

В. Н. АНУЧИН, Ю. Г. ПЫРКИН, П. М. СТЕПУНИН

## О СУТОЧНОМ ХОДЕ ПРОЗРАЧНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ

Прозрачность морской воды, как и остальные ее характеристики (температура, скорость течения и др.), является функцией координат и времени. Известно, что прозрачность воды Азовского моря по сравнению с другими морями весьма низка. Это определяется волнением, захватывающим всю толщу моря и подымающим со дна частицы ила, изобилием растительного и животного планктона и выносом в море реками большого количества взвешенных частиц. В разное время эти факторы действуют по-разному. В периоды штормов определяющим может быть волнение, в паводок — вынос взвесей реками и т. д. Кроме того, изменение прозрачности морской воды по вертикали и во времени может определяться изменениями уровня моря, в частности сейшевыми колебаниями.

В этой заметке исследовано вертикальное распределение и изменение во времени на различных горизонтах прозрачности морской воды в Азовском море.

Экспедиционные работы проводились с 24 по 26 августа 1971 г. с борта н. и. с. «Московский университет» в центральной части Азовского моря (координаты станции:  $46^\circ$  с. ш. и  $37^\circ$  в. д.). Глубина моря в месте измерения составляла 13,2 м. Прозрачность морской воды измерялась с интервалом времени между измерениями в один час на горизонтах 3, 5, 6, 7 и т. д. через один метр до дна. Регистрация прозрачности морской воды велась с помощью прозачномера (разработанного и изготовленного на кафедре физики моря и вод суши) [1]. В приборе сигнал с датчика (фотодиода) преобразовывался в импульсную форму таким образом, чтобы частота следования импульсов была пропорциональна прозрачности. В качестве регистратора использовался электромеханический счетчик числа импульсов.

На рис. 1 приведены примеры характерных кривых поглощения света морской водой, построенных по данным измерений на различных горизонтах по глубине. Из

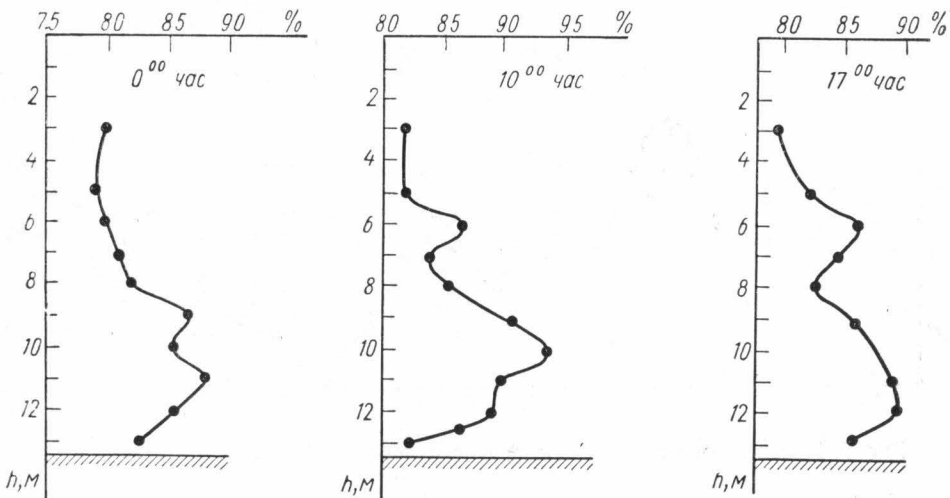


Рис. 1. Характерные вертикальные профили прозрачности морской воды, полученные 25 августа 1971 г.

рассмотрения графиков видно, что прозрачность морской воды, оставаясь относительно постоянной в верхнем слое (до 5—7 м), затем увеличивается и снова уменьшается в придонной области. Это уменьшение прозрачности начинается, как правило, с горизонта 12 м и особенно резко происходит на расстоянии 20—30 см от дна.

