

А.А. Джулай

*Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь*

### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» И ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ПИГМЕНТАМИ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЯ (2009 – 2010 гг.)

Характер изменения концентрации хлорофилла «а» в поверхностных водах двухмильной зоны в районе Севастополя, имел *U*-образную форму с максимумом в осенне-зимний период года и минимумом в летний, и был сопоставим с изменением содержания пигментов в глубоководной части Черного моря. Содержание хлорофилла «а» в Севастопольской бухте превышало его содержание в открытой части моря у берегов Севастополя практически на порядок. За последнее десятилетие концентрация хлорофилла «а» в прибрежных водах Севастополя практически не изменилась. Исследования показали, что основным абиотическим фактором, влияющим на удельное поглощение света фитопланктоном в прибрежных водах Севастополя, являлись световые условия, в которых существовала популяция фитопланктона.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *концентрация хлорофилла «а», пигментный индекс, поглощение света фитопланктоном, Черное море, Севастопольская бухта.*

**Введение.** Исследование оптических характеристик фитопланктона и их изменчивости при адаптации фитопланктона к разным факторам среды в настоящее время очень актуально. Это, прежде всего, связано с тем, что эффективность поглощения света определяет эффективность фотосинтеза и, следовательно, продуктивность фитопланктона [1].

В связи с этим цель этой работы состояла в исследовании сезонной динамики содержания пигментов фитопланктона и спектров поглощения света.

**Методы.** Отбор проб проводился в период с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. раз в две недели в поверхностном слое на трех станциях, схема расположения которых показана на рис. 1: станция № 1 расположена на расстоянии около двух миль от берега; станция № 2 расположена вблизи от Константиновского равелина, который далее будем называть – равелин, станция № 3 расположена в районе Сухарной балки. В процессе работы измеряли концентрацию хлорофилла «а» ( $C_a$ ) и поглощение света пигментами фитопланктона ( $a_{ph}(\lambda)$ ).



Рис. 1. Схема расположения станций в Севастопольской бухте.

**Определение содержания хлорофилла «а».** Пробы фитопланктона объемом от 500 до 1000 мл каждая осаждали на стекловолокнистые фильтры *GF/F (Whatman)* диаметром 25 мм фильтрацией при вакууме не

более 0,2 атм. Пигменты экстрагировали в 90% водном растворе ацетона в течение 18 часов в холодильнике при температуре +3°C. Затем экстракт осветляли центрифугированием при скорости 3000 об/мин в течение 15 минут. Оптическую плотность ацетоновых экстрактов определяли на двухлучевом спектрофотометре *Specord M40 (Carl Zeiss Jena)*.

$C_a$  рассчитывали по формуле [2]:

$$C_a = (11,85 \cdot OD_{664} - 1,54 \cdot OD_{647} - 0,08 \cdot OD_{630}) (V_{эк}/V_{пр} \cdot L_k), \quad (1)$$

где  $OD$  – оптическая плотность экстрактов на указанной длине волны с учетом поправки на неспецифическое поглощение на длине волны 750 нм,  $V_{эк}$  – объем экстракта (мл),  $V_{пр}$  – объем профильтрованной пробы (л),  $L_k$  – длина кюветы (см).

В ацетоновых экстрактах измеряли спектры оптической плотности в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм, что позволило определить величину пигментного индекса (ПИ) – отношение между оптическими плотностями в максимумах спектра поглощения вблизи длин волн 430 и 663 нм соответственно ( $ПИ = OD_{430}/OD_{663}$ ).

Определение коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона. Спектральные измерения выполнены по стандартной методике «количественного определения на увлажненных фильтрах» («*Quantitative Filter Technique*») [3, 4].

Как и в предыдущих измерениях, пробы фитопланктона объемом от 500 до 1000 мл фильтровали через стекловолоконистые фильтры *GF/F (Whatman)* диаметром 25 мм при вакууме не более 0,2 атм. Оптические измерения проводили сразу же после фильтрации на двухлучевом спектрофотометре *Specord-M40 (Carl Zeiss Jena)* в диапазоне длин волн  $\lambda$  от 400 до 750 нм. Оптическую плотность взвеси, собранной на фильтре,  $OD_{fp}(\lambda)$ , измеряли, предварительно увлажнив фильтр ультрафильтратом морской воды. Для сравнения использовали аналогично увлажненный чистый фильтр. В процессе сканирования (~ 2 минуты) влажность фильтра практически не изменялась. Пигменты фитопланктона экстрагировали горячим метанолом по методике, приведенной в [5]. После обработки фильтра метанолом на нем остается обесцвеченная взвесь. Аналогичным образом был обработан и фильтр сравнения. Затем измеряли оптическую плотность обесцвеченной взвеси  $OD_{fd}(\lambda)$ .

Для перехода от значений оптической плотности взвеси на фильтре,  $OD_{fp}(\lambda)$  и  $OD_{fd}(\lambda)$ , к величинам оптической плотности в суспензии,  $OD_p(\lambda)$  и  $OD_d(\lambda)$ , использовали уравнение [6]:

$$OD_{p/d}(\lambda) = a \cdot OD_f(\lambda) + b \cdot [OD_f(\lambda)]^2, \quad (2)$$

где  $a = 0,392$  и  $b = 0,655$  – коэффициенты для фильтров *GF/F*.

