

## Характеристики взвеси в Южном океане в районе 20° восточной долготы по измерениям индикатрис рассеяния света

В. И. Маньковский, Е. В. Маньковская ✉

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
✉ [etankovskaya@mhi-ras.ru](mailto:etankovskaya@mhi-ras.ru)

Поступила в редакцию 06.09.2022; одобрена после рецензирования 02.10.2022;  
принята к публикации 09.03.2023.

### Аннотация

**Цель.** Цель работы – представить и обсудить результаты определения массовой концентрации взвеси и ее органической и минеральной фракций по измерениям индикатрис рассеяния света в водах Южного океана в районе меридиана 20° в. д. от 37° до 55° ю. ш.

**Методы и результаты.** Данные измерений индикатрисы рассеяния света получены в 10-м рейсе НИС «Академик Вернадский» в январе – феврале 1975 г. на океанографическом разрезе по линии меридиана 20° в. д. от 37° до 55° ю. ш. со станциями через 1°. Расчет состава взвеси выполнен по результатам этих измерений. Получено распределение массовой концентрации взвеси (суммарной, органической и минеральной) на разрезе. Максимальное повышение концентрации органической взвеси на разрезе наблюдалось в области подъема вод на 53° ю. ш.:  $C_{орг} = 0,830$  мг/л ( $C_{сум} = 1,062$  мг/л), что свидетельствует о наибольшей продуктивности вод в данном районе. По эмпирической связи с концентрацией органической взвеси выполнен расчет концентрации хлорофилла на разрезе. Установлена связь суммарной массовой концентрации взвеси с показателем рассеяния в поверхностных водах в виде  $C_{сум} = 1,496 \sigma_{520} - 0,0676$  ( $R = 0,95$ ). Рассмотрены особенности распределения с глубиной органической взвеси в районах подъема, опускания вод и без признаков вертикального движения вод.

**Выводы.** По измерениям индикатрис рассеяния света в Южном океане в районе 20° в. д. 37°–55° ю. ш. получены данные о массовой концентрации суммарной взвеси, а также ее органической и минеральной фракций. Максимум концентрации органической взвеси находится в окрестности среднего многолетнего положения Полярного фронта, где массовое развитие фитопланктона наблюдается регулярно. Особенности вертикальной структуры органической фракции взвеси напрямую связаны с вертикальной динамикой вод. Между массовой концентрацией суммарной взвеси и показателем рассеяния в поверхностных водах существует тесная взаимосвязь.

**Ключевые слова:** индикатриса рассеяния, взвесь, органическая взвесь, минеральная взвесь, концентрация взвеси, Южный океан

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № FNNN-2021-0003 и FNNN-2021-0005.

**Для цитирования:** Маньковский В. И., Маньковская Е. В. Характеристики взвеси в Южном океане в районе 20° восточной долготы по измерениям индикатрис рассеяния света // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39, № 3. С. 371–383. EDN KJVRXB. doi:10.29039/0233-7584-2023-3-371-383

## Characteristics of Suspended Matter in the South Ocean in the 20° E Region Based on the Measurements of Light Volume Scattering Functions

V. I. Mankovsky, E. V. Mankovskaya ✉

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*  
✉ [emankovskaya@mhi-ras.ru](mailto:emankovskaya@mhi-ras.ru)

### Abstract

**Purpose.** The purpose of the work is to present and discuss the results of determining the mass concentration of suspended matter and its organic and mineral fractions by measuring the light volume scattering functions in the South Ocean in the 20° E meridian region from 37° to 55° S.

**Methods and Results.** The measurement data on the light volume scattering function were obtained in the 10<sup>th</sup> cruise of the R/V “Akademik Vernadsky” in January–February, 1975 at the oceanographic section along the 20° E meridian from 37° to 55° S at the stations located 1° apart. The suspended matter composition was calculated based on the results of these measurements. The distribution of mass concentration of the suspended matter (total, organic and mineral) at the section was obtained. The maximum increase in the organic suspension concentration at the section was observed in the area of water rise at 53° S:  $C_{org} = 0.830$  mg/l ( $C_{total} = 1.062$  mg/l), that indicates the highest water productivity in this region. Based on the empirical relationship with the organic suspension concentration, the chlorophyll concentration at the section was calculated. The relation between the total mass concentration of suspended matter and the scattering coefficient in surface waters in the form  $C_{total} = 1.496 \sigma_{520} - 0.0676$  ( $R = 0.95$ ) was established. The features of the organic suspension vertical distribution in the areas of water rise and lowering, and with no signs of water vertical movement, were considered.

**Conclusions.** Measurements of the light volume scattering functions in the South Ocean in the region of 20° E and 37°–55° S permitted to obtain the data on mass concentration of the total suspended matter, as well as its organic and mineral fractions. The maximum concentration of organic suspension is located in the vicinity of the average long-term position of the Polar Front, where the mass development of phytoplankton is observed regularly. The features of vertical structure of the suspension organic fraction are directly related to the water vertical dynamics. There is a close relationship between the mass concentration of total suspended matter and the scattering coefficient in the surface waters.

**Keywords:** light volume scattering function, suspended matter, organic suspended matter, mineral suspended matter, suspended matter concentration, South Ocean

**Acknowledgments:** The study was carried out within the framework of state assignment of the FRC MHI on themes No. FNNN-2021-0003 and No. FNNN-2021-0005.

