

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА "А" И ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ю.В. Артамонов,  
Е.А. Скрипалева, А.В. Шугаев

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: ocean@mhi2.sebastopol.ua

*На основе расчетов среднемесячных климатических значений концентрации хлорофилла "а", показателей поглощения и рассеяния света за период с 1998 по 2004 гг. исследованы региональные особенности сезонной изменчивости этих характеристик на поверхности Черного моря. Результаты анализируются в связи с сезонной изменчивостью структуры вод.*

**Введение.** В работе [1] на основе карт Атласа [2], построенных по данным спутниковых измерений, исследуется структура полей концентрации хлорофилла "а", показателей рассеяния и поглощения света. Концентрация хлорофилла "а" (*Chla*) является косвенной характеристикой количества биомассы фитопланктона. Показатель обратного рассеяния света взвешенным веществом (*Bbp*) характеризует содержание взвешенного вещества в воде. Показатель поглощения света желтым веществом характеризует содержание растворенного органического вещества (*Ag*), которое в основном поступает в море с речным стоком. Изучение пространственно-временной изменчивости этих показателей важно для выявления климатических тенденций в изменении продуктивности вод Черного моря. Такие исследования являются составной частью большинства экологических программ.

Карты в Атласе [2] представляют собой поля квадратов, расположенных в регулярной сетке и имеющих разные цвета. Поскольку цифровые значения параметров в виде файлов данных в Атласе не приводятся, А.В. Шугаевым была разработана специальная программа, преобразующая палитру цветов в численные значения параметров. После оцифровки карт были рассчитаны среднегодовые и среднемесячные нормы параметров за период с 1998 по 2004 гг., затем

была проанализирована среднегодовая структура полей концентрации хлорофилла "а", показателей рассеяния и поглощения света и их сезонная изменчивость в западной части Черного моря (вдоль 31° в.д.) [1]. Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в [1]. На основе разработанной методики проводится детальный анализ сезонной изменчивости указанных параметров на всей акватории Черного моря.

**Материалы и методика.** Методика преобразования палитры цветов в численные значения параметров подробно изложена в [1]. В данной работе для исследования их сезонной изменчивости в каждом узле регулярной сетки вычислялись амплитудно-фазовые характеристики. Для оценки значимости годовой ( $A_{\text{год}}$ ) и полугодовой ( $A_{\text{полугод}}$ ) гармоник поля соответствующих амплитуд были нормированы на стандартное отклонение остаточного ряда (ряд среднемесячных значений параметра за вычетом обих периодических составляющих). Районы, где уровень полезного сигнала не превышает в два раза уровень шума, на картах заштрихованы и исключены из интерпретации. Сезонная изменчивость параметров анализировалась также на широтно-временных развертках, построенных для меридианов 30°, 32°, 34°, 36°, 38° и 40° в.д.

**Анализ результатов.** *Сезонный цикл концентрации хлорофилла "а".* Амплитуда годовой гармоник *Chla* значима на всей акватории Черного моря, кроме районов, прилегающих к берегам Болгарии и Румынии. Максимальные значения  $A_{\text{год}}$  ( $> 0.12 \text{ мг/м}^3$ ) наблюдаются в Каркинитском заливе, несколько восточнее Одессы, южнее о. Змеиный, в Прибосфорском районе и у Анатолийского побережья (рисунок 1 а). На большей части акватории Черного моря максимальные концентрации *Chla* наблюдаются в ноябре-декабре (рисунок 1 б, г-и). На северо-западном шельфе максимум сдвигается на август-октябрь, в районе о. Змеиный – на май-июль.

Области высоких значений  $A_{\text{год}}$  *Chla* на северо-западном шельфе в целом наблюдаются в районах повышенной сезонной изменчивости термохалинных характеристик (рисунок 2 а, б). При этом максимумы  $A_{\text{год}}$  *Chla* восточнее Одессы и южнее о. Змеиный четко совпадают с максимумами  $A_{\text{год}}$  солености на поверхности моря (СПМ), что указывает на связь концентрации хлорофилла

“а” с сезонной изменчивостью речных стоков Днепра, Буга и Дуная.