Затем рассчитывали коэффициенты поглощения света пигментами фитопланктона по формуле:

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda), \text{ м}^{-1}, \quad (3)$$

где

$$a_p(\lambda) = 2,3 \cdot OD_p(\lambda) / l_g, \text{ м}^{-1}, \quad (4)$$

$$a_d(\lambda) = 2,3 \cdot OD_d(\lambda) / l_g, \text{ м}^{-1}, \quad (5)$$

В выражения (4) и (5): 2,3 – коэффициент для перехода от десятичного логарифма к натуральному;  $l_g$  – геометрическая длина пути,  $l_g = V_f / S$  [м];  $V_f$  – объем профильтрованной пробы ( $\text{м}^3$ );  $S$  – рабочая площадь фильтра [ $\text{м}^2$ ];  $a_{ph}(\lambda)$  – коэффициент поглощения света пигментами фитопланктона;  $a_p(\lambda)$  – коэффициент поглощения света взвесью;  $a_d(\lambda)$  – коэффициент поглощения света обесцвеченной взвесью;  $a_{ph}^*(\lambda)$  – величина удельного (нормированного на содержание хлорофилла «а») коэффициента поглощения света пигментами фитопланктона.

### Результаты

**1. Пигменты фитопланктона.** Рис. 2 демонстрирует изменчивость концентрации хлорофилла «а» с февраля 2009 г. по февраль 2010 г., наблюдавшуюся на трех станциях в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя. Сведения о статистических характеристиках исследованных параметров, приведены в таблице.

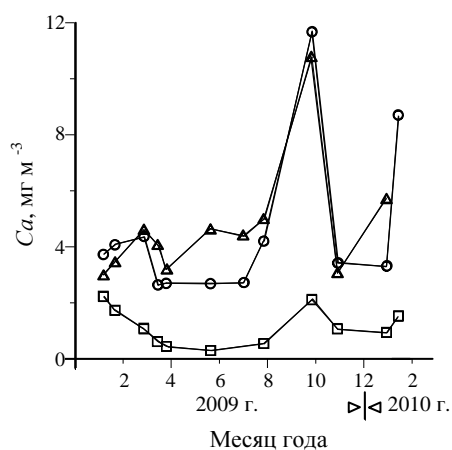


Рис. 2. Изменение концентрации хлорофилла «а» с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. на трех станциях в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя: —□— на станции 1; —○— на станции 2; —△— на станции 3 (расположение станций – см. рис. 1).

На первой станции, расположенной в двухмильной зоне от берега (см. рис. 1, станция 1), концентрация хлорофилла «а» ( $C_a$ ) плавно изменялась от высоких значений в холодное время года до низких – в теплое. Наибольшие значения  $C_a$  были зафиксированы в феврале и октябре 2009 г. ( $2,2$  и  $2,1 \text{ мг м}^{-3}$ ), а минимальные – в июне 2009 г. ( $0,3 \text{ мг м}^{-3}$ ). Среднегодовая величина концентрации хлорофилла «а» ( $\overline{C_a}$ ) составила  $1,1 \pm 0,7 \text{ мг м}^{-3}$ .

На второй станции, расположенной вблизи равелина (см. рис. 1, станция 2), были отмечены более частые колебания  $C_a$  в течение года, чем на

фоновой станции. После весеннего пика в марте ( $4,4 \text{ мгм}^{-3}$ ) наблюдалось снижение  $C_a$  до минимальных за год значений ( $2,6 - 2,7 \text{ мгм}^{-3}$ ), отмеченных в период с апреля по июль. Затем наблюдалось увеличение  $C_a$  до наибольших за год величин ( $11,7 \text{ мгм}^{-3}$ ), зафиксированных в октябре. В зимнее время отмечены резкие колебания  $C_a$  от  $3,3 \text{ мгм}^{-3}$  в январе до  $8,7 \text{ мгм}^{-3}$  в феврале. Среднегодовая величина концентрации хлорофилла «а»  $\overline{C_a}$  составила  $4,5 \pm 2,8 \text{ мгм}^{-3}$ .

Таблица. Статистические характеристики исследованных параметров в период с февраля 2009 по февраль 2010 гг.

