

## Относительная прозрачность и цвет вод в северной части тропической области Атлантического океана

© 2017 В. И. Маньковский\*, Д. В. Гринченко

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*\*E-mail: emankovskaya@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.08.2016 г.

По данным наблюдений, выполненных в 1984 – 1990 гг., построены карты распределения относительной прозрачности и цвета вод летом и зимой в северной части тропической области ( $0 - 12^\circ$  с. ш.) Атлантического океана. Показано, что основные особенности полей  $Z_6$  и  $N_{\text{цв}}$  объясняются динамикой вод в указанной области, в результате которой образуются зоны подъема и опускания, где происходит понижение и повышение прозрачности соответственно. Прозрачность вод здесь в зимний период выше, а их цвет более насыщенный по сравнению с летом, что объясняется сезонной изменчивостью течений и связанным с ними вертикальным движением вод.

**Ключевые слова:** тропическая область Атлантического океана, белый диск, прозрачность и цвет вод, дивергенция, конвергенция.

**DOI:** 10.22449/0233-7584-2017-4-61-67

**Введение.** Относительной прозрачностью воды называется предельная глубина видимости белого стандартного диска [1] (обозначается  $Z_6$ ). Цвет воды определяется в баллах цветности с помощью специальной шкалы (обозначается  $N_{\text{цв}}$ ) [2]. Эти гидрооптические характеристики наиболее легко измеряются, так как не требуют специальной аппаратуры.

В ряде работ установлено, что по величинам  $Z_6$  и  $N_{\text{цв}}$  можно определить ряд других оптико-биологических характеристик. Вследствие этого актуальным является исследование распределений  $Z_6$  и  $N_{\text{цв}}$  в различных районах Мирового океана.

В конце 30-х годов XX в. относительная прозрачность была включена в комплекс обязательных океанографических наблюдений. В результате к настоящему времени накопился большой массив данных, позволивший построить карты распределения  $Z_6$  в Мировом океане [3 – 5]. Однако актуальной остается проблема пополнения базы данных, так как их еще недостаточно для достоверного построения карт отдельных районов Мирового океана. Так, в [3] на карте распределения для летнего периода изолинии  $Z_6$  в западной части тропической области Атлантического океана проведены пунктиром, что говорит о малом количестве данных наблюдений и вероятном положении показанных изолиний.

Кроме того, построение достоверных карт распределения  $Z_6$  важно не только с географической точки зрения, но и в плане изучения связей глубины видимости белого диска с различными гидрооптическими характеристиками в океанских водах. Исследования в этом направлении, описанные в ряде ра-

бот [6 – 12], показали эффективность определения многих гидрооптических характеристик по величине  $Z_6$ .

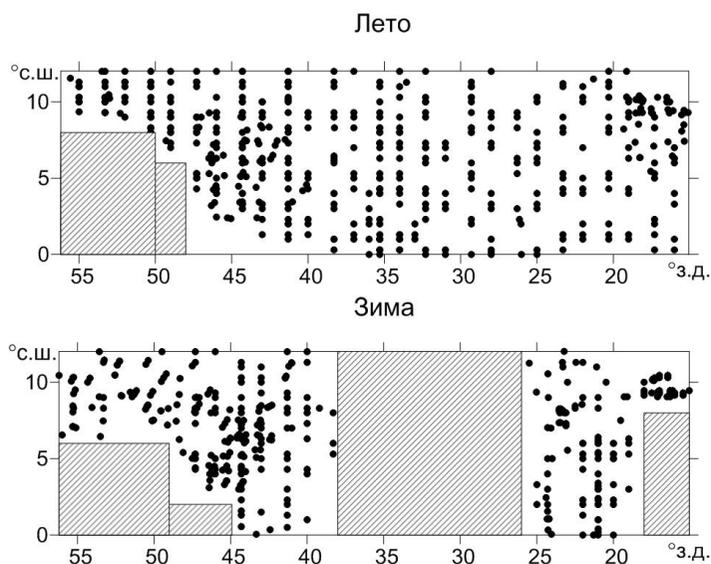
В настоящей работе используется большой массив данных о  $Z_6$  и  $N_{цв}$  в северной части ( $0 - 12^\circ$  с. ш.) тропической области Атлантики, позволивший построить статистически достоверные карты распределения этих характеристик для летнего и зимнего периодов.