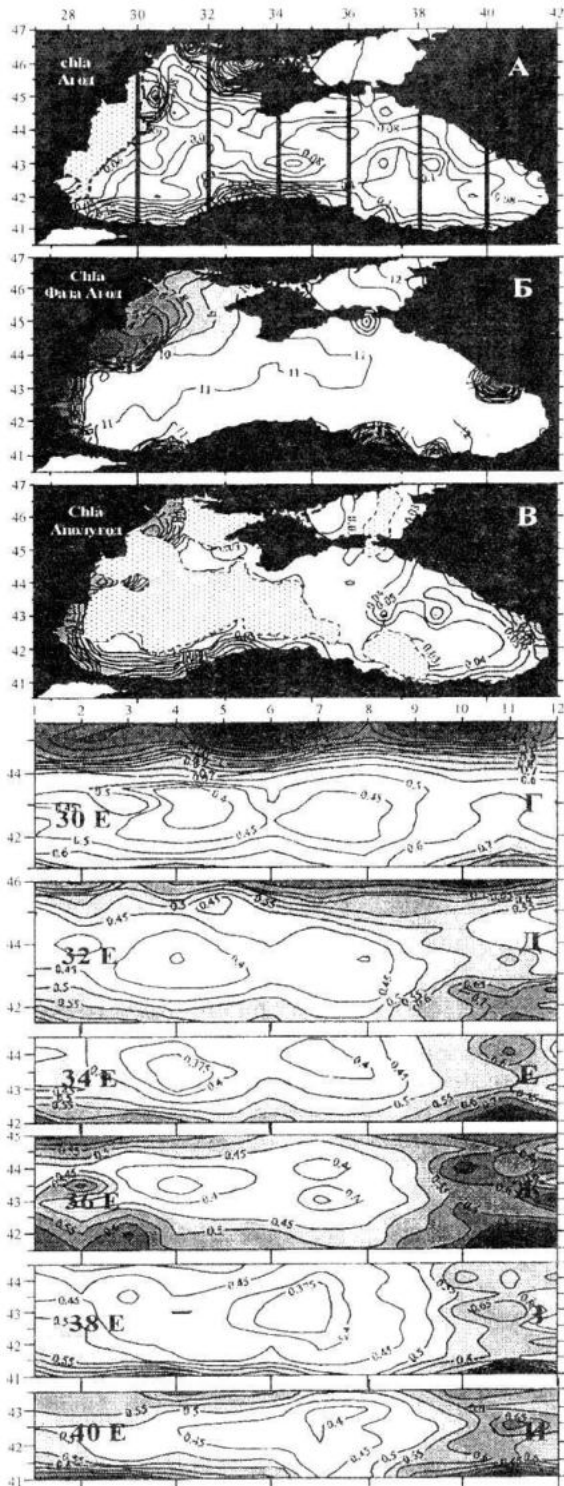


Рисунок 1 – Распределения амплитуды (а), фазы годовой (б) и амплитуды полугодовой (в) гармоник и широтно-временные распределения вдоль 30° (г), 32° (д), 34° (е), 36° (ж), 38° (з) и 40° в.д. (и) концентрации хлорофилла “а” ( $\text{мг}/\text{м}^3$ )

В Каркинитском заливе, где также выявлены высокие значения  $A_{\text{год}} Chla$ , влияние речного стока слабее, но отмечается интен-

сивная сезонная изменчивость поля температуры на поверхности моря (ТПМ).

Повышенные значения  $A_{\text{год}} Chla$  у Анатолийского берега отмечаются в области минимальной сезонной изменчивости ТПМ и СПМ. В то же время здесь наблюдается максимум  $A_{\text{год}}$  зональной составляющей скорости Основного Черноморского течения (ОЧТ) (рисунок 2 в). В этом районе сезонные колебания температуры сглаживаются за счет ее осенне-зимнего повышения при ослаблении ОЧТ, и летнего понижения при усилении Анатолийского апвеллинга [3]. Внутригодовые колебания солёности здесь невелики за счет отсутствия интенсивного речного стока. По-видимому, повышение  $A_{\text{год}} Chla$  в этом районе связано с динамикой вод.