**For citation:** Mankovsky, V.I. and Mankovskaya, E.V., 2023. Characteristics of Suspended Matter in the South Ocean in the 20° E Region Based on the Measurements of Light Volume Scattering Functions. *Physical Oceanography*, 30(3), pp. 343-354. doi:10.29039/1573-160X-2023-3-343-354

### Введение

Взвесь играет важную роль во многих биологических, физических и геохимических процессах, протекающих в океанских водах. Кроме того, взвесь является важнейшим фактором, влияющим на оптические свойства океанских вод. Поэтому актуальной задачей является исследование концентрации и состава взвеси в разных районах Мирового океана.

Взвесь состоит из органических и минеральных частиц. Органическая взвесь состоит из живого фитопланктона и детрита – фрагментов отмершего

фито- и зоопланктона. Минеральная взвесь – это в основном частицы терригенного происхождения.

Взвесь влияет на рассеяние света в воде. Существуют методы обращения индикатрис рассеяния света, позволяющие по измеренным показателям рассеяния света  $\sigma(\theta)$  определять численную и массовую концентрацию суммарной взвеси и отдельных ее фракций – органической и минеральной. Один из таких методов использовался в настоящей работе для определения взвеси в водах Южного океана.

Состав взвеси был определен по измерениям индикатрис рассеяния света на океанографическом разрезе по линии меридиана  $20^\circ$  в. д. от  $37^\circ$  до  $55^\circ$  ю. ш. в 10-м рейсе НИС «Академик Вернадский». Судовые измерения выполнены в январе – феврале 1975 г. в «дооптическую спутниковую эру» – период, когда еще не было специализированных спутниковых систем для изучения океана. Этот факт во многом определяет интерес к представленным данным. Результаты оптических измерений в данной экспедиции, показатели ослабления света, индикатрисы рассеяния света опубликованы в работе [1]. Приводимые в настоящей работе характеристики взвеси дополняют биооптические свойства вод в этом районе Южного океана.

Цель работы – представить и обсудить результаты определения массовой концентрации взвеси и ее органической и минеральной фракций по измерениям индикатрис рассеяния света в водах Южного океана в районе меридиана  $20^\circ$  в. д. от  $37^\circ$  до  $55^\circ$  ю. ш.

### **Район работ, аппаратура**

Работы были выполнены в 10-м рейсе НИС «Академик Вернадский» (январь – февраль 1975 г.) в Южном океане на разрезе по линии меридиана  $20^\circ$  в. д. от  $37^\circ$  до  $55^\circ$  ю. ш. Станции на разрезе выполнялись через один градус.

Показатели рассеяния света  $\sigma(\theta)$  (индикатриса рассеяния света) измерялись погружаемым нефелометром<sup>1</sup> на глубинах до 200 м. Прибор измеряет  $\sigma(\theta)$  под углами  $2^\circ$ , затем через  $5^\circ$  в диапазоне  $7,5^\circ \dots 162,5^\circ$ . Используется длина волны  $520 \pm 40$  нм.

Поскольку минимальный угол измерений нефелометра составляет  $2^\circ$ , то необходимые для расчетов показатели рассеяния света на углах  $\theta < 2^\circ$  находились путем экстраполяции измеренной индикатрисы в эту область по формуле  $\lg \sigma(\theta) = A + B\theta + C\theta^2$ . Для нахождения коэффициентов  $A, B, C$  использовались показатели рассеяния  $\sigma(\theta)$ , измеренные на углах  $\theta$ , равных  $2^\circ; 7,5^\circ; 12,5^\circ$ . На углах более  $162,5^\circ$  принималось  $\sigma(\theta) = \text{const}$ .

### **Методика измерения индикатрисы рассеяния света $\sigma(\theta)$**

Индикатрисы измерялись на каждой глубине три раза. Расчеты проводились по осредненной индикатрисе.

Минимальная глубина, на которой измерялись индикатрисы, составляла 5 м. Такая глубина была обусловлена тем, что измерения в большинстве слу-

---

<sup>1</sup> Маньковский В. И. Морской импульсный нефелометр // Приборы для научных исследований и системы автоматизации в АН УССР / Отв. ред. Б. Н. Малиновский, В. Т. Черепин. Киев : Наукова Думка, 1981. С. 87–89.

чаев происходили при волнении, во время которого в результате обрушения волн в верхних слоях воды возникают пузырьки воздуха, искажающие рассеяние света взвесью.

### Формулы расчета взвеси

Для расчета характеристик взвеси по индикатрисам рассеяния использовались формулы из работы <sup>2</sup>. Для определения содержания в воде частиц в этой работе приведены формулы ( $\lambda_{\text{расч}} = 549$  нм), по которым рассчитывается численная и массовая концентрация для трех фракций взвеси с радиусами частиц  $r = 0,2 \div 0,5$  мкм,  $r = 0,5 \div 1,0$  мкм,  $r > 1,0$  мкм. Частицы с радиусами  $r = 0,2 \div 0,5$  мкм и  $r = 0,5 \div 1,0$  мкм составляют минеральную фракцию взвеси (мелкие частицы), с радиусами  $r > 1,0$  мкм – органическую фракцию (крупные частицы). При расчете массовой концентрации плотность минеральных частиц принимают равной  $2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , плотность органических частиц –  $1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ .

