

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ РАССЕЯНИЯ СВЕТА МОРСКОЙ ВОДОЙ В МАЛЫХ УГЛАХ

И.А. Калинин, О.В. Мартынов

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

В статье дается описание лабораторной установки для измерений спектров рассеяния проб воды в угловом диапазоне от $0,5^\circ$ до $1,5^\circ$. Приводятся принципы работы и полученные технические характеристики устройства, и некоторые результаты исследований спектров рассеяния.

В настоящее время все более широко применяются оптические методы определения количественного и качественного состава морской взвеси. Эти методы, основанные на измерениях характеристик рассеяния света морской водой, более экспрессные и менее трудоемки, чем традиционные анализы (микроскопический, стандартные биологические определения), однако точность оптических методов значительно ниже традиционных. Известно, что привлечение дополнительной спектральной информации повышает точность оптических определений [1]. Поэтому исследования спектральных особенностей рассеяния на частицах биологического происхождения даст возможность более корректно решать обратные задачи гидрооптики и дистанционного зондирования и являются актуальными.

Для решения такого рода задач так же необходимо наличие качественной модели, описывающей рассеяние во всём угловом диапазоне. Теоретический анализ особенностей поглощения доказывает влияние спектральных полос поглощения света взвешенными в воде частицами на спектральные свойства рассеяния [2], однако экспериментально такую зависимость удалось получить только для углов рассеяния близких к 90° [3].

С целью выяснения спектральных особенностей рассеяния в области малых углов в отделе оптики моря МГИ НАН Украины была разработана и изготовлена установка для измерений спектров рассеяния проб воды в угловом диапазоне от $0,5^\circ$ до $1,5^\circ$. В

основу работы установки заложена классическая схема малоуглового метода измерения рассеяния [4]. Но в отличие от классического метода с целью повышения точности получаемых результатов в ней применен двухлучевой принцип измерений. Введен узел сканирования по спектру с помощью зеркально-призменного монохроматора SPM-1 фирмы «Карл-Цейс-Йена», выполненного по оптической схеме Вудворта. Вместо передвижения громоздкого узла фотоумножителя использовано перемещение диафрагмы особой формы, применена специальная оптическая схема, которая снижает фон от лучей переотражённых на элементах системы.

Функциональная схема установки приведена на рисунке 1. Спираль галогенной лампы накаливания расположена в фокусе входного длиннофокусного объектива. Перед лампой установлена диафрагма, устраняющая блики от баллона и контейнера лампы. С помощью входной диафрагмы и объектива формируются одинаковые параллельные пучки света ограниченных размеров, которые проходят через образцовую и исследуемую среды соответственно. Входная диафрагма расположена таким образом, чтобы сформированные пучки шли со смещением от оси входного объектива. В этом случае после прохождения через объективы переотражённые внутри них лучи отклоняются в сторону от направления прямого пучка и поглощаются стенками кювет. Выходной объектив фокусирует свет, прошедший через кюветы, в плоскости перемещаемой диафрагмы, после которой свет попадает на входную щель монохроматора и далее на фотокатод фотоумножителя. Переключение световых пучков производится обтюратором. Форма перемещаемой диафрагмы показана в верхнем правом углу рисунка 1. Ее перемещение осуществляется шаговым двигателем и позволяет проводить измерения, как прямого света, так и рассеянного в диапазоне углов $0,5^\circ$ – $1,5^\circ$ с шагом $8'$. При измерениях рассеяния на пути прямых лучей для уменьшения засветок устанавливается дополнительная световая ловушка.

Следует отметить, что при сканировании по спектру, интенсивность излучения, падающего на катод фотоумножителя, может меняться в процессе измерений в очень широких пределах - до 10^5 и более раз.

Чтобы обеспечить работу установки при таких перепадах облученностей, фотоумножитель охвачен отрицательной обратной связью по цепи питания. В результате чувствительность фотоумножителя непрерывно подстраивается под абсолютную величину падающего излучения путем автоматического поддержания среднего выходного тока фотоумножителя на заданном оптимальном уровне. При этом в течение одного оборота обтюлятора можно считать,

что коэффициент передачи для каждого из сигналов остается одинаковым, а сквозная характеристика линейной. В связи с тем, что значение чувствительности фотоумножителя в каждый конкретный момент времени неизвестно, то в установке проводятся только относительные измерения спектров, т.е. измеряется отношение сигнала исследуемой среды к сигналу образцовой.

