

# СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА “А”, ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

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

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

*На основе среднемесячных карт концентрации хлорофилла “а”, показателей поглощения и рассеяния света за период с 1998 по 2004 гг., которые представлены в Атласе [Korolevich et al., 2005], были рассчитаны среднемесячные климатические значения этих параметров и выявлены сезонные особенности их пространственной структуры. Результаты интерпретируются в связи с сезонной изменчивостью термохалинной структуры вод Черного моря.*

**Введение** Исследование климатических тенденций в изменении продуктивности вод является составной частью большинства экологических программ. Количество данных измерений биологических параметров пока недостаточно, чтобы достоверно описать их нормальный сезонный цикл и тем более исследовать межгодовую изменчивость. В качестве косвенных показателей распределения биологических полей широко используются гидрооптические характеристики, количество измерений которых значительно больше. В ряде работ [1 – 3] по данным конкретных съемок выполнены статистические оценки характерных значений показателя ослабления света в различных районах Черного моря. Проведено сравнение значений этого параметра в различные сезоны и годы. Вместе с тем существенная пространственно-временная неоднородность измерений пока не позволяет достаточно надежно описать сезонный цикл и межгодовую изменчивость гидрооптических полей.

В настоящее время стали доступны результаты обобщения спутниковых измерений гидрооптических характеристик на поверхности морей и океанов в электронном виде на магнитных носителях. Результаты

этих измерений, выполненных с высокой пространственной дискретностью, представлены в виде карт и графиков. Анализ этой информации позволяет существенно расширить наши представления об изменчивости оптических полей в поверхностном слое океана. В настоящей работе на основе карт Атласа [4] исследуется сезонная изменчивость полей концентрации хлорофилла “а” и показателей рассеяния и поглощения света.

При анализе используются внутрigoдoвые распределения полей температуры, солености и геострофической циркуляции на поверхности Черного моря.

**Материалы и методика.** В работе использованы значения хлорофилла “а” ( $Chl\ a$ ), показателей обратного рассеяния света частицами ( $B_{bp}$ ) и поглощения света желтым веществом ( $A_g$ ) из Атласа [4].

Концентрация хлорофилла “а” является количественным показателем биомассы фитопланктона и характеризует степень чистоты вод. Показатель обратного рассеяния света частицами характеризует содержание взвешенного вещества. Показатель поглощения света желтым веществом характеризует содержание растворенного органического вещества, которое поступает в море с речным стоком.

Карты в Атласе [4] представляют собой поля квадратов, расположенных в регулярной сетке и имеющих разные цвета. Цвет квадрата соответствует определенной величине параметра. Поскольку цифровые значения параметров в виде файлов данных в Атласе не приводятся, была разработана программа, преобразующая палитру цветов в численные значения параметров. Для этого осуществлялось сканирование карт с целью определения цвета и географических координат каждой точки в регулярной сетке с шагом в один пиксель. При совпадении координат сканированной точки с узлом заданной нами регулярной сетки (18 × 18 км) величина параметра, соответствующая данному цвету, фиксировалась в выходном файле. Преобразование проводилось с помощью приведенных в Атласе шкал соотношений цвет – значение параметра. После оцифровки карт были рассчитаны среднегодовые и среднемесячные нормы параметров за период с 1998 по 2004 гг.

**Анализ результатов.** Среднегодовые распределения параметров показывают сле-

дующие особенности (рис. 1). Максимальные значения всех трех параметров наблюдаются в северо-западной части Черного моря в районе стоков вод Дуная и Днестра. Их высокие значения отмечаются также в устье реки Риони и к югу от Керченского пролива. В целом повышенные значения концентрации  $Chl a$  и  $B_{bp}$  отмечаются практически вдоль всех берегов моря, за исключением южного побережья Крыма и отдельных участков у Кавказского побережья. Центральная часть моря занята водами с пониженными значениями этих параметров (рис. 1 а, б).

