

А.А.Латушкин, А.В.Ярина

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ПОД УГЛОМ 180°

Рассматривается новый метод измерения показателя обратного рассеяния. Предлагаются пути решения проблем фоновой засветки и ограничения длины рассеивающего объема. Приводится оптическая схема прибора, обеспечивающего корректное измерение рассеянного излучения в области углов, близких к 180°, а также результаты тестовых измерений показателя рассеяния в области углов от 175 до 180°.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *обратное рассеяние, нефелометр.*

В настоящее время активно используются оптические методы для определения количественного и качественного состава морской взвеси. Среди них широкое применение получило использование измерений рассеяния света. Точность оптических измерений может быть повышена при использовании дополнительной информации о рассеянии света. Исследования особенностей рассеяния на частицах биологического происхождения позволяют корректно решать обратные задачи гидрооптики и создавать реалистичные оптические модели верхних слоев океана, необходимые для интерпретации данных дистанционного зондирования поверхности моря из космоса в видимом диапазоне спектра.

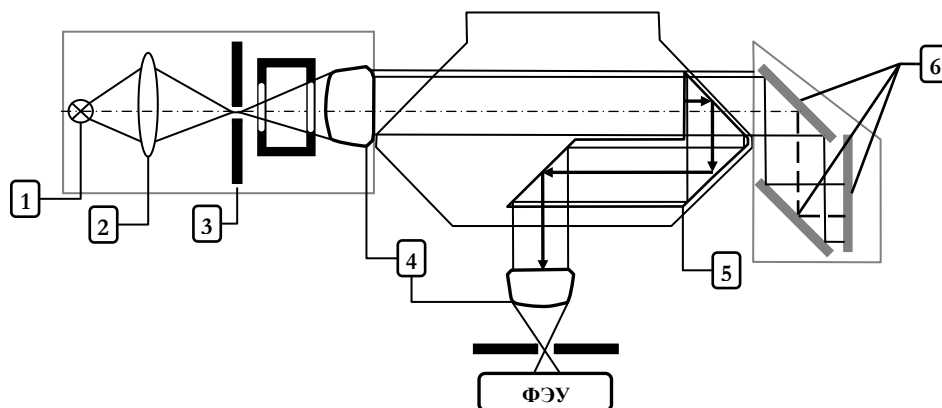
Для получения более полной информации о рассеивающих свойствах морской среды необходимо проводить измерения в максимально возможном угловом диапазоне. На данный момент существует большое количество приборов, для измерения рассеяния света, с разным диапазоном углов, но все они не превышают угла 177,6°.

В Морском гидрофизическом институте (МГИ) НАН Украины был разработан полярный нефелометр [1], который позволил обеспечить измерения индикатрисы рассеяния с большой точностью и в широком диапазоне углов (от 0,5 до 177,6°). Такая универсальность достигается за счет следующих особенностей:

1. Развёртка по углу в нефелометре происходит путём вращения специальной стеклянной призмы (рис.1) вокруг оси светоприёмного устройства, перпендикулярной плоскости сканирования и проходящей через центр рассеивающего объёма. В результате чего осветитель и светоприёмное устройство нефелометра остаются неподвижными в процессе измерений.

2. Для решения проблемы перепада интенсивности принимаемого излучения используется метод управляемого многоступенчатого регулирования чувствительности фотоумножителя.

3. Рассеивающий объем ограничивается световой ловушкой, состоящей из трех полированных поглощающих стеклянных пластинок, расположенных под углом 45° к оптической оси. При такой схеме поглощается большая часть



Р и с . 1 . Полярный нефелометр. Схема измерения индикатрисы рассеяния: лампа накаливания (1), конденсор (2), полевая диафрагма (3), иллюминатор (4), перископическая призма (5), поглощающие пластины (6).

прямого излучения, падающего на полированные пластинки, а величина паразитного отраженного излучения уменьшается до пренебрежимо малого уровня.

