

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ФЛУКТУАЦИЙ ПРОЗРАЧНОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Е.В. Маньковская, В.И. Маньковский

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: emankovskaya@mail.ru

Рассматривается информационная технология расчета параметров крупнодисперсной взвеси (концентрации и среднего размера частиц) по измерениям флуктуаций показателя ослабления направленного света.

При исследовании процессов взмучивания и транспорта донных наносов в море необходима информация о параметрах дисперсной среды. Одним из способов определения параметров крупной взвеси в морской воде может служить метод измерения показателя ослабления направленного света и его флуктуаций [1, 2]. Суть метода заключается в том, что если через дисперсную среду проходит направленный пучок света небольшого диаметра, то, вследствие хаотичного перемещения частиц, обусловленного турбулентностью в воде, их число в пучке варьирует, и возникают флуктуации прозрачности среды.

Теория явления показывает, что оптическая плотность среды $\tau_{взв}$ и дисперсия ее прозрачности D связаны со средним размером и концентрацией частиц [1, 2]:

$$s_0 = \frac{D}{I_0^2} \cdot \frac{S\tau_{взв}}{\varphi(\tau_{взв})}; r = \sqrt{s_0/\pi}; \quad (1)$$

$$n = \frac{\tau_{взв}}{Ls_0}; \tau_{взв} = \ln \frac{I_0}{\langle I \rangle},$$

где s_0 – средняя площадь поперечного сечения частиц; D – дисперсия интенсивности пучка света за время измерений; I_0 – начальная интенсивность светового пучка, проходящего через дисперсную среду; S – площадь поперечного сечения пучка света, проходящего через дисперсную среду; $\tau_{взв}$ – средняя оптическая плотность частиц в пучке света; $\varphi(\tau_{взв})$ – специальная функ-

ция (рассчитывается теоретически и задается в виде таблицы [2]); r – средний радиус частиц; n – количество частиц данного радиуса; L – расстояние, проходимое пучком света в дисперсной среде; $\langle I \rangle$ – средняя за время измерений интенсивность пучка света, прошедшего через дисперсную среду.

Для реализации данного метода в Морском гидрофизическом институте НАН Украины в отделе гидрофизики шельфа совместно с отделом оптики моря создан специальный прозрачномер, входящий в состав измерительного комплекса «Донная станция». Его технические характеристики:

– длина волны света излучателя $\lambda = 650$ нм;

– диаметр пучка света в воде $d = 1,5$ мм;

– длина оптической базы $L = 0,2$ м;

– частота измерений $f = 100$ Гц.

Расчетные формулы (1), используемые в методе флуктуаций, выведены для случая, когда в дисперсной среде, через которую проходит луч света прозрачномера, ослабляют свет только находящиеся в среде частицы, а сама среда является однородной и свет не ослабляет. В случае, когда средой является морская вода, ослабление света происходит за счет:

1) самой воды, которая существенно ослабляет свет, особенно в длинноволновой области, где производятся измерения флуктуаций прозрачности дисперсной среды;

2) наличия растворенного органического вещества (желтого вещества);

3) наличия в воде взвеси, состоящей из мелких и крупных частиц.

В целом, оптическая плотность морской воды представляет собой сумму оптических плотностей составляющих ее веществ:

$\tau_{вода} = \tau_{ч.в} + \tau_{жв} + \tau_{кр.вз} + \tau_{м.вз}$, где индексы означают ч.в – чистая вода, жв – желтое вещество, кр.вз – крупная взвесь, м.вз – мелкая взвесь.

Оптическая плотность чистой воды считается величиной постоянной. Желтое вещество растворено в воде равномерно. То есть эти компоненты морской воды на флуктуации ее прозрачности не влияют. Не влияют на флуктуации прозрачности морской воды и мелкие частицы (радиусы менее 2 мкм), которых в воде очень много (порядка $10^7 - 10^8$ шт/л) и они распределе-

ны в воде практически равномерно. Небольшие изменения их численности в световом пучке будут слабо сказываться на его ослаблении вследствие того, что площади поперечного сечения мелких частиц на несколько порядков меньше площади сечения зондирующего пучка света. Флуктуации прозрачности воды вызывают крупные частицы с радиусами порядка 10 мкм и более.