**Район исследования.** В 1984 – 1990 гг. Морской гидрофизический институт проводил исследования по программе «Разрезы». Целью программы являлось изучение пространственной структуры гидрофизических полей и крупномасштабной циркуляции вод в тропической энергоактивной зоне Атлантического океана.

В начальный период исследования проводились на полигонах, которые были расположены в различных районах северной части тропической области Атлантического океана. Начиная с 1986 г. работы осуществлялись на одном – трансокеанском полигоне ( $1^\circ$  ю. ш. –  $12^\circ$  с. ш.;  $14 - 55^\circ$  з. д.) по единой сетке станций: меридиональные разрезы располагались через  $1,5^\circ$  по долготе, станции на разрезах – через  $0,5^\circ$  по широте.

На всех станциях измерялись относительная прозрачность воды  $Z_6$  (м) и ее цвет  $N_{цв}$  (баллы) по стандартной шкале цветности [2]. По полученным данным построены карты распределения  $Z_6$  и  $N_{цв}$  в пределах трансокеанского полигона.

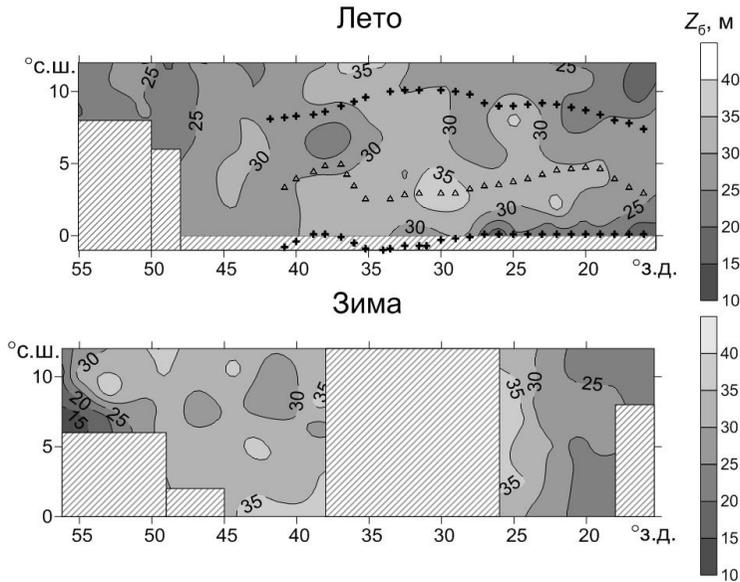
**Методика построения карт.** На рис. 1 показано расположение точек измерений  $Z_6$  и  $N_{цв}$  в весенне-летний (апрель – сентябрь) и осенне-зимний (октябрь – март) периоды. Первый период далее будем называть летним, второй – зимним. Всего было выполнено 507 измерений летом и 365 – зимой.



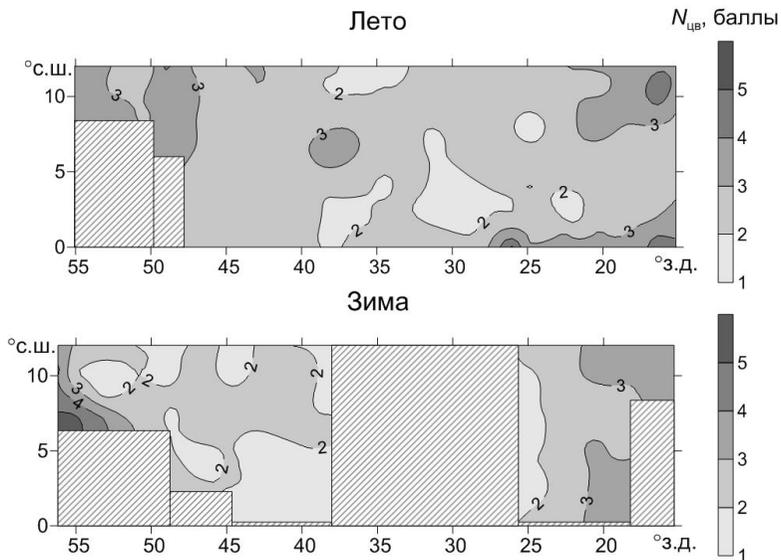
**Рис. 1.** Расположение станций, на которых были выполнены наблюдения  $Z_6$  и  $N_{цв}$

Для построения карт район был разбит на квадраты размером  $2 \times 2^\circ$ , в них в среднем летом и зимой проводилось 5 наблюдений. В квадратах рассчитаны средние значения  $Z_6$  и  $N_{цв}$ , по которым построены соответствующие карты.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 2 и 3 показаны карты распределения  $Z_6$  и  $N_{цв}$  в разные сезоны года. Основные особенности распределения этих характеристик объясняются динамикой вод в Тропической Атлантике [13].



