

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Агафонов Е.А., Артамонов Ю.В.,  
Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А.,  
Чепыженко А.И., Аверкиева Г.В.

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: [Alex\\_chep@hotmail.com](mailto:Alex_chep@hotmail.com)

*На основе наблюдений, выполненных в период с 1974 по 2000 гг. в поверхностных водах Атлантического океана от 40° ю.ш. до 40° с.ш. Проводится сопоставление крупномасштабной структуры вод с распределением показателя ослабления света для различных районов и в различные гидрологические сезоны. Установлена высокая степень связи гидрооптических характеристик с элементами крупномасштабной циркуляции в Атлантическом океане.*

"Я считаю, что обобщение никогда не преждевременно, оно может быть основано на большом числе наблюдений или на малом, иметь более прочный фундамент или менее прочный фундамент, но оно всегда полезно для обзора и проверки уже сделанного и для того, чтобы правильно наметить ход дальнейших наблюдений. Откладывая обобщения, мы рискуем напрасно потерять многие годы."

"Витязь" и Тихий океан", С.О. Макаров

**Введение** Закономерности распределения показателя ослабления света (ПОС) определяется распределением взвеси в морской воде. Совершенно очевидно, что поле взвеси теснейшим образом связано с общей океанической циркуляцией и поэтому большой интерес представляет установление связи между пространственным распределением гидрооптических характеристик и гидродинамическими факторами. Взаимодействие геофизических и биологических параметров приводит в каждой конкретной области океана к образованию определенной для данного сезона структуры поля прозрачности. При сопоставлении карты относительной

прозрачности с картами планктона, взвеси, первичной продукции и схемой поверхностной циркуляции вод, было обнаружено сходство в пространственном распределении всех этих элементов. Предварительный анализ представлен в некоторых опубликованных работах, однако они относятся к отдельным ограниченным районам Атлантического океана [1,2].

В данной работе представлено первое обобщение материалов накопленных в экспедициях на различных судах за многолетний период. Делается попытка установления взаимосвязи распределения ПОС с известными в настоящее время элементами циркуляции вод деятельного слоя океана.

**Материалы.** В работе рассматриваются результаты многолетних исследований оптических свойств поверхностного слоя вод в различных районах Атлантического океана. Измерениями была охвачена большая часть акватории океана, простирающаяся между Южной и Северной Америками и Африкой от 40° ю.ш. до 35° с.ш. Работы проводились с 1974 по 2000 гг. на различных научно-исследовательских судах в различные сезоны. Сведения о проведенных рейсах приведены в хронологическом порядке в Таблице 1, где каждому галсу присвоен соответствующий номер, указано наименование судна, координаты начала и конца галсов и время их проведения. Анализ проводился по всем материалам, представленным в таблице 1. В статье рассматриваются наиболее показательные галсы. Их расположение показано на рис.1, где также нанесены основные элементы крупномасштабной циркуляции вод Атлантического океана. Измерения показателя ослабления света (ПОС) выполнялись с помощью буксируемого гидрофизического комплекса, который позволяет проводить одновременно измерения прозрачности и температуры поверхности океана (ТПО). Буксируемый измеритель прозрачности и температуры (БИТИП) был разработан и изготовлен в МГИ НАНУ [3]. В тех случаях, когда одновременно проводились измерения биологических и гидрофизических параметров, они использовались для анализа взаимосвязи с распределением ПОС. Измерения спектральной прозрачности воды в 3 рейсе НИС "Горизонт" проводились с помощью измерителя

Таблица 1 - Разрезы в Атлантическом океане ( №1-15 - Буксировки БИТИП, №16 - Измеритель ЛИПО)