Для расчета концентрации частиц с радиусами  $r > 1,0$  мкм используется показатель рассеяния  $\sigma(\theta)$  на угле  $\theta$ , равном  $1^\circ$ , для частиц  $r = 0,2 \div 0,5$  мкм и  $r = 0,5 \div 1,0$  мкм – на углах  $45^\circ$  и  $6^\circ$  соответственно. В табл. 1 приведены коэффициенты для расчета массовой концентрации  $C$  ( $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) по формуле  $C = m\sigma(\theta) + n$ .

Т а б л и ц а 1  
Table 1

### Значения коэффициентов регрессии $m$ , $n$ и среднеквадратических относительных ошибок $\delta$ определения параметров взвеси Values of the regression coefficients $m$ and $n$ and the root-mean-square relative errors $\delta$ of determining the suspension parameters

Радиус частиц $r$ , мкм / Particle radius $r$ , $\mu\text{m}$	Угол рассеяния $\theta$ , $^\circ$ / Scattering angle $\theta$ , $^\circ$	$m$ , $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$ / $m$ , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$	$n$ , $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ / $n$ , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\delta C$ , $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ / $\delta C$ , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
0,2–0,5	45	$8,9 \cdot 10^3$	–3,0	0,16
0,5–1,0	6	24,0	0,5	0,14
> 1,0	1	12,0	16,0	0,20

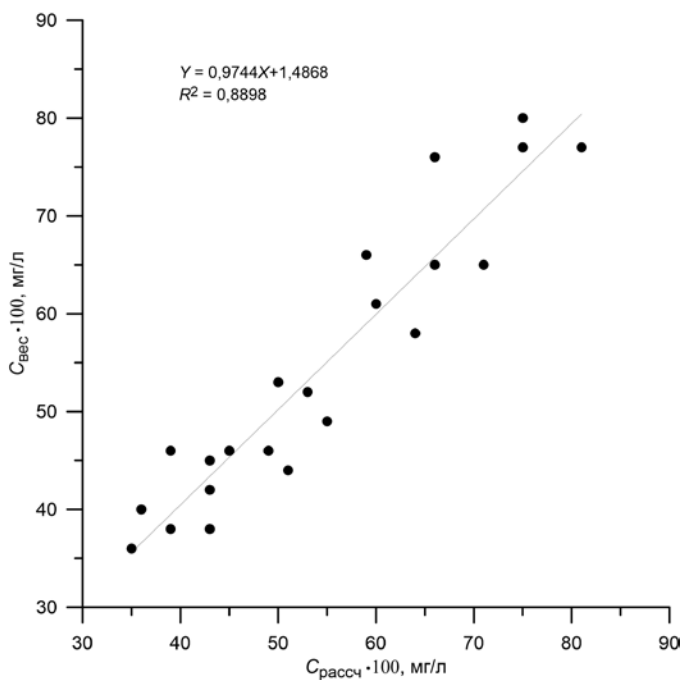
### Верификация расчетных формул

Данные табл. 1 для расчета взвеси получены в работе <sup>2</sup> при измерении показателей рассеяния на длине волны  $\lambda = 546$  нм. Эффективная длина волны при измерениях рассеяния света в нефелометре, использовавшемся в настоящей работе, составляет 520 нм. В связи с этим была выполнена верификация расчетных формул.

В ряде проб воды (22 пробы) была определена концентрация взвеси стандартным весовым методом. В этих же пробах были измерены индикатрисы рассеяния света. На рис. 1 показано сравнение концентраций взвеси, определенных весовым методом  $C_{\text{вес}}$  и рассчитанных по рассеянию света  $C_{\text{расч}}$ . Уравнение связи:  $C_{\text{вес}} = 0,97C_{\text{расч}} + 0,009$ . Коэффициент корреляции  $R = 0,88$ .

<sup>2</sup> Копелевич О. В., Маштаков Ю. А., Буренков В. И. Исследование вертикальной стратификации рассеивающих свойств морской воды // Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане. Москва: Наука, 1975. С. 54–60.

В диапазоне концентраций  $0,35 \div 0,80$  мг/л разница  $\Delta C = C_{\text{рассч}} - C_{\text{вес}}$  составляет  $0,0015 \dots 0,015$  мг/л. Вследствие незначительной разницы между  $C_{\text{рассч}}$  и  $C_{\text{вес}}$  поправка в  $C_{\text{рассч}}$  не вводилась.



**Р и с. 1.** Связь концентрации взвеси, определенной весовым методом  $C_{\text{вес}}$ , с концентрацией взвеси, рассчитанной по измерениям рассеяния света  $C_{\text{рассч}}$

**Fig. 1.** Relation between the suspended matter concentration determined by the weighing method  $C_{\text{weight}}$  and the suspended matter concentration calculated from the measurements of light volume scattering  $C_{\text{calc}}$

Отметим, что получившееся в эксперименте соотношение  $C_{\text{рассч}} > C_{\text{вес}}$  согласуется с теоретическими и экспериментальными данными<sup>3</sup> о спектральной изменчивости рассеяния света частицами, согласно которым величина рассеяния изменяется обратно пропорционально длине волны рассеиваемого света  $\sigma(\lambda) \sim (1/\lambda)^n$ .

