентрации хлорофилла *a* (сканер CZCS) в юго-западной (шельфовой) части Крымского побережья и измеренных ($C_{\text{эксп}}$, $N_{\text{эксп}}$, $P_{\text{эксп}}$, мкМ) концентраций компонентов ВОВ в восточном (шельфовом) районе северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ) и в западном циклоническом круговороте (ЗЦК)

Сезон	$C_{\text{расч}}$	$C_{\text{эксп}}$		$N_{\text{расч}}$	$N_{\text{эксп}}$		$P_{\text{расч}}$	$P_{\text{эксп}}$	
		СЗЧМ	ЗЦК		СЗЧМ	ЗЦК		СЗЧМ	ЗЦК
Зима	10	8,9	16,2	0,89	1,05	1,73	0,028	0,025	0,056
Весна	10,5	14,5	11,3	1,95	2,18	2,4	0,058	0,052	0,075
Лето	14	18,9	11,1	2,31	2,85	1,35	0,053	0,074	0,04
Осень	11	16,4	10,9	2,5	2,37	1	0,041	0,031	0,037

В восточном районе СЗЧМ в весенне-летний период наблюдалось более значительное увеличение концентрации компонентов ВОВ по сравнению с исследуемым районом. Это было связано с распространением в данный период в восточном районе (особенно в северных его участках) трансформированных речных вод, обогащённых биогенными элементами, которые создавали благоприятные условия для интенсивного развития фитопланктона и увеличения содержания ВОВ. В исследуемом районе эти воды, как правило, не распространялись восточнее 33° в. д., и поэтому условия для развития фитопланктона на большей его части были менее благоприятными. Высокие концентрации компонентов ВОВ в зимний период в глубоководном западном циклоническом круговороте также объясняются интенсивным развитием фитопланктона, наблюдаемым обычно в этот период (Георгиева, 1993; Кривенко, Пархоменко, 2010; Кукушкин, 2014).

Внутригодовая изменчивость содержания компонентов ВОВ

Отсутствие данных по измерению концентраций $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ в феврале – марте и небольшое количество станций с их данными в отдельные месяцы (в августе – январе в исследуемом

районе было проведено по 2–4 станции, в остальные месяцы — 7–9 станций), не позволяло статистически достоверно получить оценки их внутригодовой изменчивости. Для решения задачи было проведено объединение измеренных и рассчитанных (по измеренным концентрациям хлорофилла *a*) в каждом месяце данных по содержанию этих показателей, основанное на удовлетворительном их совпадении. Различие измеренных и рассчитанных концентраций компонентов ВОВ в годовом цикле в среднем находилось в пределах 10–25 %. В результате по более обеспеченным объединённым данным были получены среднемесячные концентрации, использование которых несколько снизило влияние межгодовой изменчивости содержания показателей ВОВ. На *рис. 4* представлены внутригодовые изменения содержания $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$, $P_{\text{ВОВ}}$ в поверхностном слое моря, полученные как по объединённым величинам концентраций, так и по рассчитанным на основе спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* в шельфовой зоне юго-западной части Крымского побережья. Анализ внутригодовой изменчивости среднемесячных концентраций компонентов ВОВ в поверхностном слое исследуемого района показал, что минимальные значения этих компонентов ВОВ наблюдались в зимний (декабрь, январь, февраль) и осенний (октябрь, ноябрь) периоды. В весенне-летний период было отмечено повышенное их содержание, наиболее выраженное в августе – сентябре. В осенний период отмечалось резкое понижение значений концентраций компонентов ВОВ. В целом для исследуемого района характерна одновершинная кривая изменения содержания компонентов ВОВ, повышенные значения которых наблюдались в весенне-летний период. Аналогичный характер внутригодовой изменчивости отмечался и в отношении биомассы фитопланктона (см. *рис. 4*), определённой по данным (Black Sea..., 2003) на участке шельфа, ограниченного координатами 44–45° с.ш., 32–34° в.д. и совпадающего с исследуемым районом. Следует отметить, что приведённый на *рис. 4* годовой ход изменчивости биомассы фитопланктона в целом согласовывался с её годовым ходом, определённым в районе свала глубин и восточного участка северо-западного шельфа (Кривенко, Пархоменко, 2010), координаты которого (32–33° в.д., 44–45° с.ш.) совпадают с координатами исследуемого района моря. В настоящей работе показано, что годовой ход биомассы фитопланктона характеризовался максимальными величинами в сентябре – ноябре и пониженными её величинами в другие месяцы.