Галс	Дата	Координаты		НИС	№ рейса	Протяженность, миль
1	12-16.02.1974 г	12 40 N	10 30 N	"М.Ломоносов"	28	1080
		27 04 N	19 31 W			
2	16.02-02.03.1974 г	34 20 N	12 40 N	"М.Ломоносов"	28	480
		6 25 W	27 04 W			
3	11-12.04.1974 г.	28 40 N	31 05 N	"М.Ломоносов"	28	660
		14 48 W	12 46 W			
4	09.05-31.05.1976 г	05 00 N	40 00 S	"М.Ломоносов"	30	3240
		15 00 W	44 00 W			
5	02-05.09.1977 г.	Экватор	25 26 N	"М.Ломоносов"	32	1560
			27 00 W			
6	26-29.06.1977 г.	09 00 S	03 50 S	"М.Ломоносов"	32	300
		По 25 00 W				
7	21-29.08.1977 г.	11 00 S	00	"М.Ломоносов"	32	660
		По 26 30 W				
8	10-13.09.1978 г.	35 00 N	29 00 N	"М.Ломоносов"	36	360
		08 00 W	16 00 W			
9	15-17.09.1978 г.	28 00 N	19 00 N	"М.Ломоносов"	36	420
		16 00 W	18 00 W			
10	19.09.1978 г.	12 00 N	15 00 N	"М.Ломоносов"	36	240
		19 00 W	08 30 W			
11	27.12.79 -06.01.80	12 09 N	10 21 N	"М.Ломоносов"	38	2400
		57 21 W	17 13 W			
12	19-22.01.1975 г.	28 56 S	13 05 S	"Ак.Вернадский"	10	1020
		14 11 E	09 36 E			
13	10-22.03.1986 г.	23 11 N	03 30 N	"М.Ломоносов"	46	2160
		12 00 N	45 43 W			
14	05.04-05.05.1986г.	12 00 N	20 02 N	"М.Ломоносов"	46	5070
		55 02 W	36 03 W			
15	05-08.1988 г.	06 28 N	02 00 N	"М.Ломоносов"	50	1154
		16 16 W	20 30 W			
16	20.02-16.05.2000г	27 30 N	35 00 S	"Горизонт"	3	4380
		15 00 W	54 00 W			

ЛИПО, который был разработан и изготовлен в ОГШ МГИ [4]. Анализ спектральных характеристик проводился по пробам, отбираемым на ходу судна.

**Результаты.** Анализ карт динамической топографии, гидрооптических и гидрологических данных позволяет утверждать, что динамические процессы, происходящие в районе исследований, формируются под воздействием системы крупномасштабных течений: Северное и Южное пассатные течения, Канарское течение, Межпассатное противотечение. Кроме того, на распределение ПОС влияют приливотливные явления, речной сток, осадки и рельеф дна.

На рис.2а и рис.2б приведено распределение ПОС и ТПО на участке от Гибралтарского пролива до Канарских

островов (галс 9,10), полученное в 36 р. "МЛ" (10-13.09 и 15 - 17.09. 78). На графиках показатель ослабления света обозначается индексом Е. На первом участке галса (35-29° с.ш.) отмечались незначительные изменения прозрачности ( $E = 0.08 - 0.09 \text{ м}^{-1}$ ), а температура менялась в пределах 23 - 26 °С (рис.2а). На другом участке картина резко изменялась (рис.2 б). Здесь наблюдались чередующиеся зоны, где понижению ТПО соответствовало увеличение ПОС. Судно пересекало струи холодных апвеллинговых вод, которые характеризуются повышенным содержанием биомассы. Непрерывные попутные измерения ПОС и ТПО позволили выявить эффект так называемого "пятнистого" распределения планктона и оценить пространственный масштаб струй пониженной и повышенной прозрачности и

температуры, ширина которых составляла около 20-25 миль. Между 19° и 21° с.ш. наблюдалось наиболее резкое

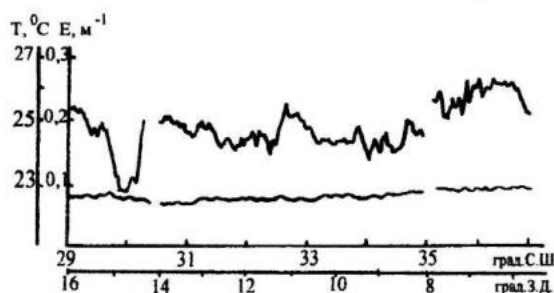


Рис. 2а - Распределение ПОС у берегов северо-западной Африки (36 рейс НИС "М.Ломоносов").