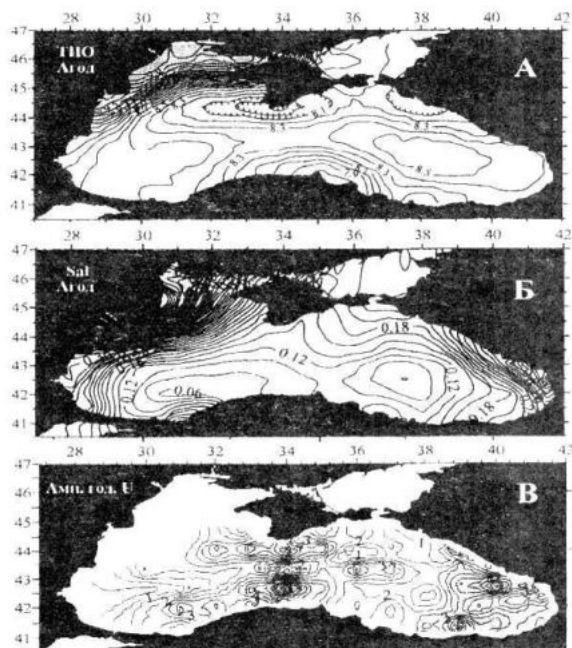


Рисунок 2 – Распределения амплитуд годовых гармоник полей ТПМ ( $^{\circ}\text{C}$ ) (а), СПМ ( $\text{‰}$ ) (б) и зональной составляющей геострофической скорости  $U$  ( $\text{см}/\text{с}$ ) (в)

Значимый вклад полугодовой гармоники  $Chla$  ( $> 0.1 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) отмечается между устьем р. Дунай и о. Змеиный, а также у берегов Болгарии, Турции и Грузии (рисунок 1 в, г). На западе и в центре Черного моря  $A_{\text{полугод}} Chla$  в основном не значима.

Внутригодовое распределение концентрации  $Chla$  по фактическим данным показывает, что на западе и в центре моря (30–36° в.д.) прослеживаются два минимума  $Chla$  в апреле-мае и в июле-августе. Слабый максимум  $Chla$  наблюдается в июне и более

интенсивный – в октябре-декабре (рисунок 1 г–ж). Гармонический анализ сглаживает первый слабый максимум, делая его статистически незначимым. Вместе с тем, наличие двух-трех максимумов в сезонном цикле биологических характеристик [4–6] дает основания считать, что они могут проявляться и в изменчивости концентрации *Chla*.

Сезонный цикл показателя обратного рассеяния света взвешенным веществом. Годовая гармоника *Bbp* значима на большей части акватории Черного моря. Максимальные значения  $A_{год} Bbp$  наблюдаются в Одесском регионе ( $> 0.007 \text{ м}^{-1}$ ) и у берегов Грузии ( $> 0.004 \text{ м}^{-1}$ ) (рисунок 3 а). Максимум величин *Bbp* наступает преимущественно в мае-июне, в Каркинитском заливе он смещается на сентябрь-октябрь (рисунок 3 б, г–и).

Полугодовая гармоника *Bbp* значима в районе Каркинитского залива, в Прибосфорском районе, в центральной и восточной частях моря (рисунок 3 в). Максимальные значения  $A_{полугод} Bbp$  ( $> 0.0035 \text{ м}^{-1}$ ) отмечаются в западной части Каркинитского залива и у берегов Грузии. По фактическим данным в сезонном цикле *Bbp*, кроме основного, наблюдается второй слабый максимум, который на различных участках моря отмечается в ноябре-январе (рисунок 3 г–з).

Сезонный цикл показателя поглощения света желтым веществом. Амплитуда годовой гармоники *Ag* значима на всей акватории Черного моря, кроме небольшого участка у Болгарского побережья, в Каркинитском заливе и у западных берегов Крыма. Максимальные значения  $A_{год} Ag$  ( $> 0.0175 \text{ м}^{-1}$ ) наблюдаются у берегов Румынии и в восточной части моря (рисунок 4 а).

Распределение фазы  $A_{год} Ag$  носит сложный характер (рисунок 4 б, г–и). У Крымского и Анатолийского побережий максимум *Ag* наступает в октябре-ноябре. В центральной части моря и на востоке в феврале-марте, на северо-западе – в апреле-июне.

Полугодовая гармоника *Ag* не значима на большей части Черного моря. Значимые значения  $A_{полугод} Ag$  ( $> 0.008 \text{ м}^{-1}$ ) отмечаются восточнее  $38^\circ$  в.д. (рисунок 4 в).