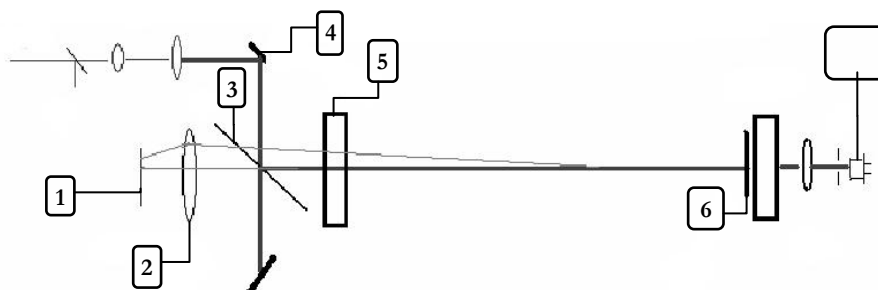
Максимальный угол измерения индикатрисы рассеяния ограничивается $177,6^\circ$ и определяется поперечными размерами перископической призмы, которая перекрывает выходящий из источника световой пучок.

Ранее были предприняты попытки измерить рассеяние в обратных углах. В работе Агравела и Микельсена [2] предложена схема прибора, позволяющего измерять индикатрису рассеяния в области обратных углов.

После отражения от зеркала и светоделительной пластины, луч выходит через герметизирующее окно и входит в воду. Луч проходит через фильтр с нейтральной плотностью, иллюминатор, фокусируется линзой и регистрируется фотодиодом.

Рассеянный назад свет собирается линзой и регистрируется матрицей. Она действует как 2-D детектор в фокальной плоскости принимающей линзы.

Однако в данной схеме имеются недостатки:



Р и с . 2 . Оптическая схема прибора Агравела: матрица CMOS (1), линза (2), светоделительная пластина (3), зеркало (4), иллюминатор (5), нейтральный фильтр (6), фотодиод (7).

1. При приближении к 180° происходит резкое увеличение длины рассеивающего объема. Возникающее в результате многократное рассеяние лучей приводит к большой погрешности в результатах измерений. При попытке ограничить длину рассеивающего объема путем установки поглощающих пластин на определенном расстоянии по ходу луча появляется большая фоновая засветка для обратных направлений, возникающая из-за частичного отражения излучения от поверхности пластин. Этот сигнал зачастую превышает измеряемое рассеянное излучение.

2. Светоделительная пластина устанавливается вне рассеивающего объема, что приводит к большим ошибкам измерений, связанным с прохождением лучей через стекла иллюминаторов и их частичным отражением.

Целью нашей работы являлось измерение рассеяния в области углов близких к 180° . Для этого был модернизирован полярный нефелометр, разработанный в МГИ [1]. Вместо перископической призмы было установлено светоделительное стекло марки ТФ10 с показателем преломления 1,806. Также была установлена дополнительная световая ловушка. В результате была получена следующая оптическая схема (рис.3).

Свет, идущий из осветителя, проходит через светоделительное стекло, расположенное по ходу луча под углом 45° внутри рассеивающего объема. При этом часть света (11,2%) отражается и улавливается ловушкой (рис.4, а). Рассеивающий объем ограничивается тремя поглощающими пластинами, отводящими остаточное отраженное излучение за границы рассеивающего объема.

Рассеянное излучение, идущее в обратном направлении, частично отражается от стекла и попадает в приемник (рис.4, б). При этом появляется проблема фоновой засветки, возникающей из-за рассеяния под углом 90° в вертикальной плоскости (рис.4, в). Несмотря на то, что рассеивающий объем в данном случае много меньше объема, рассеивающего под углом 180° , этот сигнал необходимо учитывать, так как в приемник попадает только 10 % рассеянного в обратном направлении света и 90 % света, рассеянного под углом 90° .