увеличение показателя ослабления (до  $E=0.5\text{ м}^{-1}$ ), что сопровождалось значительным понижением ТПО ( $22\text{ }^{\circ}\text{С}$ ), что, несомненно, связано с выносом холодных поверхностных вод прибрежного Африканского апвеллинга. Между 19° и 20° с.ш. судно находилось на минимальном удалении от берега. Здесь прибрежный апвеллинг был наиболее развит и отмечался абсолютный минимум ТПО ( $21.8\text{ }^{\circ}\text{С}$ ). Этот факт подтверждается климатическими распределениями ТПО [5]. С продвижением на север и удалением от берега отмечалось повышение ТПО, хотя влияние прибрежного апвеллинга сказывается до 26° с.ш., и только на 27° с.ш. ТПО возрастает до  $26.8\text{ }^{\circ}\text{С}$ , а ПОС

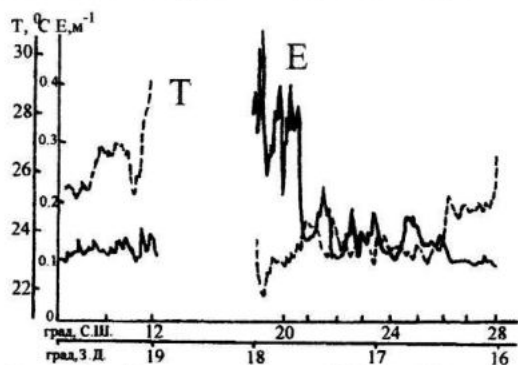


Рис. 2б - Распределение ПОС у берегов северо-западной Африки (36 рейс НИС "М.Ломоносов")

становится минимальным ( $E = 0.1\text{ м}^{-1}$ ). Гидрооптические измерения подтверждают факт, что между 19° и 25° с.ш. апвеллинг наблюдается практически круглый год [5]. Следует подчеркнуть, что повышение ПОС, связанное с понижением ТПО, вызывается струйным характером апвеллинговых вод, выносимых в открытую часть океана струями Канарского течения. Начиная с 26°

с.ш. по мере продвижения на север вплоть до 35° с.ш. ПОС оставался практически постоянным ( $E = 0.08-0.1\text{ м}^{-1}$ ). Абсолютные значения ТПО были больше  $25\text{ }^{\circ}\text{С}$ , что свидетельствовало о выходе судна из зоны апвеллинга. Наблюдавшиеся перепады ТПО в пределах  $1-2\text{ }^{\circ}\text{С}$  были связаны со струйным характером потоков, где проходил маршрут буксировки прибора. Резкое снижение ТПО в районе между 30° с.ш. характеризовало, по-видимому, отдельную струю Канарского течения. В то же время значение ПОС на этом участке оставалось практически на низком постоянном уровне ( $0.08\text{ м}^{-1}$ ), объяснялось отсутствием развития биопродукции и теригенных частиц на этом участке Канарского течения.

Для иллюстрации изменений ПОС в меридиональном направлении в Тропической и Субтропической зонах Южной Атлантики нами использованы данные измерений на разрезе №5, выполненном в 30-м рейсе НИС "Михаил Ломоносов" (9-31.05.76). Распределение ПОС построено по значениям, наблюдаемым на станциях, располагавшихся через 300 миль от 5° с.ш. до 41° ю.ш. (рис. 3). На протяжении всего разреза отмечалось соответствие в распределении крупномасштабных особенностей оптических и биологических характеристик. Снижению прозрачности всегда соответствовал их увеличение. В районе экватора четко прослеживался минимум ТПО, связанный с экваториальной дивергенцией. На фоне климатического понижения ТПО по мере продвижения к югу от  $25.5\text{ }^{\circ}\text{С}$  до  $15\text{ }^{\circ}$  в районе 10° с.ш. зарегистрированы относительно высокие значения ТПО. Они связаны с южной ветвью термического экватора. Здесь отмечается минимумы ПОС и биомассы фитопланктона (Б). Другой максимум ТПО и минимумы ПОС и Б наблюдались между 20° и 25° ю.ш., в центральной части Южного субтропического антициклонического круговорота (ЮСАК). Южнее 25° ю.ш. судно вышло из ЮСАК, что сопровождалось падением температуры и увеличением ПОС и Б. Рост РОС и Б вероятно связано с влиянием вод, выносимых Бразильским течением из прибрежных районов Южной Америки, обогащенных биогенными элементами.

Южнее 37° ю.ш. наблюдалось резкое уменьшение ТПО до 15 С° на 40° ю.ш. и увеличение ПОС и Б, что связано с пересечением Субтропического фронта и вхождением судна в субантарктическую зону [6].