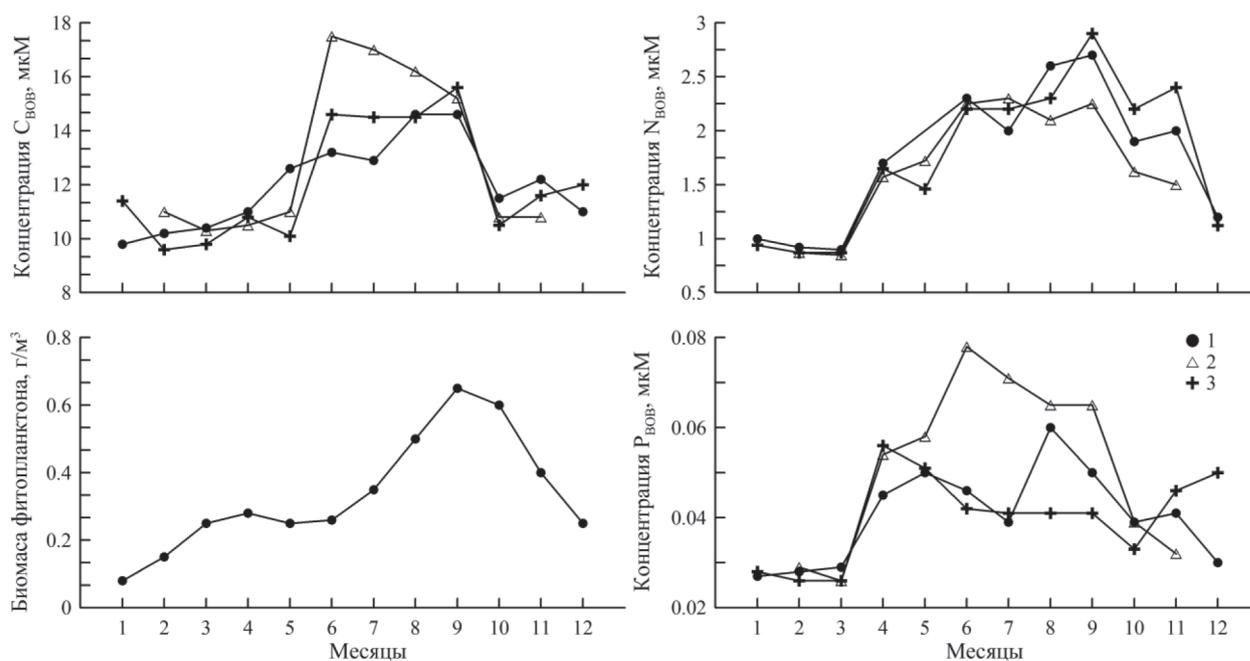


Рис. 4. Внутригодовые изменения биомассы фитопланктона и концентрации $C_{\text{ВОВ}}$, $N_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{ВОВ}}$ по данным измерений и расчёта по измеренной концентрации хлорофилла *a* (1) и рассчитанных на основе спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* — сканер CZCS (2) и Sea WiFS (3)

Для годового хода биомассы фитопланктона в восточной части северо-западного шельфа были характерны повышенные её величины в летне-осеннее время (июль—октябрь) (Black Sea..., 2003), что связано с благоприятными условиями для развития фитопланктона в этот период вследствие поступления в район обогащённых биогенными веществами трансформированных речных вод. Таким образом, полученный годовой ход (см. *рис. 4*) отражает условия развития фитопланктона в шельфовой и глубоководной частях исследуемого района, что, в свою очередь, свидетельствует о влиянии гидробиологических процессов в этих участках моря на экологическое состояние района.

Заключение

В результате проведённых исследований на основе судовых (архивных) данных по содержанию компонентов ВОВ и хлорофилла *a* получены сезонные уравнения регрессии между этими показателями, измеренными одновременно в поверхностном слое шельфовой зоны юго-западной части Крымского побережья, и рассчитаны сезонные концентрации компонентов ВОВ, отличие которых от измеренных находилось в пределах 10–25 %.