### Результаты и их обсуждение

Плохие погодные условия (штормовые ветры, сильное волнение) не позволили выполнить измерения индикатрис рассеяния света на всех станциях разреза, они были выполнены только на 8 станциях из 19. Результаты измерений на этих станциях представлены далее в таблицах и на рисунках.

В табл. 2 приводится массовая концентрация частиц органической и минеральной фракций взвеси на глубине 5 м в разных точках разреза, а также концентрация хлорофилла  $C_{\text{хл}}$ .

<sup>3</sup> *Копелевич О. В.* Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. Физическая оптика океана. Т. 1. Москва : Наука, 1983. С. 208–235.

**Концентрация взвеси и хлорофилла в Южном океане  
на разрезе по линии меридиана 20° в. д. на глубине 5 м  
Concentration of suspended matter and chlorophyll  
in the South Ocean at the section along the 20° E meridian at the 5 m depth**

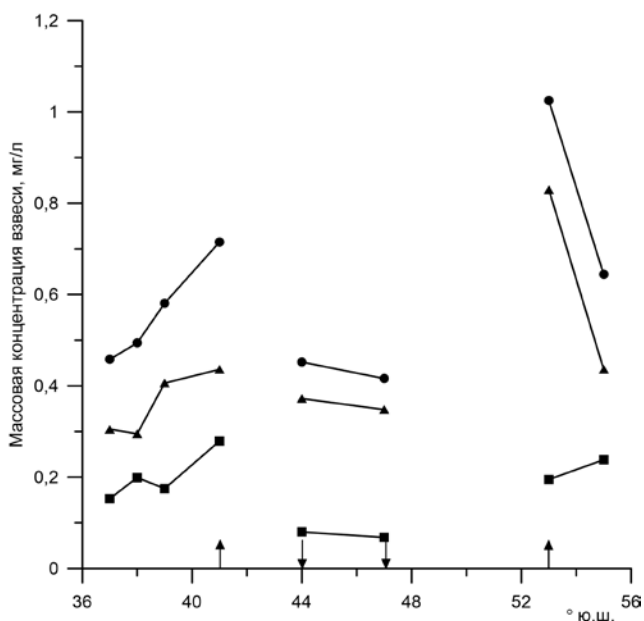
Широта, φ / Latitude, φ	Показатель рассеяния на длине волны 520 нм $\sigma_{520}$ , 1/м / Scattering coefficient at wave- length 520 nm $\sigma_{520}$ , 1/m	Концентрация / Concentration				хлорофилла $C_{chl}$ , мг/м <sup>3</sup> / chlorophyll $C_{chl}$ , mg/m <sup>3</sup>
		взвеси, мг/л / suspension, mg/l			суммарной $C_{сум}$ / total $C_{total}$	
		органической $C_{орг}$ / organic $C_{org}$	минеральной $C_{мин}$ / mineral $C_{min}$			
37	0,396	0,305	0,153	0,458	0,16	
38	0,432	0,295	0,199	0,494	0,16	
39	0,421	0,406	0,175	0,581	0,22	
41	0,722	0,436	0,279	0,715	0,24	
44	0,299	0,372	0,080	0,452	0,16	
47	0,294	0,348	0,068	0,416	0,19	
53	0,681	0,830	0,232	1,062	0,71	
55	0,515	0,292	0,199	0,491	0,14	

Концентрация хлорофилла  $C_{chl}$  (мг·м<sup>-3</sup>) была рассчитана по связи с концентрацией органической взвеси  $C_{орг}$  (мг·л<sup>-1</sup>).  $C_{орг}$  была определена по одновременным измерениям этих характеристик в Атлантическом океане в 47-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов». Уравнение связи (коэффициент корреляции  $R = 0,85$ ):  $\ln C_{chl} = 2,8(C_{орг} - 0,95)$ .

Распределение взвеси на разрезе на глубине 5 м показано на рис. 2. На рисунке стрелками показаны районы подъема и опускания вод, выявленные по гидрологическим признакам: подъем – на 41°, 53° ю. ш., опускание – на 44°, 47° ю. ш. В этих районах соответственно наблюдались повышенные и пониженные концентрации взвеси и хлорофилла.

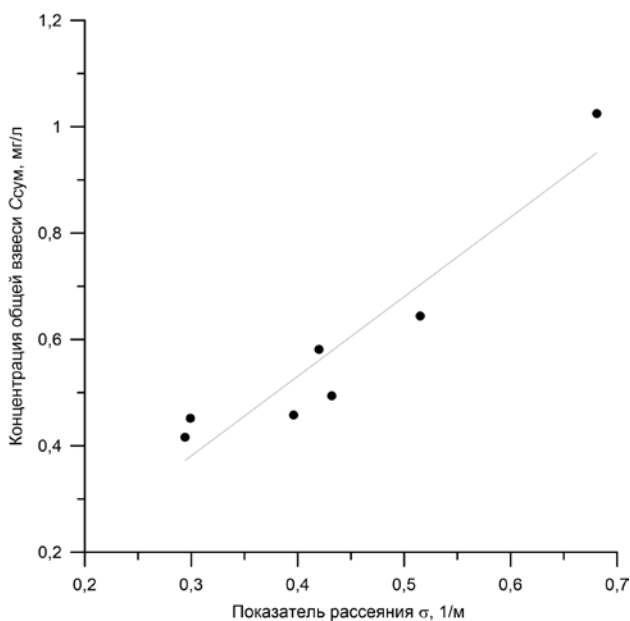
Особенно сильное повышение концентрации органической взвеси наблюдалось в области подъема вод на 53° ю. ш.:  $C_{орг} = 0,830$  мг/л ( $C_{сум} = 1,062$  мг/л). Это свидетельствует о наибольшей продуктивности вод на разрезе на 53° ю. ш. Данная область находится в окрестности среднего многолетнего положения Полярного фронта, где массовое развитие фитопланктона наблюдается регулярно [2–8] и является характерным для этого района Южного океана [9].