Параметр, обозначение, единицы измерения	Статистические характеристики	Значение параметра, наблюдавшегося на станции (расположение – см. рис. 1)		
		№ 1	№ 2	№ 3
$C_a, \text{ мг м}^{-3}$	Пределы изменения	0,3 – 2,2	2,6 – 11,7	3,0 – 10,8
	Среднее значение	1,1	4,5	4,7
	Среднее квадратическое отклонение	0,7	2,8	2,2
$a_{ph}^* (440), \text{ м}^2 \text{ мгХл}^{-1}$	Пределы изменения	0,034 – 0,070	0,019 – 0,074	0,025 – 0,058
	Среднее значение	0,047	0,037	0,04
	Среднее квадратическое отклонение	0,011	0,016	0,01
$a_{ph}^* (678), \text{ м}^2 \text{ мгХл}^{-1}$	Пределы изменения	0,017 – 0,020	0,011 – 0,028	0,013 – 0,022
	Среднее значение	0,022	0,017	0,017
	Среднее квадратическое отклонение	0,002	0,005	0,003
$R$	Пределы изменения	1,8 – 3,1	1,7 – 2,7	1,8 – 3,1
	Среднее значение	2,4	2,0	2,3
	Среднее квадратическое отклонение	0,4	0,3	0,4
ПИ	Пределы изменения	3,1 – 4,0	2,5 – 3,9	2,8 – 3,6
	Среднее значение	3,5	3,0	3,1
	Среднее квадратическое отклонение	0,3	0,4	0,3

Примечание:  $C_a$  – концентрация хлорофилла «а»;  $a_{ph}^* (440)$  и  $a_{ph}^* (678)$  – величины удельного (нормированного на концентрацию хлорофилла «а») поглощения света пигментами фитопланктона [на длинах волн 440 и 678 нм, соответствующих максимумам в синей и красной области спектра](#);  $R$  – отношение поглощения света пигментами фитопланктона; ПИ – пигментный индекс.

На станции, расположенной в Сухарной балке (см. рис. 1, станция 3) величина  $C_a$  также как и на второй станции, была подвержена частым колебаниям в течение года. После пика в марте ( $4,6 \text{ мгм}^{-3}$ ) наблюдалось снижение величин  $C_a$  до  $3,2 \text{ мгм}^{-3}$  в апреле, затем концентрация хлорофилла несколько возросла и в течение лета оставалась практически неизменной ( $4,7 \pm 0,3 \text{ мгм}^{-3}$ ). Осенью на-

блюдался рост  $C_a$  с максимумом в октябре ( $10,8 \text{ мгм}^{-3}$ ) и дальнейшее снижение к ноябрю ( $3,1 \text{ мгм}^{-3}$ ), за которым следовало увеличение  $C_a$  до января ( $5,7 \text{ мгм}^{-3}$ ). Среднегодовая величина концентрации хлорофилла «а»  $\overline{C_a}$  составила  $4,7 \pm 2,2 \text{ мгм}^{-3}$ .

Для оценки относительного содержания вспомогательных пигментов в фитопланктоне использовали пигментный индекс. Графики его изменения на всех трех станциях в период наблюдений показаны на рис. 3.

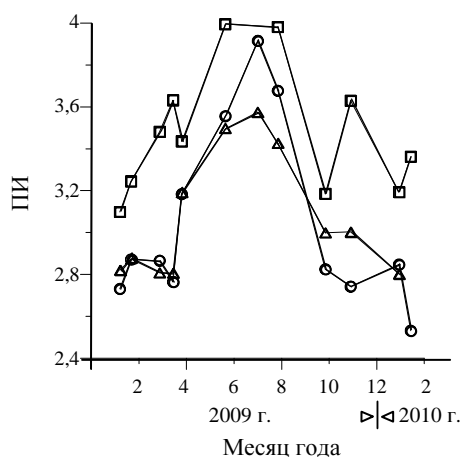


Рис. 3. Изменение пигментного индекса с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. на трех станциях в прибрежных водах Черного моря в районе г. Севастополя (обозначения – см. рис. 2).

Нетрудно видеть, что на всех станциях наблюдался одинаковый ход кривой изменения пигментного индекса в течение года. Минимальные значения ПИ отмечались в зимнее время, а максимальные – в летнее. Данные, полученные на фоновой станции (станция № 1) отличались от данных, полученных в бухте большими величинами ПИ в течение всего года.

На первой станции минимальные величины ПИ наблюдались в феврале, причем, как в 2009 г. (ПИ = 3,1), так и в 2010 г. (ПИ = 3,2), а максимальные величины ПИ были отмечены в период с июня по август 2009 г. (~ 4,0). Среднегодовая величина ПИ составила  $3,5 \pm 0,3$ .

На второй станции величины ПИ изменялись от 2,5 в феврале до 3,9 в июле, в среднем составляя  $3,1 \pm 0,5$ .

На третьей станции минимальные величины ПИ наблюдались в феврале, причем, в 2009 и 2010 гг. они были равны и составили 2,8, а максимальные величины (3,6) – в конце июля. Среднегодовая величина ПИ составила  $3,1 \pm 0,3$ .

2. Поглощение света пигментами фитопланктона. Полученные на всех станциях спектры поглощения света пигментами фитопланктона показаны на рис. 4. На спектрах можно выделить два основных пика: в синей (440 нм) и красной (678 нм) областях спектра. Пик на длине волны  $\lambda = 678 \text{ нм}$  соответствует поглощению света хлорофиллом «а» и продуктами его распада. В синей части спектра свет поглощается не только хлорофиллом «а», но и вспомогательными пигментами [7]. В течение года наблюдалось изменение величин коэффициентов и формы спектров.