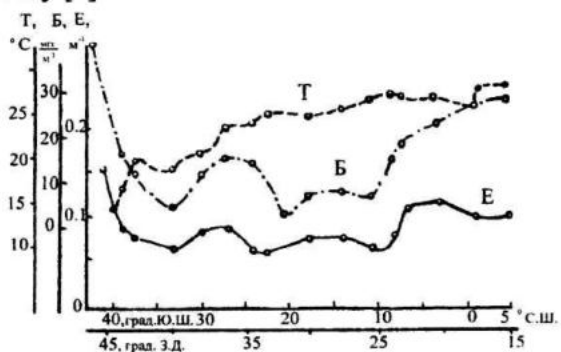


Рис.3 - Распределение ПОС, биомассы фитопланктона и температуры (30 рейс НИС "М.Ломоносов")

Измерения на галсе 8, выполнены год спустя в 32-м рейсе НИС "Михаил Ломоносов" (21 - 29. 06.77). Разрез проходил между экватором и 11° ю.ш. (рис.4). Наблюдаются несколько областей повышенных значений ПОС между 9° и 11° ю.ш. отмечаются практически постоянные значения ПОС. Наиболее заметное увеличение ПОС, которое сопровождается увеличением Б и понижением ТПО, наблюдается между экватором и 1° ю.ш. в зоне Экваториальной дивергенции. Увеличение ПОС отмечалось на 3,4°30' и 7-8° ю.ш. Явной связи с распределением Б не обнаруживается. Но отмечается некоторое понижение ТПО в местах повышенных значений ПОС. Возможно, что поле ПОС формируется под влиянием зон подъема вод в системе экваториальных противотечений южнее экватора. (Южное экваториальное противотечение и Южное экваториальное подповерхностное противотечение) [7].

Подтверждение описанных выше крупномасштабных закономерностей в меридиональном распределении ПОС, мы обнаруживаем в материалах 3-го рейса НИС "Горизонт" (галс №16). Максимальные значения ПОС отмечаются на севере разреза, в области африканского апвеллинга, на юге, в районе устья Ла-Платы, и в тропической зоне (рис.5). Уменьшение значений ПОС наблюдается там, где судно пересекало воды, типичные для центральных областей ССАК и ЮСАК и отмечалось повышение солености.

Локальный максимум ПОС в районе 22° ю.ш. фиксирует прибрежные воды, которые характеризуются также пониженной соленостью. Необходимо отметить хорошо выраженный экваториальный минимум ПОС, который совпадает с минимумом ТПО и РОВ.

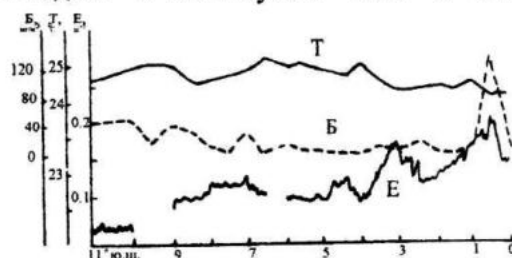


Рис.4 - Распределение ПОС, биомассы фитопланктона и температуры (32 рейс НИС "М.Ломоносов")

Детальное пространственное разрешение наблюдениями показывает, что общее повышение ПОС и РОВ в районе Экваториальной дивергенции носит более сложный характер, чем представлялось ранее. Экваториальный минимум может быть связан с тем, что максимум биомассы развивается на периферии зоны наиболее

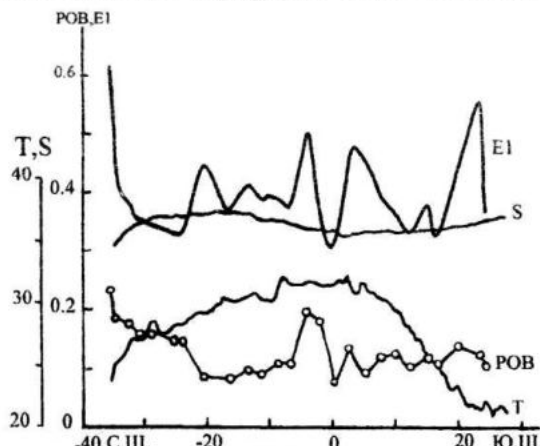


Рис.5 - Распределение ПОС, температуры, РОВ и солености (3 рейс НИС "Горизонт").

активного экваториального подъема.

Для рассмотрения структуры поля ПОС в широтном направлении использовался разрез №12, выполненный в Тропической Атлантике вдоль 11° с.ш. между 57°21' з.д. и 17°13' з.д. (12.27.12.79 - 06.01.80) (рис.6).