Сопоставление концентраций общей взвеси  $C_{сум}$  (мг/л) с показателями рассеяния  $\sigma_{520}$ , наблюдавшимися на разрезе по линии меридиана 20° в. д., отражено на рис. 3. Связь между этими величинами ( $R = 0,946$ ) выражается формулой  $C_{сум} = 1,496 \sigma_{520} - 0,0676$ .



**Р и с. 2.** Распределение на разрезе по линии меридиана 20° в. д. массовой концентрации взвеси: органической (треугольники), минеральной (квадраты), суммарной (круги)

**F i g. 2.** Distribution of mass concentration of organic (triangles), mineral (squares) and total (circles) suspension at the section along the 20° E meridian



**Р и с. 3.** Связь массовой концентрации взвеси с показателем рассеяния на разрезе по линии меридиана 20° в. д.

**F i g. 3.** Relationship between the suspended matter mass concentration and the scattering coefficient at the section along the 20° E meridian

По концентрации хлорофилла была определена трофность (пищевая ценность) поверхностных вод на разрезе по классификации из работы [10]. Эта классификация нами немного расширена, и в мезотрофных водах выделено два подвида (табл. 3).

Т а б л и ц а 3  
T a b l e 3

**Типы вод по концентрации хлорофилла <sup>4</sup>**  
**Water types by chlorophyll <sup>4</sup> concentration**

Тип вод / Water type	Концентрация хлорофилла $C_{chl}$ , мг·м <sup>-3</sup> / Chlorophyll concentration $C_{chl}$ , mg·m <sup>-3</sup>
Олиготрофные / Oligotrophic	< 0,1
Мезотрофные 1 / Mesotrophic 1	0,1–0,5
Мезотрофные 2 / Mesotrophic 2	0,5–1,0
Эвтрофные / Eutrophic	> 1,0

Т а б л и ц а 4  
T a b l e 4

**Распределение концентрации взвеси с глубиной на 20° в. д. в районах с разной вертикальной динамикой вод**  
**Suspension concentration distribution with depth at 20° E in the areas of different vertical water dynamics**

Глубина, м / Depth, m	Концентрация взвеси, мг/л / Suspended matter concentration, mg/l			Показатель рассеяния, 1/м / Scattering coefficient, 1/m
	органической / organic	минеральной / mineral	суммарной / total	
<i>Подъем вод (41° ю. ш.) / Water rise (41° S)</i>				
5	0,436	0,279	0,715	0,722
25	0,725	0,307	1,032	0,853
<i>Подъем вод (53° ю. ш.) / Water rise (53° S)</i>				
5	0,830	0,232	1,062	0,681
20	0,485	0,109	0,594	0,492
<i>Опускание вод (44° ю. ш.) / Water lowering (44° S)</i>				
5	0,372	0,081	0,452	0,299
50	0,340	0,104	0,444	0,359
115	0,305	0,043	0,348	0,207
<i>Без признаков вертикального движения вод (39° ю. ш.) / No signs of water vertical movement (39° S)</i>				
5	0,406	0,175	0,581	0,421
25	0,356	0,154	0,510	0,414
50	0,348	0,133	0,481	0,359
55	0,312	0,041	0,353	0,189
162	0,262	0,022	0,284	0,129
<i>Без признаков вертикального движения вод (55° ю. ш.) / No signs of water vertical movement (55° S)</i>				
5	0,292	0,199	0,441	0,515
20	0,340	0,191	0,531	0,559
50	0,271	0,151	0,422	0,538
130	0,101	0,048	0,149	0,055

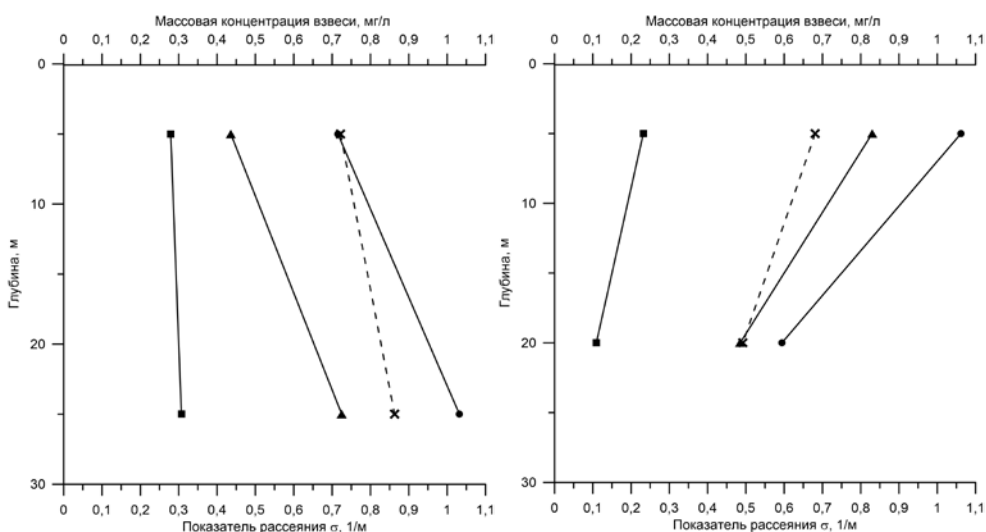
<sup>4</sup> Маньковский В. И., Маньковская Е. В. Биооптические характеристики на крупномасштабном полигоне в северной тропической зоне Атлантического океана и их связь с динамикой вод // Океанология. 2022. Т. 62, № 1. С. 32–40. EDN ХТРВОХ. doi:10.31857/S0030157422010099