На расстоянии двух миль от берега (станция № 1) величины коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона на длине волны 440 нм ( $a_{ph}(440)$ ) изменялись от 0,020 до 0,090  $\text{м}^{-1}$ , а величины коэффициентов – на длине волны 678 нм ( $a_{ph}(678)$ ) – от 0,0065 до 0,038  $\text{м}^{-1}$ .

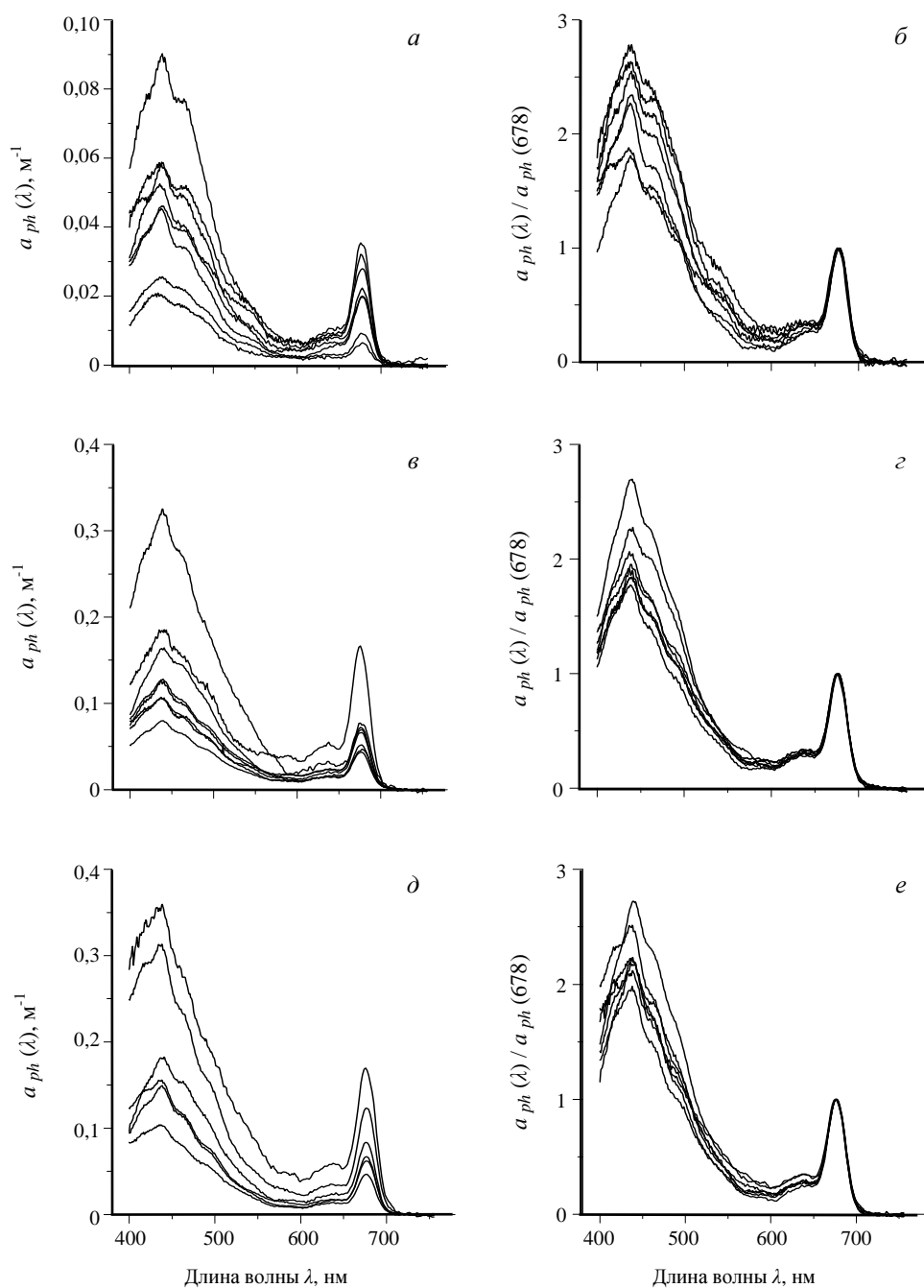


Рис. 4. Спектральное распределение коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона –  $a_{ph}(\lambda)$  (а, в, д) и коэффициентов, нормированных на величину коэффициента на длине волны 678 нм –  $a_{ph}(\lambda)/a_{ph}(678)$  (б, з, е) в течение года на трех станциях в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя в 2009 – 2010 гг.: а, б – станция 1; в, з – станция 2; д, е – станция 3 (расположение станций – см. рис. 1).

На второй и третьей станциях величины  $a_{ph}(440)$  изменялись от 0,080 до 0,33 м<sup>-1</sup> и от 0,10 до 0,36 м<sup>-1</sup>, соответственно, а величины  $a_{ph}(678)$  на этих станциях изменялись от 0,043 до 0,17 м<sup>-1</sup> и от 0,047 до 0,17 м<sup>-1</sup>, соответственно.