Выявлен однородный характер сезонных распределений концентрации взвешенного органического углерода, построенных по измеренным и рассчитанным (на основе данных судовых и спутниковых наблюдений концентрации хлорофилла *a*) его концентрациям. Также по измеренным и рассчитанным (по спутниковым данным) концентрациям компонентов ВОВ проанализирована их внутригодовая изменчивость, хорошо согласующаяся с годовым ходом развития фитопланктона в шельфовых водах юго-западной части Крымского побережья. Полученные результаты подтверждают возможность применения спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* для исследования пространственной и внутригодовой изменчивости содержания компонентов ВОВ.

Литература

1. Бурлакова З. П., Еремеева Л. В., Коновалов С. К. Сезонная и пространственная изменчивость содержания взвешенного органического вещества в деятельном слое Черного моря // *Морской гидрофиз. журн.* 1998. № 5. С. 30–62.
2. Востоков С. В. Взвешенное вещество как показатель продуктивности в западной части Чёрного моря // *Океанология.* 1996. Т. 36. № 2. С. 260–267.
3. Георгиева Л. В. Видовой состав и динамика фитоцены // *Планктон Черного моря.* Киев: Наукова думка, 1993. С. 31–55.
4. Кривенко О. В., Пархоменко А. В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948–2001 гг. // *Морской экологич. журн.* 2010. Т 9. № 4. С. 5–24.
5. Кукушкин А. С. Изменчивость содержания взвешенного органического вещества в северо-западной части Черного моря // *Океанология.* 2013. Т. 53. № 5. С. 626–642.
6. Кукушкин А. С. Изменчивость содержания взвешенного органического вещества в верхнем слое глубоководной части Черного моря // *Океанология.* 2014. Т. 54. № 5. С. 612–625.
7. Кукушкин А. С., Пархоменко А. В. Изменчивость содержания взвешенного органического фосфора в верхнем слое глубоководной области Черного моря // *Океанология.* 2015. Т. 55. № 2. С. 252–261.
8. Кукушкин А. С., Пархоменко А. В. (2018а) Оценка применимости спутниковых данных для исследования изменчивости содержания взвешенного органического вещества в поверхностном слое Черного моря // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2018. Т. 15. № 1. С. 195–205.
9. Кукушкин А. С., Пархоменко А. В. (2018б) Вариабильность взвешенного органического фосфора в северо-западной части Черного моря // *Океанология.* 2018. Т. 58. № 3. С. 374–390.
10. Суетин В. С., Кучерявый А. А., Суслин В. В., Королев С. Н. Концентрация пигментов фитопланктона в северо-западной части Черного моря по данным измерений спутниковым цветовым сканером CZCS // *Морской гидрофиз. журн.* 2000. № 2. С. 74–82.

11. Black Sea Database. Supplied with Ocean Base 3.07 DBMS. 2003. NATO SfP-971818 ODBMS Black Sea Project. CD-ROM.
12. *Suslin V. V., Churilova T. Ya.* A regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll *a* and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners // Intern. J. Remote Sensing. 2016. V. 37. No. 18. P. 4380–4400.

Variability of the content of suspended organic matter along the southwestern Crimean coast according to ship and satellite observations

A. S. Kukushkin¹, A. V. Parkhomenko²

¹ *Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia*

² *Kovalevsky Institute of Marine Biological Studies RAS, Sevastopol 299011, Russia*
E-mail: kukushkinas@mail.ru

The article discusses the results of the use of ship (archival) data on the content of suspended organic matter (SOM), ship and satellite data on the chlorophyll *a* concentration for studying the variability of SOM component content (suspended organic carbon, nitrogen, phosphorus) in the surface layer of the shelf zone of the southwestern Crimea. On the basis of ship data on SOM content and chlorophyll *a*, seasonal regression equations were obtained between these values measured simultaneously in the surface layer of the studied sea region. With the use of these equations and accessible ship and satellite data on the concentration of chlorophyll *a*, the seasonal concentrations of the SOM components were calculated, the difference from the measured seasonal concentrations was in the range of 10–25 %. The measured and calculated concentrations of suspended organic carbon were used to assess its seasonal spatial distribution in the surface layer of the investigated region. According to the measured and calculated (according to satellite data) concentrations of SOM components, their annual variability agrees well with the annual course of phytoplankton development in the shelf waters of the southwestern Crimea. The received results prove correctness of the performed calculations of SOM component content and confirm the utility of using satellite data on chlorophyll *a* concentration to study SOM component spatial and intra-annual variability.