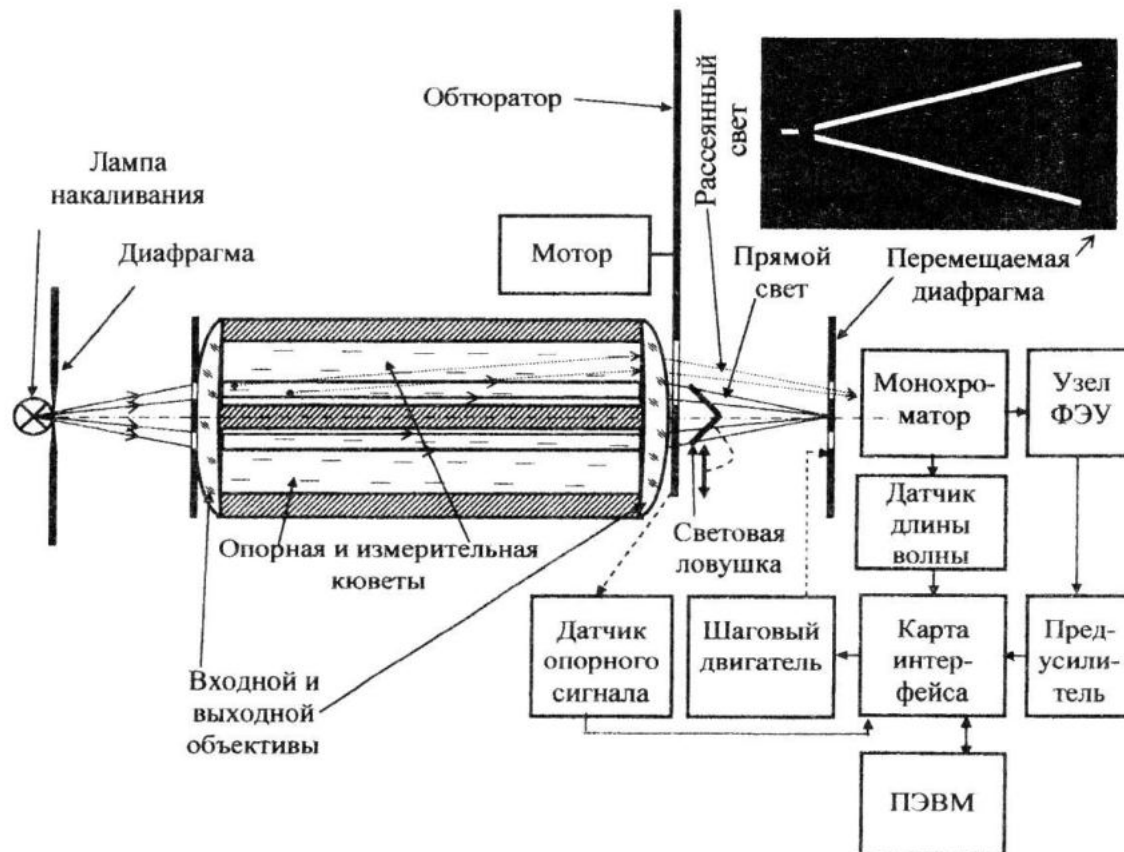


Рисунок 1 – Функциональная схема установки для исследования спектров рассеяния проб воды в малых углах

Управление работой шагового двигателя, первичная обработка информации, визуализация хода измерений в реальном режиме времени осуществляется персональной ЭВМ с помощью программы, разработанной в среде LabVIEW [5]. Для оцифровки аналоговых напряжений и согласования параметров цифровых сигналов используется PCMCIA карта интерфейса фирмы National Instruments.

Конструктивно установка оформлена в виде приставки к монохроматору и размещается вместе с ним на массивной непод-

вижной платформе. Основные технические характеристики разработанного устройства приводятся в таблице 1.