Форма спектра может быть оценена по отношению коэффициентов поглощения [света фитопланктоном на длинах волн, соответствующих двум основным максимумам спектра – в синей](#) (длины волн  $\lambda \sim 440$  нм) [и красной](#) (длины волн  $\lambda \sim 678$  нм) [областях  \$R\$](#) . Как показывают результаты наблюдений, представленные на рис. 5, это отношение на всех станциях изменялось в течение года почти в 2 раза.

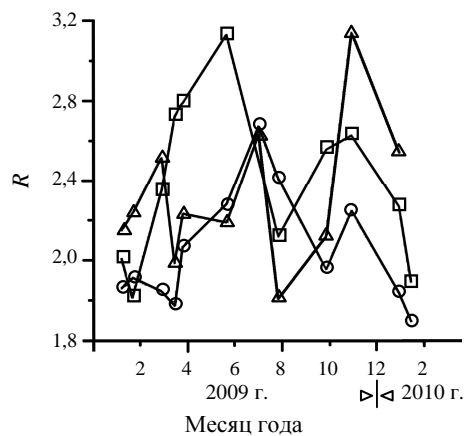


Рис. 5. [Изменение](#) отношения [коэффициентов](#) поглощения света пигментами фитопланктона [на длинах волн, соответствующим максимумам в синей \(440 нм\) и красной \(678 нм\) областях спектра,  \$R\$](#)  с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. на трех станциях, расположенных в прибрежных водах Черного моря в районе г. Севастополя. Обозначения – см. рис. 2.

В двухмильной зоне величина  $R$  варьировала от 1,8 в феврале до 3,1 в июне и составляла в среднем  $2,4 \pm 0,4$ . Вблизи равелина минимальные значения  $R$  наблюдались в феврале (1,7) а максимальные – в конце июля (2,7). Средняя величина  $R$  в этом районе составила  $2,1 \pm 0,3$ . В районе Сухарной балки низкие величины  $R$  были отмечены не только в феврале (2,2), но и в конце августа (1,8), а максимальные – в конце июля (2,6) и в конце ноября (3,1). Средняя величина  $R$  в этом районе составила  $2,3 \pm 0,4$ . Следует отметить, что среднее значение и внутригодовая вариабельность этого параметра ( $\sim$  в 2 раза) были практически одинаковые во всех районах исследований.

Рис. 6 демонстрирует временную динамику величин удельных (нормированных на концентрацию хлорофилла «а») коэффициентов поглощения света фитопланктоном [на длинах волн 440 нм](#) ( $a_{ph}^*(440)$ ) и [678 нм](#) ( $a_{ph}^*(678)$ ) в течение года. Видна ее однотипность для всех станций. Минимальные значения  $a_{ph}^*(440)$  и  $a_{ph}^*(678)$  были отмечены в холодный зимне-весенний период: 0,024 – 0,034 и 0,013 – 0,017 м<sup>2</sup> мгХл<sup>-1</sup> соответственно. В дальнейшем величины этих параметров возрастали, образуя летний максимум (0,058 – 0,074 и 0,022 – 0,028 м<sup>2</sup> мгХл<sup>-1</sup>, соответственно). В среднем за год величины  $a_{ph}^*(440)$  и  $a_{ph}^*(678)$  составили соответственно:

- на станции № 1  $0,047 \pm 0,011$  и  $0,020 \pm 0,002$  м<sup>2</sup> мгХл<sup>-1</sup>;
- на станции № 2  $0,037 \pm 0,016$  и  $0,017 \pm 0,005$  м<sup>2</sup> мгХл<sup>-1</sup>;
- на станции № 3  $0,040 \pm 0,010$  и  $0,017 \pm 0,003$  м<sup>2</sup> мгХл<sup>-1</sup>.

**Обсуждение.** На всех трех станциях прослеживался одинаковый характер сезонной динамики концентрации хлорофилла «а» с ярко выраженным максимумом в осенний период (октябрь) и минимумом в летний (июнь – август) – см. рис. 2.

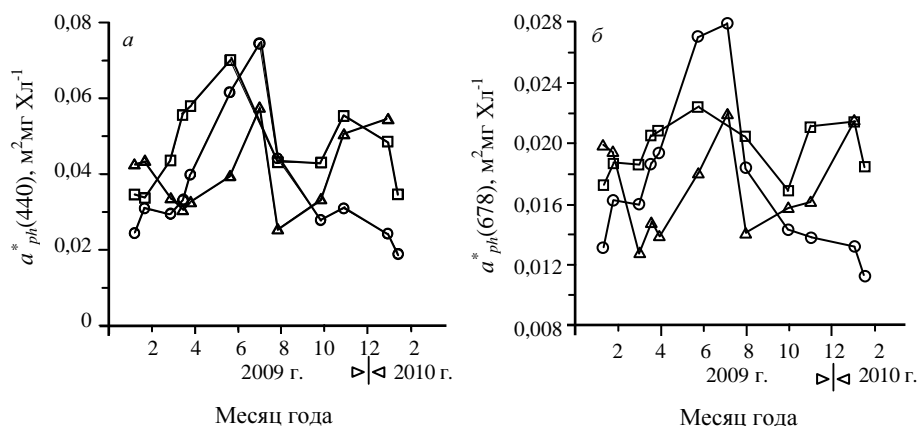


Рис. 6. [Изменение](#) удельных коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона [на длинах волн, соответствующим максимумам в синей –  \$a\_{ph}^\*\(440\)\$  \(а\) и красной –  \$a\_{ph}^\*\(678\)\$  \(б\) областях спектра](#), с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. Положение станций – см. рис. 1. Обозначения – см. рис. 2.