Согласно классификации (табл. 4) на разрезе по линии меридиана 20° в. д. (см. табл. 3) все поверхностные воды, кроме вод на 53° ю. ш., относились к типу «мезотрофные 1», а на 53° ю. ш. – к типу «мезотрофные 2».

В табл. 4 и на рис. 4–6 представлены данные о вертикальном распределении концентрации взвеси в районах подъема, опускания вод и без признаков вертикального движения вод. Рассмотрим особенности вертикальной структуры концентрации взвеси на примере ее органической фракции, которая напрямую связана с вертикальной динамикой вод.

В районах подъема вод происходит вынос биогенных веществ из глубинных слоев в поверхностные, что приводит к усилению развития в этих районах фитопланктона (повышению концентрации органической взвеси). Такая картина наблюдалась в поверхностных водах на 41° и 53° ю. ш. (рис. 4). В зависимости от распределения гидрологических характеристик (температура, соленость, плотность) подъем вод проявлялся в этих районах по-разному.



**Р и с. 4.** Распределение по глубине показателя рассеяния (штриховая линия) и массовой концентрации органической (треугольники), минеральной (квадраты) и суммарной (круги) взвеси в районах подъема вод на 41° ю. ш. (слева) и 53° ю. ш. (справа)

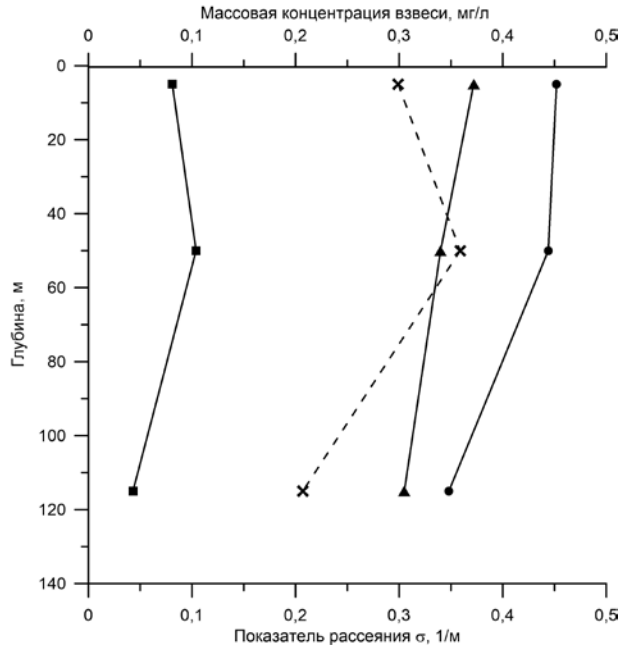
**F i g. 4.** Depth distribution of the scattering coefficient (dashed line) and the mass concentration of organic (triangles), mineral (squares) and total (circles) suspended matter in the areas of water rise at 41° S (left) and 53° S (right)

На 41° ю. ш. подъем вод проявился в повышении концентрации органической взвеси  $C_{\text{орг}}$  на глубине 25 м, которая составила 0,725 мг/л, по сравнению с 0,436 мг/л на глубине 5 м.

На 53° ю. ш. подъем вод проявился в самом поверхностном слое, где на глубине 5 м  $C_{\text{орг}} = 0,830$  мг/л, а на глубине 20 м  $C_{\text{орг}}$  снизилась до 0,485 мг/л.

В районах опускания вод из-за дефицита биогенных веществ в поверхностных слоях концентрация фитопланктона в них невелика, и с глубиной

она уменьшается вследствие отмирания клеток и постепенного их растворения. Такая картина наблюдалась в вертикальном распределении концентрации органической взвеси на 44° ю. ш. (рис. 5): на глубине 5 м  $C_{\text{орг}}$  равна 0,372 мг/л, 50 м – 0,340 мг/л, 115 м – 0,305 мг/л.