**Выводы.** Максимальная внутригодовая изменчивость концентрации хлорофилла “а” наблюдается в Каркинитском заливе, восточнее Одессы, южнее о. Змеиный, в Прибосфорском районе и у Анатолийского побережья. Максимальные концентрации *Chla*

наблюдаются в ноябре-декабре. На северо-западном шельфе максимум сдвигается на август-октябрь, в районе о. Змеиный – на май-июль. Значимый вклад полугодовой гармоника *Chla* отмечается между устьем р. Дунай и о. Змеиный, а также у берегов Болгарии, Турции и Грузии.

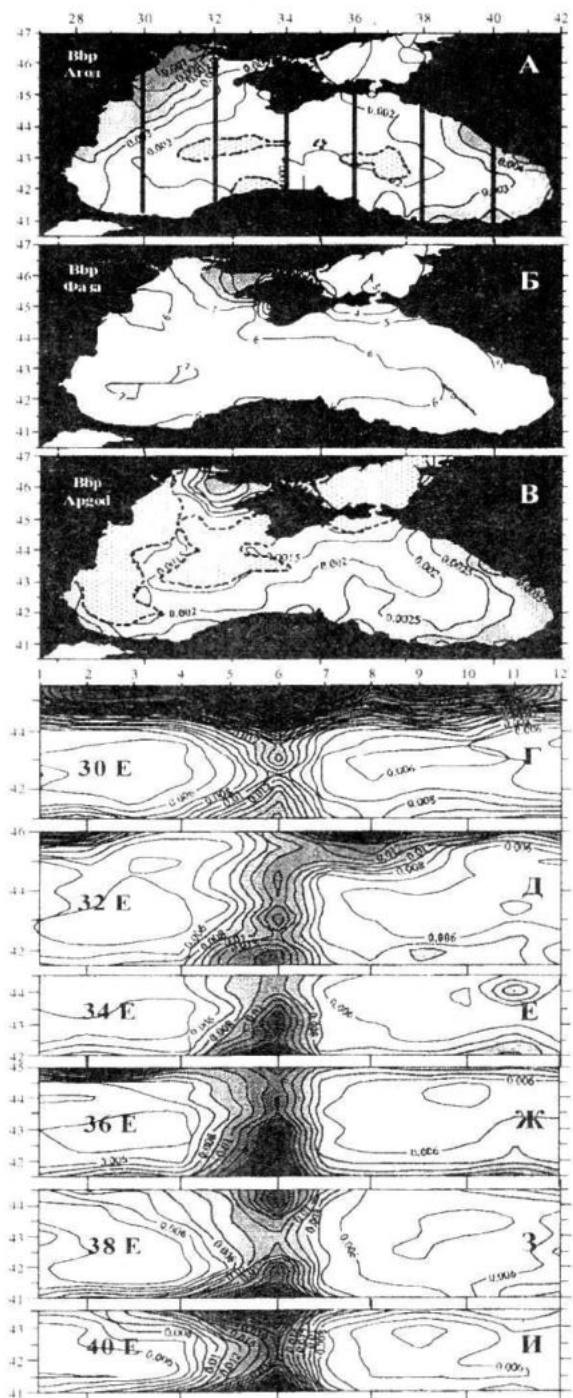


Рисунок 3 – Распределения амплитуды (а), фазы годовой (б) и амплитуды полугодовой (в) гармоник и широтно-временные распределения вдоль  $30^\circ$  (г),  $32^\circ$  (д),  $34^\circ$  (е),  $36^\circ$  (ж),  $38^\circ$  (з) и  $40^\circ$  в.д. (и) показателя обратного рассеяния света взвешенным веществом ( $\text{м}^{-1}$ )