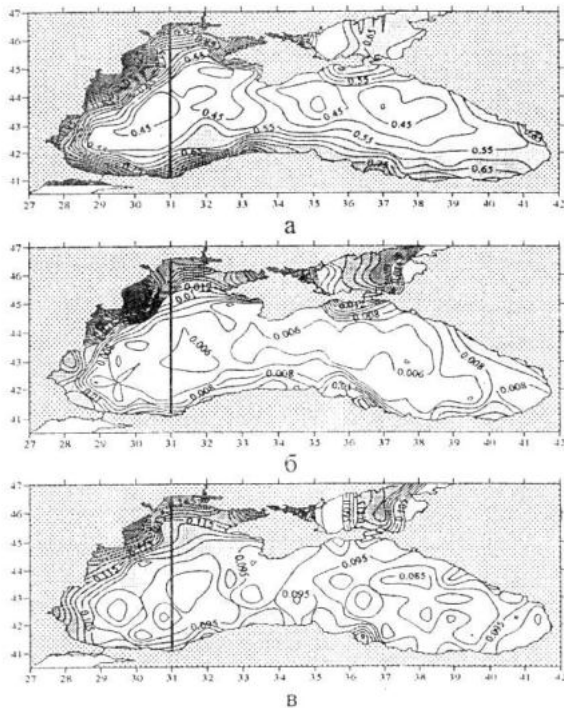


Рисунок 1 – Среднегодовое распределение концентрации хлорофилла “а” (а), показателей обратного рассеяния света частицами (б) и поглощения света желтым веществом (в). Жирная линия – положение разреза, вдоль которого анализировался сезонный ход этих параметров

Среднегодовое распределение  $A_g$  показывает качественно похожую картину. Некоторым отличием является более “пятнистое” распределение этого параметра у берегов Турции и Кавказа (рис. 1, в).

**Сезонный цикл.** На рисунке 2 в качестве примера представлен сезонный ход  $Chl a$ ,  $B_{bp}$  и  $A_g$  вдоль 31° в.д. Повышенные значения всех трех параметров прослеживаются в течение большей части года непосредственно у самых берегов, что обусловлено круглогодичным влиянием берегового стока. Распределение солености показывает,

что вдоль северного побережья располагаются наименее соленые воды (рис. 3, а). Эти воды занимают относительно узкую вдольбереговую полосу и резко трансформируются в южном направлении, что проявляется в виде высоких меридиональных градиентов солености (рис. 3, б).

Мористее, на северо-западном шельфе Черного моря, сезонный ход параметров выражен более четко. Заметное увеличение содержания  $Chl a$  происходит в мае-июле (рис. 2, а). В этот период наблюдается наибольшее распреснение шельфовых вод (рис. 3, а), которые с юга ограничены хорошо выраженным соленостным фронтом на широте 44.5° с.ш. Он наиболее обострен с мая по август (рис. 3, б). В поле температуры граница распресненных шельфовых вод практически не проявляется.

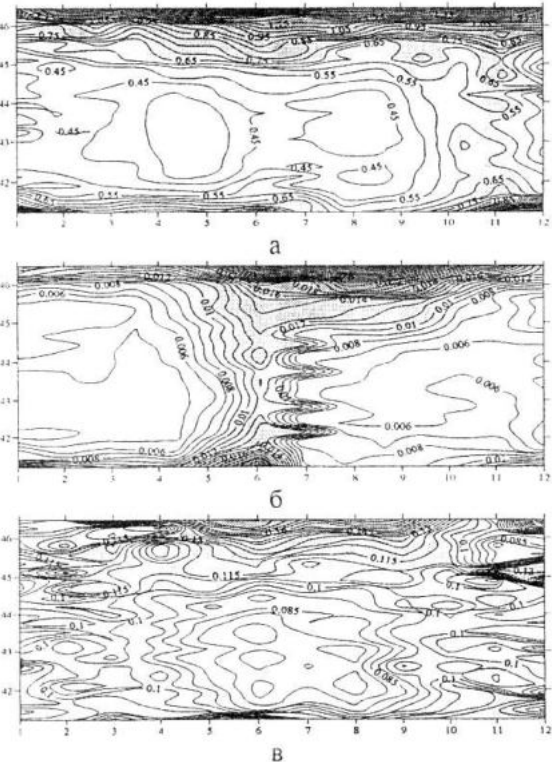


Рисунок 2 – Сезонный ход концентрации хлорофилла “а” (а), показателей обратного рассеяния света частицами (б) и поглощения света желтым веществом (в) вдоль 31° в.д.

В глубоководной части моря в сезонной изменчивости содержания  $Chl a$  прослеживаются два минимума в апреле-мае и августе, разделенные слабым максимумом. Основное увеличение концентраций  $Chl a$  наблюдается в октябре-ноябре (рис. 2, а).

Сезонный ход показателя обратного рассеяния света взвешенным веществом

имеет свои характерные особенности. На шельфе, также как и в случае распределения *Chl a*, наблюдается увеличение значений  $B_{br}$  в теплое время года. При этом высокие значения  $B_{br}$  прослеживаются более продолжительный период – с июня по октябрь. В глубоководной части моря большую часть года наблюдаются пониженные значения этого параметра и только в мае-июле происходит резкий рост его значений (рис. 2, б).