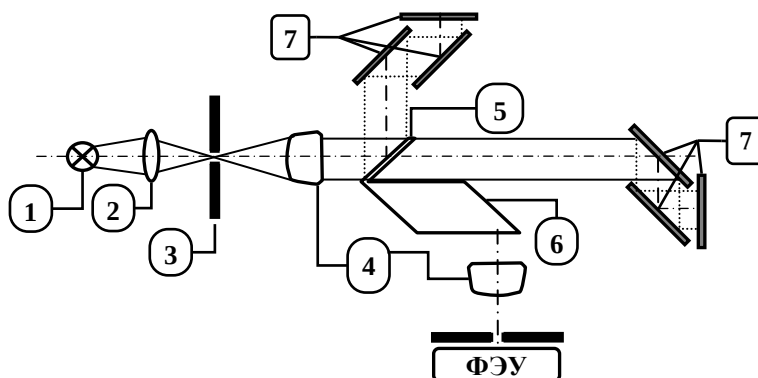
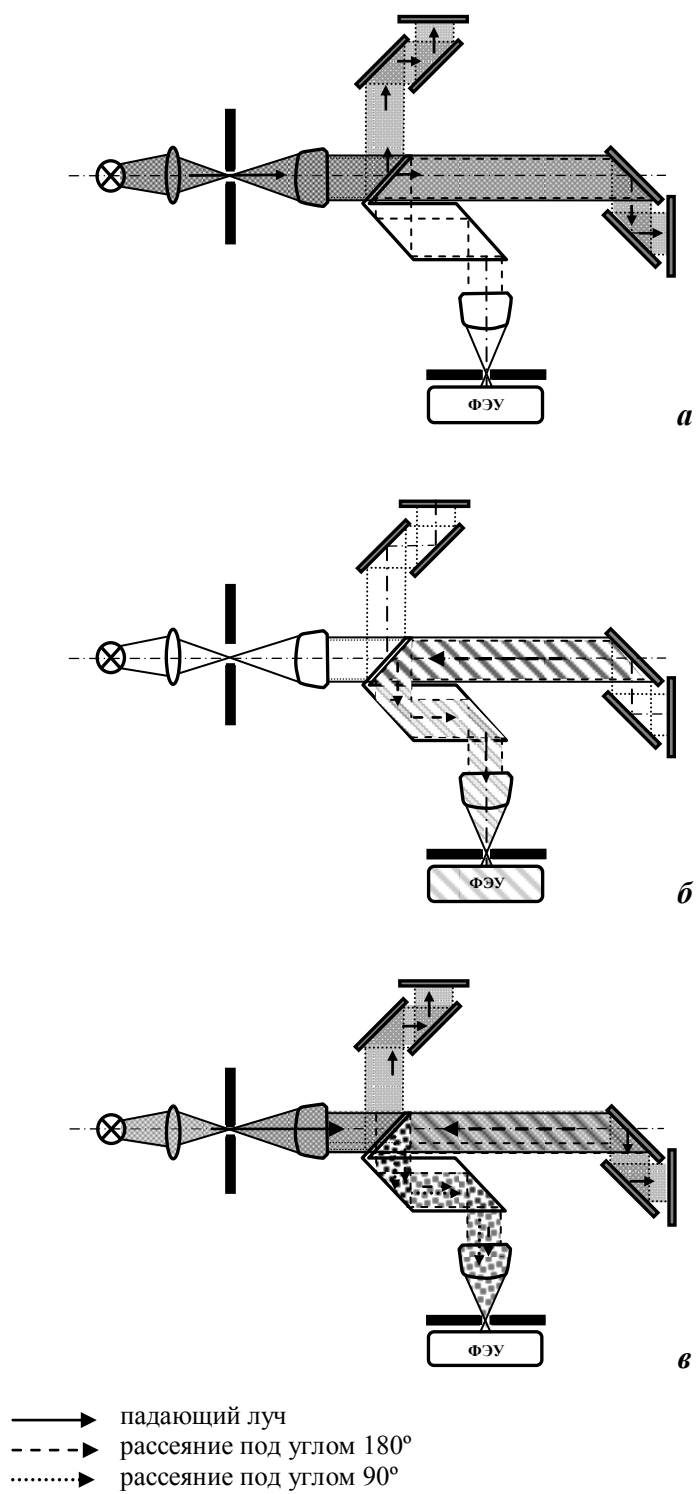


Рис.3. Схема прибора для измерения обратного рассеяния: лампа накаливания (1), конденсор (2), полевая диафрагма (3), иллюминатор (4), светоделительная пластина (5), призма (6), поглощающие пластины (7).



Р и с . 4 . Схема измерения индикатрисы рассеяния: падающий луч (а), рассеяние под углом 180° (б), рассеяние под углом 90° (в).

Для тестирования работы прибора использовались образцы чистой воды и растворов препарата «МААЛОХ» в различных концентрациях, с использованием перископической призмы и светоделительной пластины. Также были проведены дополнительные измерения для определения рассеяния под углом 90° в вертикальной плоскости.

На качество получаемых результатов сильно влияет точность расчета рассеивающего объема, так как он в процессе измерений постоянно меняется сложным образом, особенно в непосредственной близости к обратному направлению в углах близких к 180° . На рис.5 даны результаты расчетов рассеивающего объема для случая обратных углов и угла 90° в вертикальной плоскости.