Прозрачномер измеряет суммарную оптическую плотность всех веществ, составляющих морскую воду, из которой информативной для метода флуктуаций является лишь оптическая плотность крупной взвеси $\tau_{кр.вз.}$. Оптическая плотность других веществ составляет не флуктуирующий «оптический фон» $\tau_{фон} = \tau_{ч.в} + \tau_{жв} + \tau_{м.вз.}$, который необходимо вычитать: $\tau_{кр.вз.} = \tau_{вода} - \tau_{фон}$. Для учета фона при обработке измерений флуктуаций прозрачности морской воды предлагается использовать следующую методику.

Во время измерения флуктуаций прозрачномер регистрирует максимальные значения прозрачности воды, которые характеризуют не флуктуирующий «оптический фон». Эти максимальные значения используются для расчета оптической плотности фона, которая вычитается из измеренной оптической плотности морской среды, и в результате определяется оптическая плотность среды, состоящей из крупной взвеси.

Предложенная методика положена в основу информационной технологии обработки измерений флуктуаций показателя ослабления направленного света для определения параметров крупной взвеси. Алгоритм информационной технологии строится следующим образом. В алгоритме, вместо яркости пучка света I , входящего в формулы (1), фигурирует эквивалентная величина – напряжение V на выходе прозрачномера: $V_0 \sim I_0$, $V \sim I$. В алгоритме приводятся конечные формулы, полученные из (1) путем учета «оптического фона».

Шаг 1. Берется ряд измеренных значений $V_{i,вода}$ флуктуаций показателя ослабления света, содержащий N отсчетов.

Шаг 2. Рассчитывается среднее значение сигнала $\langle V_{вода} \rangle = \sum_{i=1}^N V_{i,вода} / N$.

Шаг 3. Находится максимальная величина сигнала в измеренном спектре $V_{вода\max}$.

Шаг 4. Определяется оптическая плотность крупной взвеси

$$\begin{aligned} \tau_{кр.вз.} &= \tau_{вода} - \tau_{фон} = \\ &= \ln(V_0 / \langle V_{вода} \rangle) - \ln(V_0 / V_{вода\max}) = \\ &= \ln(V_{вода\max} / \langle V_{вода} \rangle). \end{aligned}$$

Шаг 5. Измеренный ряд значений $V_{i,вода}$ пропускается через фильтр скользящего среднего для удаления низкочастотных составляющих (тренд и статистически необеспеченные данные). Получается новый ряд значений $V_{i,вода}^*$.

Шаг 6. Вычисляется дисперсия фильтрованного сигнала

$$D_{вода} = \sum_{i=1}^N (V_{i,вода}^*)^2 / N.$$

Шаг 7. Вычисляется средняя площадь поперечного сечения частиц крупной взвеси

$$S_0 = \frac{D_{вода}}{V_{вода\max}^2} \cdot \frac{S \tau_{кр.вз.}}{\varphi(\tau_{кр.вз.})}, \text{ мкм}^2.$$

Шаг 8. Рассчитывается средний радиус частиц $r = \sqrt{S_0 / \pi}$, мкм.

Шаг 9. Определяется концентрация частиц $n = \frac{\tau_{кр.вз.}}{L S_0}$, шт/мкм³. Концентрация

частиц пересчитывается в общепринятую в океанографии величину шт/литр из соотношения $1 \text{ дм}^3 = 10^{15} \text{ мкм}^3$.

Информационная технология реализована в среде Borland Delphi 6.0 на языке программирования Object Pascal. Интерфейс программного модуля с примером обработки измеренных данных представлен на рисунке 1.

С помощью разработанной информационной технологии обработаны данные измерений флуктуаций прозрачности, полученные при постановке измерительного комплекса «Донная станция» в районе г. Евпатория в октябре 2007 г. На рисунке 2 приведены расчетные параметры крупной взвеси для тихой и штормовой погоды. Видно, что средний размер взмучиваемых частиц во время шторма в несколько раз превышает таковой в условиях отсутствия волнения.