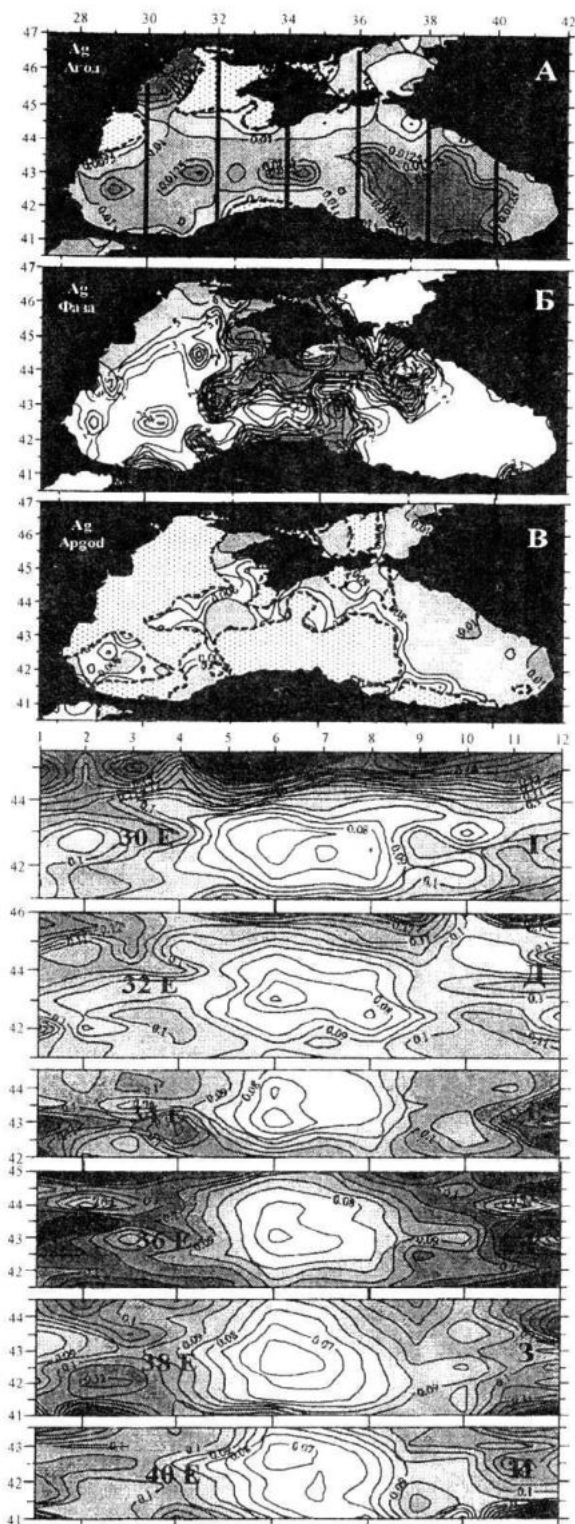


Рисунок 4 – Распределения амплитуды (а), фазы годовой (б) и амплитуды полугодовой (в) гармоник и широтно-временные распределения вдоль 30° (г), 32° (д), 34° (е), 36° (ж), 38° (з) и 40° в.д. (и) показателя поглощения света желтым веществом ( $m^{-1}$ )

Наибольшие внутригодовые вариации показателя обратного рассеяния света отмечаются в Одесском регионе и у берегов Грузии. Максимум значений  $B_{bp}$  наступает пре-

имущественно в мае-июне, в Каркинитском заливе – в сентябре-октябре. Максимальные значения полугодовой гармоника  $B_{pr}$  выявлены в западной части Каркинитского залива и у берегов Грузии.

Максимальные значения амплитуды годовой гармоника показателя поглощения света желтым веществом наблюдаются у берегов Румынии и в восточной части моря. Максимум  $Ag$  у Крымского и Анатолийского побережий наступает в октябре-ноябре, в центральной части моря и на востоке – в феврале-марте, на северо-западе – в апреле-июне. Полугодовая гармоника  $Ag$  не значима на большей части Черного моря.

### Литература

1. Ю.В. Артамонов, А.С. Кукушкин, Е.А. Скрипалева, А.В. Шугаев. Сезонные особенности распределения хлорофилла "а", показателей поглощения и рассеяния света на поверхности Черного моря. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2007. – С. 173–175.
2. O.V. Kopelevich, V.I. Burenkov, S.V. Sheberstov, E.A. Lukyanova, O.V. Prokhorenko. Bio-optical characteristics of the seas of Russia from data of the seawifs satellite ocean color scanner / P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, 2005.
3. Ю.В. Артамонов, В.Н. Белокопытов, М.В. Бабий, Е.А. Скрипалева. Особенности сезонной изменчивости температуры поверхности и циркуляции вод Черного моря // Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (Юбилейный выпуск). – Керчь: ЮгНИРО, 2008. – С. 102–109.
4. Ю.И. Сорокин. Черное море. Природа, ресурсы. – М.: Наука, 1982. – 217 с.
5. В.Л. Дорофеев, Т. Огуз, Г.К. Коротаев. Моделирование биологической изменчивости Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – в. 13. – С. 237–248
6. В.И. Ведерников, А.Б. Демидов. Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // Океанология. – 1993. – 33. – № 2. – С. 229–235.