Однако следует отметить, что содержание хлорофилла «а» на фоновой станции отличалось от величин в бухте практически на порядок, что, по-видимому, связано с разной степенью обеспеченности фитопланктона биогенными элементами. В бухту биогенные вещества поступают со сточными водами и с водами реки Черная [8]. На станции 3, в отличие от двух других станций, наблюдалось заметное увеличение концентрации хлорофилла в июне месяце. Резкие скачки концентрации хлорофилла в бухте, вероятно, вызваны ветровой деятельностью, которая сопровождается горизонтальной адвекцией вод и приводит к распространению более бедных морских вод в бухту и наоборот, богатых биогенными веществами – из бухты [8].

Сравнение результатов настоящих исследований с данными 2000 – 2001 гг. [9] показало сопоставимость диапазона варибельности величин концентрации хлорофилла «а» и отмеченного характера внутригодовой изменчивости. Концентрация хлорофилла «а» в открытой части моря в 2000 – 2001 гг. напротив бухты Омега изменялась в пределах от  $0,2 \text{ мгм}^{-3}$  (в августе) до  $\sim 2,5 \text{ мгм}^{-3}$  (в марте) [9], что близко к отмеченной варибельности на фоновой станции в 2009 – 2010 гг. В Севастопольской бухте у мола (вблизи радиобиологического корпуса Института биологии Южных морей НАН Украины) содержание хлорофилла «а» в 2000 – 2011 гг. было в пределах от  $\sim 1 \text{ мгм}^{-3}$  (в августе) до  $14,2 \text{ мгм}^{-3}$  (в ноябре) [9], что сравнимо с нашими результатами, полученными в районе равелина.



Сезонный ход кривой изменения пигментного индекса одинаков на всех станциях (см. рис. 3) с ярко выраженным максимумом в летний период. Относительное содержание вспомогательных пигментов, которые поглощают кванты света для их передачи молекулам хлорофилла на фотосинтез (антенные пигменты) [10], зависит от световых условий и адаптации фитопланктона [11]. В течение года величина солнечной радиации, падающей на поверхность моря, изменялась от 9 – 17 зимой до 45 – 56 Е м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup> летом (см. сайт <http://blackseacolor.com>). В условиях высокой солнечной инсоляции, свойственной для летнего периода, когда поток световой энергии превышает способность хлоропластов использовать ее в фотохимических реакциях, в клетках увеличивается доля фотопротекторных пигментов [11]. Эти пигменты трансформируют поглощенную энергию в тепло или флуоресцируют с целью защиты клеток от избыточной радиации [10]. В холодное время года при низких интенсивностях света относительное содержание антенных пигментов в клетках микроводорослей уменьшается [11]. По-видимому, отмеченная сезонная динамика пигментного индекса отражает изменение пигментного состава фитопланктона, что связано с адаптацией сообщества к световым условиям.

Следует отметить, что для фитопланктона на фоновой станции характерны большие величины ПИ, чем в бухте в течение всего года. Это, вероятно, связано с разной прозрачностью вод – графики сезонного хода прозрачности воды, ее температуры и концентрации хлорофилла «а» в период с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. на трех станциях, расположенных в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя (расположение станций – см. рис. 1) приведены на рис. 7. Световые условия в слое существования фитопланктона зависят не только от падающей на поверхность радиации, которая одинакова, как для бухты, так и для открытой части моря, но от глубины перемешиваемого слоя и прозрачности вод [11]. Прозрачность находится в обратной зависимости от концентрации хлорофилла «а» – с увеличением концентрации хлорофилла «а», прозрачность уменьшается, и наоборот (см. рис. 7), что, вероятно, привело к уменьшению доли вспомогательных пигментов в фитопланктоне в верхнем перемешанном слое бухты, в сравнении с фоновой станцией.

Увеличение относительного содержания вспомогательных пигментов в клетках микроводорослей сопровождается повышением удельных коэффициентов поглощения света в синей области спектра. Помимо вклада вспомогательных пигментов в общее поглощение света, на величину  $a_{ph}^*(440)$  оказывает влияние «эффект упаковки» пигментов в клетках, который зависит от внутриклеточного содержания пигментов, формы и размеров клеток фитопланктона [13, 14]. Исследования годовой изменчивости соотношения между органическим углеродом и хлорофиллом «а» (С/Хл) клеток фитопланктона в 2000 – 2001 гг. в районе Севастопольской бухты показали почти десятикратную вариабельность этой величины от 13 – 20 зимой до 150 – 180 летом [9]. В период наших исследований можно ожидать аналогичный характер сезонного изменения соотношения С/Хл в ответ на смену условий в среде, в частности – солнечной радиации. По-видимому, отмеченное повышение удельных коэффициентов поглощения света в летний период обусловлено изменениями состава и

концентрации пигментов в клетках фитопланктона в результате адаптации сообщества к условиям среды, в частности высокой солнечной инсоляции. Снижение удельных коэффициентов поглощения света фитопланктоном в августе, отмеченное на фоне еще летних низких концентраций хлорофилла «а» и высокого относительного содержания вспомогательных пигментов в клетках могло быть вызвано резкой сменой мелких доминирующих видов более крупными, что отмечалось ранее другими исследователями [15].