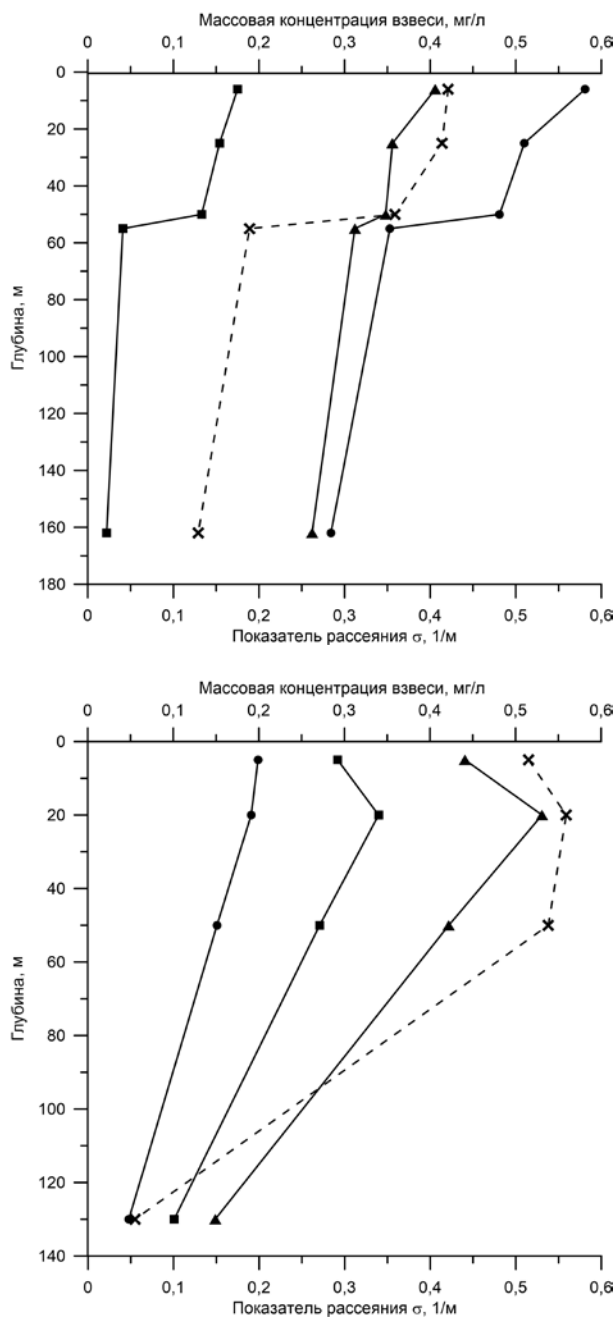


**Р и с. 5.** Распределение по глубине показателя рассеяния (штриховая линия) и массовой концентрации органической (треугольники), минеральной (квадраты) и суммарной (круги) взвеси в районах опускания вод на 44° ю. ш.

**F i g. 5.** Depth distribution of the scattering coefficient (dashed line) and the mass concentration of organic (triangles), mineral (squares) and total (circles) suspended matter in the areas of water lowering at 44° S

Распределение  $C_{\text{орг}}$  по глубине в районах без признаков вертикального движения вод (39° и 55° ю. ш.) в обоих случаях характеризуется слабым изменением  $C_{\text{орг}}$  с глубиной в поверхностном 50-метровом слое (рис. 6): на 39° ю. ш. в слое 5–162 м  $C_{\text{орг}} = 0,406...0,348$  мг/л, на 55° ю. ш. в слое 5–130 м  $C_{\text{орг}} = 0,340...0,271$  мг/л. В этих же районах наблюдалось однородное распределение температуры и показателя ослабления света в поверхностном 50-метровом слое воды [1]. Это так называемый поверхностный однородный слой, образующийся в морях и океанах в результате ветро-волнового перемешивания вод. «Постоянство» биомассы в этом слое поддерживается биогенными веществами, образующимися в результате частичного разложения отмерших клеток фитопланктона.

Полученные в 10-м рейсе НИС «Академик Вернадский» данные о концентрации взвеси в Южном океане в районе 20° в. д. в январе – феврале 1975 г. были сопоставлены с данными о распределении взвеси в поверхностных водах Мирового океана, представленными в работе [11, с. 56] в виде карты по состоянию на 1983 г.



**Р и с. 6.** Распределение по глубине показателя рассеяния (штриховая линия) и массовой концентрации органической (треугольники), минеральной (квадраты) и суммарной (круги) взвеси в районах без признаков вертикального движения вод на 39° ю. ш. (*сверху*) и на 55° ю. ш. (*снизу*)

**F i g. 6.** Depth distribution of the scattering coefficient (dashed line) and mass concentration of organic (triangles), mineral (squares) and total (circles) suspended matter in the areas with no signs of water vertical movement at 39° S (*above*) and 55° S (*below*)

На карте в районе  $20^{\circ}$  в. д. есть данные по участку от  $37^{\circ}$  до  $42^{\circ}$  ю. ш., где диапазон наблюдавшихся концентраций взвеси  $C_{взв}$  обозначен как 0,5–1,0 мг/л. По нашим данным, в январе – феврале 1975 г. в районе  $37^{\circ}$ – $42^{\circ}$  ю. ш.  $C_{взв} = 0,396 \dots 0,722$  мг/л.

Проведено также сравнение с литературными данными о концентрации хлорофилла в Южном океане, полученными в работе [9] в феврале 2000 г. В этой работе есть данные измерений в районе  $20^{\circ}$  в. д.,  $53,5^{\circ}$ – $54,0^{\circ}$  ю. ш., где концентрация хлорофилла  $C_{хл}$  на поверхности воды обозначена в пределах 0,6–2,0 мг/м<sup>3</sup>. По нашим данным, на  $53^{\circ}$  ю. ш. на глубине 5 м  $C_{хл} = 0,71$  мг/м<sup>3</sup>.