Были проведены расчеты показателя рассеяния по формуле [1]:

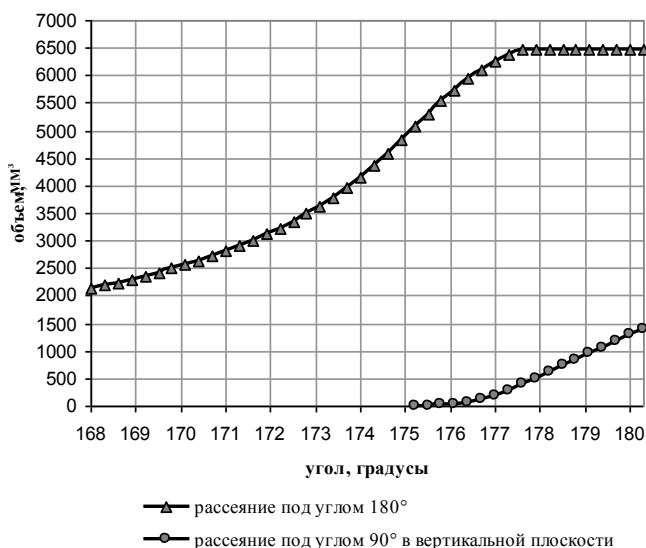
$$b(\theta) = F(\theta)S / F_o\Omega V(\theta)$$

где $F(\theta)$ – поток излучения, рассеянный объемом $V(\theta)$ в направлении θ ; S – площадь поперечного сечения падающего пучка света; F_o – падающий световой поток; θ – телесный угол поля зрения приемника света; $V(\theta)$ – рассеивающий объем.

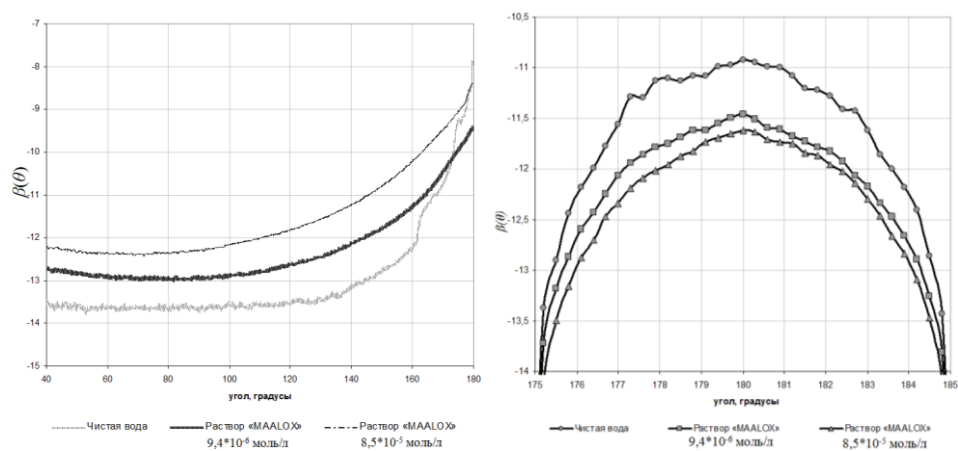
После некоторых преобразований были построены кривые зависимости показателя рассеяния от угла в диапазоне от 40° до 180° (рис.6).

Следует отметить, что в ходе эксперимента проверялась стабильность работы прибора путем повторных измерений образцов вод. Проверка показала, что для однотипных вод кривые совпадают.

Полученные результаты позволяют утверждать, что первые испытания прибора прошли успешно.



Р и с . 5 . Рассчитанный рассеивающий объем в зависимости от угла рассеяния.



Р и с . 6 . Результаты измерений показателя рассеяния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли М.Е., Мартынов О.В., Шибанов Е.Б. Новые принципы измерения индикатрисы рассеяния в широком диапазоне углов // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.8.– С.194-211.
2. Agrawal Y.C., Mikkelsen O.A. LISST-Back observations of near-p scattering: Studies on contrast between mono-disperse spheres and random shaped grains. [ftp://ocean.e.obs-vlfr.fr/pub/doxaran/OOXIX_08/pdf/OO080436.pdf](http://ocean.e.obs-vlfr.fr/pub/doxaran/OOXIX_08/pdf/OO080436.pdf).

Материал поступил в редакцию 15.10.2010 г.