**Рис. 2.** Распределение  $Z_6$  летом и зимой. Показано положение зон вергенций: крестики – зоны тропической и экваториальной дивергенций, треугольники – зона тропической конвергенции



**Рис. 3.** Распределение  $N_{цв}$  летом и зимой

Крупномасштабные течения образуют здесь квазистационарные циклонические и антициклонические круговороты, внутри которых происходит подъем и опускание вод соответственно. В рассматриваемой области образуются два разнонаправленных крупномасштабных круговорота: Тропический циклонический, составляющими которого являются северная часть Межпассатного противотечения и Северное Пассатное течение; Тропический антициклонический, составляющими которого являются южная часть Межпассатного противотечения и Южное Пассатное течение.

Кроме того, имеется особая область в районе экватора, где вследствие изменения знака силы Кориолиса возникает дивергенция Южного Пассатного течения, сопровождающаяся подъемом вод.

В зонах подъема происходит вынос биогенных веществ из глубин в поверхностные слои, что приводит к повышению в них концентрации фитопланктона и соответственно – к понижению прозрачности воды. В зонах опускания наблюдается обратная картина – вследствие низкой концентрации биогенов в поверхностных слоях концентрация фитопланктона в них низкая, следствием чего является высокая прозрачность воды.

Цвет воды при изменении  $Z_6$  меняется в обратной зависимости – при уменьшении  $Z_6$  балл цвета  $N_{цв}$  возрастает.

На рис. 2 показано (согласно [13], рис. 42) положение зон вергенций: зона дивергенции (подъем вод) в Тропическом циклоническом круговороте; зона конвергенции (опускание вод) в Тропическом антициклоническом круговороте; зона экваториальной дивергенции в Южном Пассатном течении. Видно, что в зонах дивергенции  $Z_6$  значительно ниже, чем в зоне конвергенции. Среднее значение  $Z_6$  в зоне экваториальной дивергенции составило 22 м, в зоне дивергенции в Тропическом циклоническом круговороте – 28 м, в зоне конвергенции в Тропическом антициклоническом круговороте – 32 м.

Пониженные значения  $Z_6 < 20$  м в крайней западной части полигона являются следствием выноса в океан мутных вод р. Амазонки, которые попадают в Гвианское течение (район экватора около  $49^\circ$  з. д.) и вместе с ним переносятся в северо-западном направлении вдоль берегов Южной Америки.

Значения  $Z_6 < 20$  м в северо-восточной части полигона являются следствием подъема вод в результате происходящей в этом районе дивергенции Межпассатного противотечения, которое разделилось на две ветви, уходящие в северо-восточном и восточном направлениях [14].

На рис. 2 видно, что в зимний период прозрачность вод в рассматриваемой тропической области выше. В табл. 1 приведены средние значения  $Z_6$  и  $N_{цв}$  для районов, где выполнялись наблюдения в летний и зимний периоды.

Увеличение прозрачности воды зимой наблюдалось в обоих районах, но в разной степени: в восточном районе по сравнению с летом оно составило 1 м, в западном – 5 м. Соответственно это проявилось и в изменении цвета воды: в восточном районе он практически не изменился:  $\langle N_{цв} \rangle_{лето} = 3$  (голубой),  $\langle N_{цв} \rangle_{зима} = 3$  (голубой), в западном районе вода посинела:  $\langle N_{цв} \rangle_{лето} = 3$  (голубой),  $\langle N_{цв} \rangle_{зима} = 2$  (синий).

Увеличение прозрачности воды зимой можно объяснить сезонной изменчивостью динамики вод в тропической области.