Keywords: chlorophyll *a* concentration, suspended organic matter, shipboard and satellite observations, regression equations, variability, Black Sea

Accepted: 28.01.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-137-146

References

1. Burlakova Z. P., Eremeeva L. V., Konovalov S. K., Sezonnaya i prostranstvennaya izmenchivost' soderzhaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v deyatel'nom sloe Chernogo morya (Seasonal and spatial variability of concentration of suspended organic matter in active layer of the Black Sea), *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 1998, No. 5, pp. 30–62.
2. Vostokov S. V., Vzveshennoe veshchestvo kak pokazatel' produktivnosti v zapadnoi chasti Chernogo morya (Suspended matter as the indicator of production in western part of the Black Sea), *Okeanologiya*, 1996, Vol. 36, No. 2, pp. 260–267.
3. Georgieva L. V., Vidovoi sostav i dinamika fitotsena (Species composition and dynamics of phytoplankton), In: *Plankton Chernogo morya* (Black Sea plankton), Kiev: Naukova dumka, 1993, pp. 31–55.
4. Krivenko O. V., Parkhomenko A. V., Prostranstvennaya i vremennaya izmenchivost' biomassy fitoplanktona v Chernom more za period 1948–2001 gg. (Spatial and time variability of phytoplankton biomass in the Black Sea during 1948–2001), *Morskoi ekologicheskii zhurnal*, 2010, Vol. 9, No. 4, pp. 5–24.

5. Kukushkin A. S., *Izmenchivost' sodержaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v severo-zapadnoi chasti Chernogo morya* (Variability of suspended organic matter in North-western part of the Black Sea), *Okeanologiya*, 2013, Vol. 53, No. 5, pp. 626–642.
6. Kukushkin A. S., *Izmenchivost' sodержaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v verkhnem sloe glubokovodnoi chasti Chernogo morya* (Variability of suspended organic matter in the surface layer in the Black Sea (deep-sea areas)), *Okeanologiya*, 2014, Vol. 54, No. 5, pp. 646–658.
7. Kukushkin A. S., Parkhomenko A. V., *Izmenchivost' sodержaniya vzveshennogo organicheskogo fosfora v verkhnem sloe glubokovodnoi oblasti Chernogo morya* (Variability of suspended organic phosphorus in the upper layer of deep part of the Black Sea), *Okeanologiya*, 2015, Vol. 55, No. 2, pp. 252–261.
8. Kukushkin A. S., Parkhomenko A. V. (2018a), *Otsenka primenimosti sputnikovyykh dannykh dlya issledovaniya izmenchivosti sodержaniya vzveshennogo organicheskogo veshchestva v poverkhnostnom sloe Chernogo morya* (Satellite Data Applicability Evaluation for Studying the Suspended Organic Matter Variability in the Surface Layer of the Black Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 1, pp. 195–205.
9. Kukushkin A. S., Parkhomenko A. V. (2018b), *Variabil'nost' vzveshennogo organicheskogo fosfora v severo-zapadnoi chasti Chernogo morya* (Variability of Particulate Organic Phosphorus in the Northwestern Part of the Black Sea), *Okeanologiya*, 2018, Vol. 58, No. 3, pp. 374–390.
10. Suetin V. S., Kucheryavii A. A., Suslin V. V., Korolev S. N., *Kontsentratsiya pigmentov fitoplanktona v severo-zapadnoi chasti Chernogo morya po dannym izmerenii sputnikovym tsvetovym skanerom CZCS* (Concentrations of phytoplankton in the North-western part of the Black sea based on data of measurements by satellite color scanner CZCS), *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 2000, No. 2, pp. 74–82.
11. *Black Sea Database. Supplied with Ocean Base 3.07 DBMS*, 2003, NATO SfP-971818 ODBMS Black Sea Project, CD-ROM.
12. Suslin V. V., Churilova T. Ya., *A regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll a and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners*, *Intern. J. Remote Sensing*, 2016, Vol. 37, No. 18, pp. 4380–4400.