В максимуме, расположенном в длинноволновой части спектра (длины волн ~ 678 нм), где поглощение света обусловлено только хлорофиллом «а» и продуктом его распада – феофитином, удельное поглощение зависит только от «эффекта упаковки» пигментов внутри клетки. «Эффект упаковки» проявляется в более значительном снижении удельных коэффициентов в синей области спектра, чем в красной, что приводит к уменьшению величины  $R$ .

Каждой таксономической группе фитопланктона соответствует определенный набор пигментов, а также пигменты, присущие лишь данной таксономической группе – пигменты-маркеры [7]. На спектрах поглощения света пигментами фитопланктона (см. рис. 4) наблюдается «плечо» в диапазоне 420 – 500 нм, соответствующее поглощению вспомогательными пигментами, которые входят в состав пигментного комплекса диатомовых и динофлагеллят. Полосы поглощения пигментов-маркеров диатомовых и динофлагеллят находятся в одно волновом диапазоне, поэтому трудно судить о доминировании того или иного вида. У диатомовых пигмент-маркер – фукоксантин (446 – 468 нм в 100% ацетоне), а у динофлагеллят – перидинин (458 – 474 нм в 100% ацетоне) [7].

#### **Выводы.**

1. Сезонная динамика концентрации основного фотосинтетического пигмента – хлорофилла «а» – на фоновой станции была сопоставима с изменением концентрации хлорофилла «а» в глубоководной части Черного моря: с максимумом в зимне-осенний период года и минимум в летний.

2. Превышение концентрации хлорофилла «а» в бухте над концентрацией в открытой части моря у берегов Севастополя практически на порядок, что вероятно связано с разным содержанием биогенных веществ.

3. За последнее десятилетие концентрация хлорофилла «а» в прибрежных водах Севастополя практически не изменилась.

4. Сравнение сезонной динамики пигментного индекса с динамикой удельного поглощения света в синем максимуме спектра показали, что основным абиотическим фактором, влияющим на удельное поглощение света фитопланктоном в прибрежных водах Севастополя, являются световые условия, в которых существовала природная популяция фитопланктона.

*Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам отдела Планктона Института биологии южных морей Д.А. Алтухову, В.В. Губанову, В.С. Муханову, С.А. Хворову за помощь при отборе проб в Севастопольской бухте и за любезно предоставленные данные по температуре и глубине видимости диска Секки.*

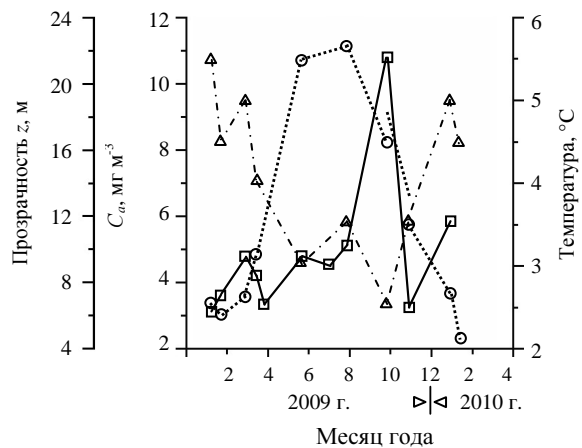
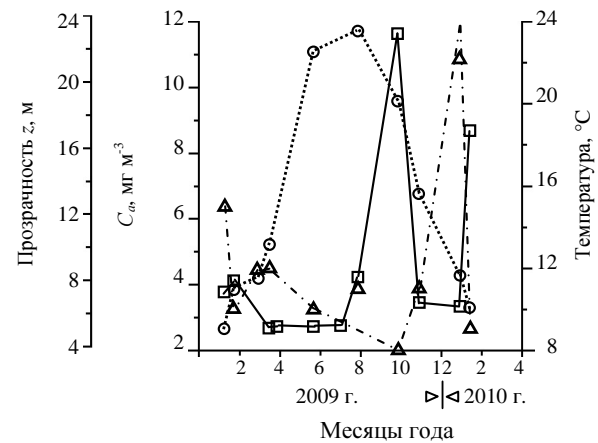
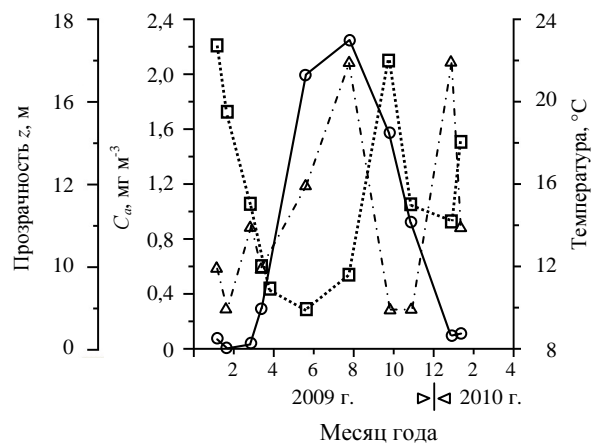