Т а б л и ц а 1

Средние значения  $Z_6$  и  $N_{цв}$ 

Район	$\langle Z_6 \rangle$ , м		$\langle N_{цв} \rangle$ , баллы	
	лето	зима	лето	зима
14 – 26° з. д., 0 – 12° с. ш.	27	28	3	3
38 – 56° з. д., 0 – 12° с. ш.	27	32	3	2

В зимний период Северное Пассатное течение ослабевает, а Южное Пассатное – усиливается [13]. Вследствие этого ослабевает Тропический циклонический круговорот и усиливается Тропический антициклонический. Таким образом, зимой в циклоническом круговороте ослабевает подъем вод, т. е. по сравнению с летом прозрачность в нем повышается. В антициклоническом круговороте зимой усиливается опускание вод и по сравнению с летом прозрачность в нем также повышается.

Наличие зимой в районе 25° з. д. вод с  $Z_6 > 35$  м объясняется сезонной изменчивостью циркуляции в Тропической Атлантике. Согласно [15], в осенний период Межпассатное противотечение в восточной части полигона образует крупномасштабный антициклонический меандр, охватывающий область 2 – 11° с. ш.; 23 – 31° з. д. (центр меандра расположен в районе 7° с. ш.; 28° з. д.).

На рис. 2 и в табл. 1 показаны средние значения  $Z_6$ , максимальные значения прозрачности воды приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Значения  $Z_6 > 40$  м, зафиксированные на полигоне

$Z_6$ , м	$N_{цв}$ , баллы	Координаты		Дата	Номер НИС	Сезон
		с. ш.	з. д.			
44	2	8°00'	50°54'	17.08.83	30 АВ	Лето
42	2	2°39'	45°28'	10.07.85	32 АВ	Лето
41	2	5°12'	44°40'	06.04.83	30 АВ	Лето
46	2	7°00'	44°30'	05.07.87	36 АВ	Лето
44	2	4°57'	40°11'	25.07.85	32 АВ	Лето
41	3	3°00'	36°00'	21.07.85	32 АВ	Лето
41	3	1°00'	35°30'	08.06.87	36 АВ	Лето
42	2	4°30'	34°00'	06.06.87	36 АВ	Лето
41	3	3°00'	31°00'	08.09.86	47 МЛ	Лето
46	2	9°13'	52°14'	19.02.83	30 АВ	Зима
45	2	5°00'	47°30'	01.10.86	34 АВ	Зима
42	2	4°30'	47°30'	01.10.86	34 АВ	Зима
45	–	9°01'	24°26'	28.02.70	24 МЛ	Зима

П р и м е ч а н и е. АВ – НИС «Академик Вернадский», МЛ – НИС «Михаил Ломоносов».

Значения  $Z_6$ , равные 41 – 42 м в районе  $3 - 4^{\circ}30'$  с. ш.;  $31 - 36^{\circ}$  з. д., приходятся на зону конвергенции (рис. 2).

В западной части полигона летом в районе  $2^{\circ}39' - 7^{\circ}$  с. ш.;  $40^{\circ}11' - 45^{\circ}28'$  з. д. наблюдались значения  $Z_6$ , равные 41 – 46 м. Согласно [15], весной в районе  $3 - 8^{\circ}$  с. ш.;  $37 - 45^{\circ}$  з. д. происходит антициклоническое движение вод.

Зимой значение  $Z_6$ , равное 45 м, наблюдалось в районе  $9^{\circ}01'$  с. ш.;  $24^{\circ}26'$  з. д., где в осенний сезон Межпассатное противотечение образует крупномасштабный антициклонический меандр [15].

Проведено также сравнение распределения  $Z_6$  в тропической области Атлантического океана с данными работы [3]. Порядок величин распределения  $Z_6$  в центральных районах рассматриваемого полигона летом и зимой по нашим данным и данным работы [3] одинаков (25 – 35 м).

Сравнить значения по сезонам не представляется возможным, так как в работе [3] на карте тропической области Атлантики западнее  $20^{\circ}$  з. д. изолинии  $Z_6$  для летнего периода проведены пунктиром, что говорит об их вероятном положении.

### **Выводы.**

**1.** По данным многолетних наблюдений (1984 – 1990 гг.) построены карты распределения относительной прозрачности и цвета воды в летний и зимний периоды для северной части тропической области ( $0 - 12^{\circ}$  с. ш.) Атлантического океана.