В западной части разреза (57°21'-43° з.д.) наблюдались самые низкие на разрезе значения показателя ослабления света (0.17-0.2 м). В зимнее время, согласно климатических данных, в этом районе отмечается активное поступление относительно чистых вод Северного пассатного течения [7].

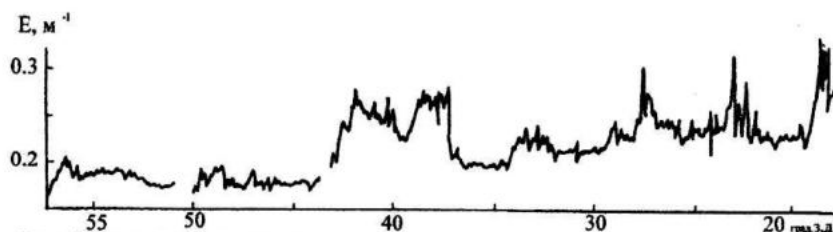


Рис. 6 - Распределение прозрачности на широтном трансатлантическом разрезе (38 рейс НИС "М.Ломоносов").

Между  $44^{\circ}$  и  $37^{\circ} 30'$  з.д. отмечалось резкое увеличение ПОС. Это может быть связано с меандрированием Межпассатного противотечения, вызванным его взаимодействием с крупномасштабными особенностями рельефа дна в районе Центрального Атлантического хребта.

Локальные всплески ПОС в восточной части разреза так же могут быть связаны с меандрирами Межпассатного противотечения вызванными его синоптической изменчивостью. Увеличение ПОС восточнее  $20^{\circ}$  з.д. вызвано с влиянием прибрежных, мутных вод, располагающихся над Гвинейским плато. На профиле глубин в этой части разреза регистрировался резкий подъем океанского дна.

**Заключение.** На основе наблюдений, выполненных в период с 1974 по 2000 гг. с помощью буксируемой аппаратуры и на пробах воды в поверхностных водах Атлантического океана от  $40^{\circ}$  ю.ш. до  $35^{\circ}$  с.ш., проведен совместный анализ крупномасштабной кинематической и термохалинной структуры вод, распределений показателя ослабления света и биологическими характеристиками для различных районов Атлантики и в различные гидрологические сезоны. Показано, что африканский апвеллинг; осадки и речной сток у берегов Северо-Западной Африки; меандрирование крупномасштабных течений, связанное с синоптической изменчивостью и влиянием неоднородностей рельефа дна; термический экватор; экваториальная дивергенция; вынос прибрежных вод Бразильского течения в открытый океан. Высокосоленая область Южного субтропического антициклонического круговорота отражаются в распределении показателя ослабления света. Показано, что влияние крупномасштабных элементов гидрологической структуры вод на

распределение ПОС носит глобальный характер для всего Атлантического океана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоренко Ю.А., Агафонов Е.А., Михайлов Э.А. Исследование структуры поля прозрачности поверхностного слоя вод Тропической Атлантики. Сб. Результаты исследований северной части тропической зоны Атлантического океана по программе "Декаланг". Севастополь, МГИ АН УССР, 1975, с.113-124.
2. Агафонов Е.А., Доля Н.Н., Прохоренко Ю.А., Шемшур В.Е. Оптическая структура вод северо-западной части Южного атлантического круговорота. Сб. Морские гидрофизические исследования. Севастополь, МГИ АН УССР, 1978, №2, с.184-191.
3. Агафонов Е.А., Блащук Г.А., Прохоренко Ю.А., Спиридонов В.В. Буксируемый измеритель для исследования гидрофизических характеристик. Сб. Методы и аппаратура для исследования гидрофизических характеристик. Севастополь, МГИ АН УССР, 1982г., с.61-64.
4. Чепьженко А.И. Оптические методы и средства экологического мониторинга., сб. Системы контроля окружающей среды., Севастополь, Экоси, 2001г., стр.41-46.
5. Артамонов Ю.В. Океанографические условия у берегов северо-западной Африки // Морские гидрофизические исследования. Севастополь.- 1983.- С. 97-104.
6. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д. Фронты Атлантического сектора Южного океана (обзор литературы) // Препринт.- МГИ НАНУ, Севастополь.- 1999.-68 С.
7. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.В., Ломакин П.Д. Циркуляция вод деятельного слоя Южной Атлантики // Препринт.-МГИ НАНУ, Севастополь.- 2001.-86 С.