Рис. 7. Изменение концентрации хлорофилла «а» (квадраты), температуры (круги) и прозрачности (треугольники) с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. на трех станциях в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя: *а* – станция № 1; *б* – станция № 2; *в* – станция № 3 (схема расположения станций показана на рис. 1)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Churilova T., Suslin V., Sosik H.* Bio-optical spectral modelling of underwater irradiance and primary production in the Black Sea // Ocean Optics conference proceedings., Ocean Optics XIX, II Ciocco-Barga (Italy, 6-10 October 2008). – 6 p. (CD-ROM).
2. *Jeffrey S.W. and Humphrey G.F.* New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanzen. – 1975. – vol. 167. – P. 191-194.
3. *Yentsch C. S.* Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean // Limnol. Oceanogr. – 1962. – vol. 7. – P. 207-217.
4. *Mitchell B.G., Kiefer D.A.* Chlorophylla specific absorption and fluorescence excitation spectra for light limited phytoplankton // Deep-Sea Res. – 1988. – vol. 35, № 5. – P. 639 – 663.
5. *Kishino M., Takahashi N., Okami N., Ichimura S.* Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea // Bulletin of Marine Science. – 1985. – vol. 37. – P. 634-642.
6. *Mitchell B.G.* Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT) / Ocean Optics X (Ed. R. Spinrad). – SPIE Bellingham, Washington. – 1990. – P. 137-148.
7. *Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W.* Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. – UNESCO publishing, 1997. – 661 p.
8. *Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатъева О.Г.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. – 90 с.
9. *Стельмах Л.В., Бабич И.И., Ляшенко С.В.* Сезонные изменения концентрации хлорофилла «а» и отношения органический углерод/хлорофилл «а» в фитопланктоне прибрежных вод Севастополя (Черное море) в 2000 – 2001 гг. // Экология моря. – 2002. – вып. 61. – С. 64-68.
10. *Kirk J.T.O.* Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. – Cambridge University Press, 1994. – 517 p.
11. *Чурилова Т.Я., Финенко З.З., Акимов А.И.* Пигменты микроводорослей / Токарев Ю.Н., Финенко З.З., Шадрин Н.В. Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – С. 301-319.
12. *Чурилова Т.Я.* Сезонная и межгодовая вариабельность глубины зоны фотосинтеза в Черном море по модельным расчетам // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа / Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2009. – вып. 19. – С. 265-278.
13. *Morel A., Bricaud A.* Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium and application to specific absorption of phytoplankton // Deep-Sea Res., P.I. A. Oceanogr. Res. Papers. – 1981. – vol. 28, № 11. – P. 1375-1393.
14. *Bricaud A., Babin M., Morel A. and Claustre H.* Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameteriza-

tion // Journ. of Geoph. Res. – 1995. – vol. 100, № C7. – P. 13321-13332, doi: 10.1029/95JC00463.

15. *Стельмах Л.В., Куфтаркова Е.А., Бабич И.И.* Сезонная изменчивость скорости роста фитопланктона в прибрежных водах Черного моря (район Севастополя) // Морской экологический журнал. – 2009. – том VIII, № 1. – С. 67-80.

Материал поступил в редакцию 09.12.2011 г.

*АНОТАЦІЯ* Характер зміни концентрації хлорофілу «а» в поверхневих водах двохмильної зони в районі Севастополя мав U-образну форму з максимумом в осінньо-зимовий період року і мінімум в літній і був зіставний зі зміною складу пігментів в глибоководній частині Чорного моря. Вміст хлорофілу «а» в Севастопольській бухті перевищував вміст хлорофілу у відкритій частині моря біля берегів Севастополя практично на порядок. За останнє десятиліття концентрація хлорофілу «а» в прибережних водах Севастополя практично не змінилася. Дослідження показали, що основним абіотичним фактором, що впливає на питоме поглинання світла фітопланктоном в прибережних водах Севастополя, були світлові умови, в яких існувала популяція фітопланктону.

*ABSTRACT* Variation character of a surface chlorophyll «a» concentration in coastal waters (2 miles zone) near the Sevastopol was U-shaped with maximum in winter-autumn period of a year and minimum in summer and were comparable with variation pigment content at the surface in deep-waters region of the Black Sea. The chlorophyll «a» concentration in Sevastopol bay exceeded the chlorophyll «a» concentration in offshore waters near Sevastopol by an order of magnitude practically. The chlorophyll «a» concentration in coastal waters near the Sevastopol had not been changed for the last decade. It has been shown that the main abiotic factor forcing the specific light absorption coefficient of phytoplankton in the coastal waters near Sevastopol, were the light conditions in which a phytoplankton population existed.