**2.** Основные особенности поля прозрачности объясняются динамикой вод рассматриваемой области.

**3.** Прозрачность вод в указанной области в зимний период выше, а их цвет более насыщен по сравнению с летом. Это можно объяснить сезонной изменчивостью течений и связанным с ними вертикальным движением вод.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Козлянинов М.В.* Руководство по гидрооптическим измерениям в море // Тр. ИОАН СССР. – 1961. – XLVII. – С. 37 – 79.
2. *Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях.* – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – С. 409 – 438.
3. *Оптика океана.* Прикладная оптика океана. – М.: Наука, 1983. – Т. 2. – С. 21 – 26.
4. *Шифрин К.С.* Физика океана. Т.1. Гидрофизика океана (серия «Океанология»). – М.: Наука, 1978. – С. 359 – 365.
5. *Иванов А.А.* Введение в океанографию. – М.: Мир, 1978. – С. 382 – 391.
6. *Pilgram D.A.* The Secchi Disk in principle and in use // Hydrograph. J. – 1984. – No. 33. – P. 25 – 30.
7. *Graham J.J.* Secchi Disk observations and extinction coefficients in the Central and eastern North Pacific Ocean // Limnol. Oceanogr. – 1966. – 11, Iss. 2. – P. 184 – 190. – doi:10.1.1.488.2974 URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.488.2974&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 20.07.2017).
8. *Kullenberg G.* Relationships between Optical Parameters in Different Oceanic Areas // Stud. phys. oceanogr. / Papers dedicated to professor Nils G. Jerlov in commemoration of this seventieth birthday. – Report Nr. 42. – Copenhagen: Kobenhavns Universitet, July 1980. – P. 57 – 79.

9. *Aas E.* Relation between total quanta blue irradiance and Secchi disc observations in the Norwegian and Barents seas // *Ibid.* – P. 11 – 27.
10. *Matciak M.* Estimation of the attenuation of visible light in waters of the Gulf of Gdansk with the use of Secchi transparency // *Ocean. Stud.* (Polish Academy of Sciences. Ins. of Oceanogr., University of Gdansk). – 1997. – XXVI, No. 4. – P. 35 – 40. – URL: [http://model.ocean.univ.gda.pl/description/Papers/Matciak%20M.\\_Estimation%20of%20attenuation....pdf](http://model.ocean.univ.gda.pl/description/Papers/Matciak%20M._Estimation%20of%20attenuation....pdf) (дата обращения: 20.07.2017).
11. *Маньковский В.И.* Эмпирическая формула для оценки показателя ослабления света в морской воде по глубине видимости белого диска // *Океанология.* – 1978. – 18, вып. 4. – С. 750 – 753.
12. *Маньковский В.И.* Связь показателя вертикального ослабления дневного света с глубиной видимости белого диска // *Там же.* – 2014. – 54, № 1. – С. 37 – 43. – doi:10.7868/S0030157414010080
13. *Хлыстов Н.З.* Структура и динамика вод Тропической Атлантики. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 103 – 122.
14. *Артамонов Ю.В., Полонский А.Б., Переяславский М.Г.* Исследование крупномасштабной циркуляции вод в северо-восточной части Тропической Атлантики // Деп. рукопись № 391-887. – М.: ВИНТИ, 1987. – 25 с.
15. *Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Иванов В.Ф., Полонский А.Б.* Сезонная изменчивость циркуляции вод северной части Тропической Атлантики. – Севастополь, 1991. – 29 с. (Препринт/АН УССР. МГИ).

## **Relative water transparency and color in the northern part of the Tropical Atlantic**

**V. I. Man'kovsky\*, D. V. Grinchenko**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*  
\*e-mail: [emankovskaya@mail.ru](mailto:emankovskaya@mail.ru)

The maps of relative water transparency and color distribution in the northern part of the tropical area (0 – 12° N) of the Atlantic Ocean in summer and winter are constructed based on the observational data obtained in 1984 – 1990. It is shown that the basic features of the fields  $Z_{\text{white}}$  and  $N_{\text{color}}$  are explained by waters dynamics in the indicated region that results in formation of the upwelling and down welling zones where water transparency decreases and increases, respectively. In winter water transparency is higher and its color is more intensive than in summer; it is explained by the currents' seasonal variability and the related water vertical motions.

**Keywords:** tropical area of the Atlantic Ocean, Secchi disk, transparency and color of water, divergence, convergence.