Полученные вертикальные профили прозрачности морской воды показывают, что в данной точке и в данное время прозрачность вод Азовского моря в верхних слоях ниже, чем в нижних слоях. По-видимому, это связано с проникновением в Азовское море через Керченский пролив более плотных и прозрачных черноморских вод, рас-

пространяющихся вдоль дна. Резкое уменьшение прозрачности у самого дна может быть обусловлено либо наличием придонных мутьевых потоков, либо присутствием у дна взвешенного ила, что при малой глубине моря могло быть вызвано штормом, который предшествовал измерениям.

Полученные материалы наблюдений почти за двое суток позволяют проследить за изменением прозрачности морской воды во времени. Для анализа были построены графики зависимости прозрачности от времени на всех горизонтах. Анализ данных наблюдений показал, что колебания прозрачности морской воды во времени происходят относительно некоторого среднего значения. Среднее значение прозрачности и амплитуда ее колебаний различны на разных горизонтах. На горизонте 8 м колебания минимальны и возрастают с увеличением и уменьшением глубины.

Численные расчеты скрытых периодичностей в процессе изменения прозрачности морской воды во времени были проведены на горизонтах 5—6 м и 11—12 м. Для уменьшения влияния случайных факторов значения прозрачности на этих горизонтах были попарно осреднены. Расчеты показали, что колебания прозрачности в слое 5—6 м и 11—12 м могут быть аппроксимированы одной и той же функцией времени:

$$F(t) = F_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_i t + \varphi_i). \quad (1)$$

Величины  $F_0$  и  $a_i$  для разных горизонтов различны. Если учесть зависимость  $F_0$  и  $a_i$  от глубины, то можно считать, что временной ход прозрачности на любом горизонте может быть записан в виде

$$F(t, z) = F_0(z) + \sum_{i=1}^n a_i(z) \cos(\omega_i t + \varphi_i). \quad (2)$$

В общем случае  $\varphi_i$  может зависеть от величины  $z$ , однако для выбранных горизонтов (5—6 м и 11—12 м) эта величина, как показали расчеты, не зависит от глубины.

На рис. 2 сплошной кривой показан ход аппроксимирующей функции, рассчитанной по формуле (1), точками — экспериментально измеренные значения прозрачности морской воды.

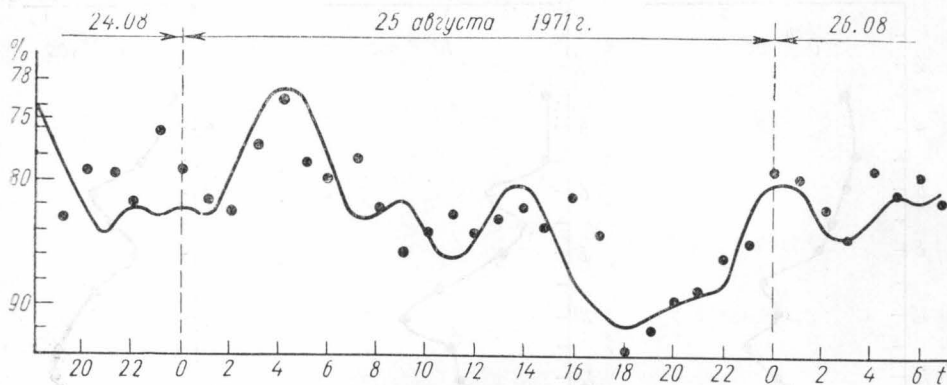


Рис. 2. Изменение во времени прозрачности морской воды на горизонте 5—6 м

Значения величин, входящих в формулу (1), приведены в таблице.