В открытой части моря в период увеличения  $B_{br}$  отмечаются пониженные величины  $A_g$  (рис. 2, в). Высокие значения  $A_g$  наблюдаются в холодное время года, когда величины  $B_{br}$  уменьшаются. Отметим, что увеличение  $B_{br}$  и уменьшение  $A_g$  происходит в период резкого уменьшения скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) (рис. 4), которое приводит к ослаблению подъема вод в центральной части моря.

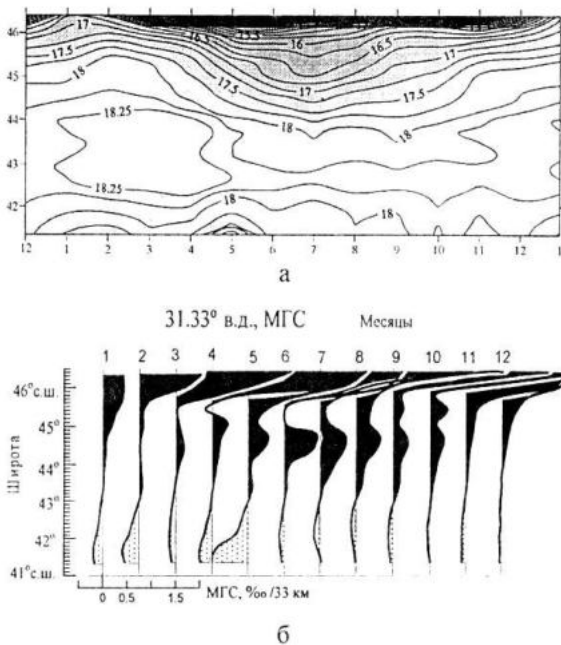


Рисунок 3 – Сезонный ход солёности (а) и ее меридиональных градиентов (б) вдоль 31° в.д.

**Выводы.** Путем сканирования среднемесячных карт распределения хлорофилла “а”,  $B_{br}$  и  $A_g$  и расчета климатических норм этих параметров установлено:

На северо-западном шельфе Черного моря увеличение содержания *Chl a* наблюдается в мае-июле. В глубоководной части моря прослеживаются два минимума его содержания – в апреле-мае и августе. Основной максимум концентраций *Chl a* отмечается в октябре-ноябре.

На шельфе увеличение значений  $B_{br}$  наблюдается с июня по октябрь. В глубоководной части моря большую часть года его значения понижены, а резкий рост происходит в мае-июле.

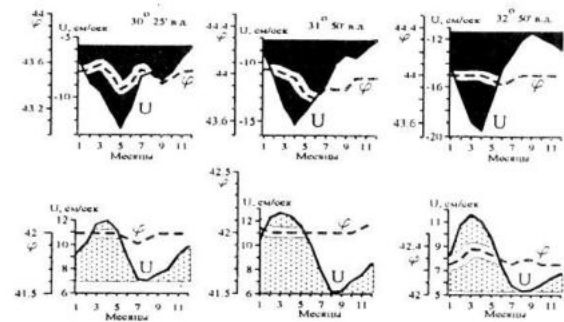


Рисунок 4 – Сезонный ход зональной геострофической скорости  $U$  в стрессе Основного Черноморского течения и его широтного положения  $\varphi$  в северо-западной части Черного моря (вверху) и у берегов Турции (внизу)

Высокие значения  $A_g$  наблюдаются в холодное время года. Понижение  $A_g$  происходит в период увеличения  $B_{br}$  и ослабления скорости ОЧТ и подъема вод в центральной части моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Агафонов, А.С. Кукушкин, Ю.А. Прохоренко. Исследование распространения речных вод в северо-западной части Черного моря в весенний гидрологический сезон // Метеорология и гидрология, 2000, № 8. – С. 93 – 101.
2. Е.А. Агафонов, А.С. Кукушкин, Ю.А. Прохоренко. Распределение и статистические оценки показателя ослабления света в поверхностном слое вод глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. – С. 440 – 446.
3. Е.А. Агафонов, А.С. Кукушкин, Ю.А. Прохоренко. Характерные значения вертикального распределения показателя ослабления света в верхнем слое глубоководной части Черного моря // Оптика атмосферы и океана, 2002. – Т. 15. – № 4. – С. 306 – 309.
4. 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.