Дата	Время	Число отсчетов	Радиус, мкм	Кол-во, тыс.шт/л
18.10.2007	15:45:00	73787	252,35599	16,3098
18.10.2007	16:03:00	65785	274,31865	10,1364
18.10.2007	16:14:00	66282	246,25878	11,0595
18.10.2007	16:26:00	65677	257,48218	13,4631
18.10.2007	16:37:00	69619	231,07955	13,1231
18.10.2007	16:49:00	66065	232,10777	14,7585

Рисунок 1 – Интерфейс программного модуля

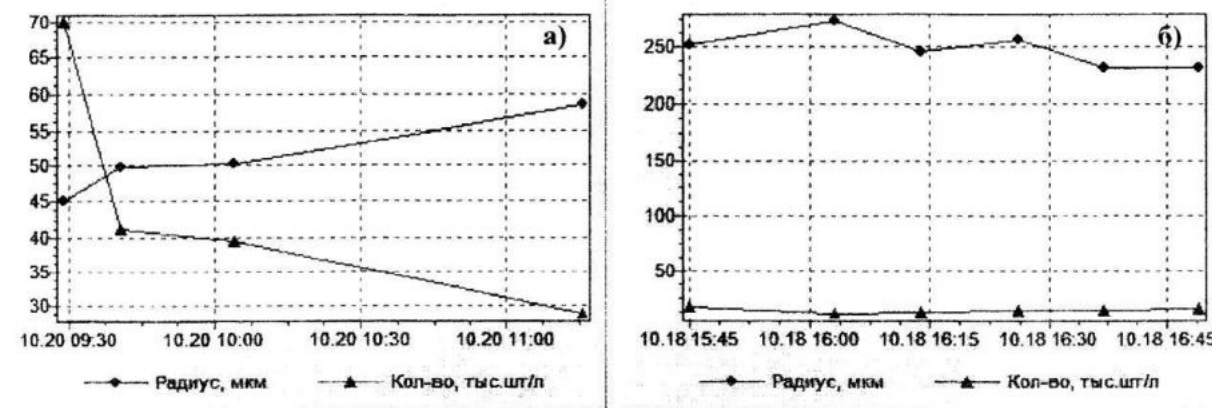


Рисунок 2 – Средний радиус и количество частиц данного радиуса в спокойную (а) и штормовую (б) погоды

В таблице 1 приведены сравнительные данные о параметрах крупной взвеси, рассчитанные без учета «оптического фона» и с его учетом вышеописанным методом. Без учета фона средний радиус частиц крупной взвеси оказывается значительно заниженным: во время шторма в 1,78 раза, в спокойную погоду в 2,62 раза.

кояную погоду в 2,62 раза. В то же время массовая концентрация взвешенных крупных частиц (при их вероятной плотности 2 г/см^3) получается без учета фона при шторме завышенной в 1,36 раза, а в спокойную погоду в 2,14 раза.

Таблица 1 – Сравнительные данные расчетных параметров взвешенных крупных частиц с учетом и без учета «оптического фона»

Метод	Средний радиус, мкм		Количество, млн.шт/л		Массовая концентрация, г/л	
	шторм	штиль	шторм	штиль	шторм	штиль
С учетом фона	252,4	107,9	0,0163	0,0268	2,2	0,28
Без учета фона	141,6	41,2	0,1265	1,018	3,0	0,6

Выводы. Разработана информационная технология обработки измерений флуктуаций прозрачности морской среды для определения параметров крупной взвеси (среднего радиуса и концентрации частиц). Информационная технология основана на теоретических положениях метода флуктуаций и предложенной методике учета «оптического фона». Технология принята для обработки данных прозрачномера в составе измерительного комплекса «Донная станция».

Литература

1. К.С. Шифрин. Определение характеристик дисперсной среды по данным о ее прозрачности / К.С. Шифрин, Б.З. Мороз, А.Н. Сахаров // ДАН СССР. – 1971. – Т.199. – № 3. – С. 581 – 598.
2. К.С. Шифрин. Введение в оптику океана / К.С. Шифрин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – С. 219 – 227.