| $i$ | Слой 5—6 м ( $F_0=18\%$ ) |                   |             | Слой 11—12 м ( $F_0=14\%$ ) |                   |             |
|-----|---------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------------|-------------|
|     | $a_i, \%$                 | $Ti, \text{ час}$ | $\varphi_i$ | $a_i, \%$                   | $Ti, \text{ час}$ | $\varphi_i$ |
| 1   | 4                         | 48                | 0           | 5                           | 48                | 0           |
| 2   | 4                         | 24                | 13/12       | 4                           | 24                | 13/12       |
| 3   | 4                         | 10                | 0           | 4                           | 10                | 0           |
| 4   | 2                         | 5                 | 0           | 3                           | 5                 | 0           |

Данные расчета свидетельствуют о том, что колебания прозрачности на горизонтах 5—6 м и 11—12 м происходят с одинаковыми периодами и фазами, т. е. вся толща воды колеблется как одно целое. Однако весьма малые значения амплитуды колебаний прозрачности вблизи горизонта 8 м наводят на мысль о возможности построения двухслойной модели моря.

В заключение следует отметить, что периоды колебаний порядка тех, которые были получены при аппроксимировании экспериментальных данных функцией (1), близки к периодам сейшевых колебаний, наблюдающихся в Азовском море [2, 3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Современная аппаратура для океанографических исследований. Севастополь, 1970.
2. Березкин В. А. Динамика моря. Свердловск—Ленинград, Гидрометеоздат, 1947.
3. Гидрометеорологические характеристики Азовского моря. М.—Л., Гидрометеоздат, 1947.

Поступила в редакцию  
22.3 1972 г.

Кафедра  
физики моря и вод суши

УДК 621.378.325

А. Я. ТЕРЛЕЦКИЙ

## УЧЕТ НЕИДЕАЛЬНОСТИ ЗЕРКАЛ В ТЕОРИИ ОКГ

В теории ОКГ, развитой в известной работе У. Лемба [1], реальный резонатор с неидеально отражающими зеркалами заменен, для упрощения задачи, резонатором с идеально отражающими зеркалами, но заполненным искусственно вводимой поглощающей средой, создающей поглощение, эквивалентное потерям на неидеальных зеркалах. Однако такое упрощение не совсем справедливо, особенно при рассмотрении работы лазера в магнитном поле. Поэтому, для правильного учета граничных условий, имеет смысл рассмотреть реальный резонатор с зеркалами, имеющими неполное отражение.

Запишем для плоских, монохроматических и линейно поляризованных волн, распространяющихся вдоль продольной оси  $z$  такого резонатора, волновое уравнение:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + k^2 E = 0. \quad (1)$$

Для того чтобы удовлетворить условиям на границах зеркал, ищем решение в виде суммы двух волн, распространяющихся в противоположных направлениях, т. е.:

$$E = \mathcal{E}_1 e^{i(\omega t - kz)} + \mathcal{E}_2 e^{i(\omega t + kz)}. \quad (2)$$

Выберем начало отсчета координаты  $z$  в центре резонатора длиной  $L$ . Поскольку зеркала с пропусканием, то на границах резонатора, при  $z=L/2$  и  $z=-L/2$ , имеем

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_2 e^{ikL/2} &= \mathcal{E}_1 e^{-ikL/2} R_1, \\ \mathcal{E}_1 e^{ikL/2} &= \mathcal{E}_2 e^{-ikL/2} R_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $R_{1,2} = \frac{n - n_{1,2}}{n + n_{1,2}}$  — коэффициенты отражения зеркал в среду,  $n$  — показатель преломления среды и  $n_{1,2}$  — показатель преломления зеркал. Отсюда

$$e^{2ikL} = R_1 R_2. \quad (4)$$

Если отражение неидеальное, то условие (4) удовлетворяется лишь при комплексном  $k = k' + ik''$ . Тогда можно привести (4) к виду:

$$\cos 2k'L + i \sin 2k'L = R_1 R_2 e^{2k''L}, \quad (5)$$

где

$$k' = \operatorname{Re} \left( \frac{\omega}{c} n \right), \quad k'' = \operatorname{Im} \left( \frac{\omega}{c} n \right).$$