Сравнение показывает, что в обоих случаях величины  $C_{взв}$  и  $C_{хл}$  – одного порядка, присущего данной широтной зоне Южного океана в районе  $20^{\circ}$  в. д.

Для сравнения с величинами концентрации взвеси в других районах Мирового океана приводим данные, полученные в том же 10-м рейсе НИС «Академик Вернадский» в Индийском океане (февраль 1975 г.) на разрезе по линии меридиана  $54^{\circ}30'$  в. д. с  $2^{\circ}00'$  ю. ш. до  $2^{\circ}00'$  с. ш. Станции на разрезе выполнялись с интервалом  $0,5^{\circ}$ . В табл. 5 приведены данные сравнения, которое показывает одинаковый порядок значений концентраций взвеси в водах Южного и Индийского океанов.

Т а б л и ц а 5  
T a b l e 5

**Концентрация взвеси, мг/л, в поверхностных водах  
Южного и Индийского океанов**  
**Suspended matter concentration, mg/l, in the surface waters  
of the South and Indian oceans**

Взвесь / Suspended matter	Южный океан / South Ocean	Индийский океан / Indian Ocean
Суммарная / Total	0,416–1,062	0,364–0,938
Органическая / Organic	0,292–0,830	0,316–0,725
Минеральная / Mineral	0,068–0,279	0,038–0,213

**З а к л ю ч е н и е**

По измерениям индикатрис рассеяния света в Южном океане в районе  $20^{\circ}$  в. д.,  $37^{\circ}$ – $55^{\circ}$  ю. ш. (январь – февраль 1975 г.) выполнено следующее:

- 1) получены данные не только о массовой концентрации суммарной взвеси, но и о концентрации ее органической и минеральной фракций;
- 2) рассмотрены особенности распределения с глубиной концентрации органической взвеси в районах подъема, опускания вод и без признаков вертикального движения вод;
- 3) установлена связь суммарной массовой концентрации взвеси с показателем рассеяния в поверхностных водах;
- 4) проведено сравнение полученных данных о концентрации взвеси и хлорофилла с литературными данными об этих характеристиках в данном районе Мирового океана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маньковский В. И.* Оптические характеристики вод южной части Атлантического океана в районе 20° восточной долготы, 37°–55° южной широты // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 6. С. 61–70. EDN ТЕСВАД.
2. Spring development of phytoplankton biomass and composition in major water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean / U. V. Bathmann [et al.] // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 1997. Vol. 44, iss. 1–2. P. 51–67. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(96\)00063-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(96)00063-X)
3. *Bracher A. U., Tilzer M. M.* Underwater light field and phytoplankton absorbance in different surface water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean // Polar Biology. 2001. Vol. 24, iss. 9. P. 687–696. <https://doi.org/10.1007/s003000100269>
4. *Laubscher R. K., Perissinotto R., McQuaid C. D.* Phytoplankton production and biomass at frontal zones in the Atlantic sector of the Southern Ocean // Polar Biology. 1993. Vol. 13, iss. 7. P. 471–481. <https://doi.org/10.1007/BF00233138>
5. *Read J. F., Pollard R. T., Bathmann U.* Physical and biological patchiness of an upper ocean transect from South Africa to the ice edge near the Greenwich Meridian // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2002. Vol. 49, iss. 18. P. 3713–3733. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00108-X)
6. Mesoscale frontal dynamics: shaping the environment of primary production in the Antarctic Circumpolar Current / V. H. Strass [et al.] // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2002. Vol. 49, iss. 18. P. 3735–3769. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00109-1)
7. *Sosik H. M., Olson R. J.* Phytoplankton and iron limitation of photosynthetic efficiency in the Southern Ocean during late summer // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2002. Vol. 49, iss. 7. P. 1195–1216. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(02\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00015-8)
8. *Wulff A., Wängberg S.-Å.* Spatial and vertical distribution of phytoplankton pigments in the eastern Atlantic sector of the Southern Ocean // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2004. Vol. 51, iss. 22–24. P. 2701–2713. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2001.01.002>
9. *Демидов А. Б., Ведерников В. И., Шеберстов С. В.* Пространственно-временная изменчивость хлорофилла «а» в Атлантическом и Индийском секторах Южного океана в феврале-апреле 2000 г. по спутниковым и экспедиционным данным // Океанология. 2007. Т. 47, № 4. С. 546–558. EDN HFUGHE.
10. *Чурин Д. А., Гулюгин С. Ю.* Особенности сезонной динамики хлорофилла *a* в связи с абсолютной динамической топографией Антарктической части Атлантики // Труды ВНИРО. 2017. Т. 169. С. 117–125. EDN YRGPDS.
11. *Шифрин К. С.* Введение в оптику океана. Л. : Гидрометеоздат, 1983. 278 с.

### *Об авторах:*

**Маньковский Виктор Иванович**, старший научный сотрудник, отдел оптики и биофизики моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4272-2218**, **ResearcherID: I-5460-2015**, [mankovskiy@mhi-ras.ru](mailto:mankovskiy@mhi-ras.ru)

**Маньковская Екатерина Викторовна**, старший научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4086-1687**, **ResearcherID: AAB-5303-2019**, [emankovskaya@mhi-ras.ru](mailto:emankovskaya@mhi-ras.ru)