По нашей оценке точность измерения спектрального отношения составила $\pm 5\%$. Оценка производилась по многократным замерам образцовой воды, которую заливали в обе кюветы, а также по воспроизводимости результатов измерений исследуемых проб. Низкий показатель точности измерения спектрального отношения обусловлен влиянием следующих факторов: качеством промывки кювет, оседанием крупных час-

тиц в растворах, нестабильностью свойств фотоумножителя при работе в режиме динамического изменения чувствительности.

Нижний предел углового диапазона обусловлен засветками от прямого пучка, и в дальнейшем он будет снижен за счет усо-

вершенствования системы настройки световой ловушки. Верхний предел будет увеличен за счет модификации геометрии.

Для калибровки прибора и создания методики работы с ним был проведен ряд экспериментов с использованием очищен-

Таблица 1 – Некоторые технические характеристики установки

Спектральный диапазон	390–700 нм
Спектральное разрешение	5 нм
Угловой диапазон	0,5–1,5°
Дискретность установки угла	8'
Точность установки длин волн	±2 нм
Длина оптической базы	150 мм
Время регистрации одного спектра	40 с

ных образцов вод. Наиболее чистый образец применялся в дальнейшем как эталон в опорной кювете. Далее проводились эксперименты с естественными образцами вод: измерительная кювета наполнялась пробами морской воды, взятыми из Севастопольской бухты. Один из результатов измерений спектральных характеристик рассеяния для разных углов приводится на рисунке 2.

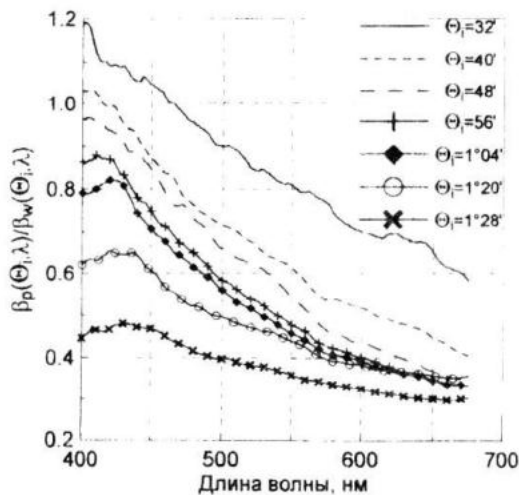


Рисунок 2 – Нормированные спектры рассеяния пробы воды из Севастопольской бухты: β_p – показатель рассеяния на частицах; β_w – показатель рассеяния чистой воды

На графиках видно, что относительные спектры показателя рассеяния имели вид спадающих кривых в диапазоне длин волн 400 – 675 нм, а значения спектров уменьшаются с увеличением угла, что соответствует теории. Для углов 1–1,5° заметен характерный почти для всех кривых максимум в области 430 нм, который, воз-

можно, объясняется полосой поглощения хлорофилла.

Заключение. Разработана лабораторная установка для исследования спектров рассеяния морской водой, которая дает возможность получить новые данные о спектральном распределении рассеяния в диапазоне малых углов. Однако полученные результаты требуют дальнейшего детального изучения и продолжения экспериментов с различными образцами морских вод и монокультурами водорослей с целью выявления их отличительных признаков и оценки влияния на общую структуру рассеяния в малых углах.

Литература

1. К.С. Шифрин. Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеониздат. 1983. – С. 72.
2. A. Morel, A. Bricaud. Theoretical results concerning the optics of phytoplankton, with special references to remote sensing applications // *Oceanography from Space*. Ed. by J.F.R. Gower. – New York: Plenum. 1981 – P. 313 – 327.
3. T. Krol, A. Stelmaszewski, and W. Freda. Measurements of the middle angle scattering spectra of phytoplankton culture // *Proc. IV Int. Conf. Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW'2007)*. – Nizhny Novgorod: Inst. Appl. Phys. RAS. 2007. – P. 51–55.
4. А.П. Иванов. Оптика рассеивающих сред. – Минск: Наука и техника. 1959. – С. 451.
5. LabVIEW User Manual. – National Instruments Corporation. 2003. – 349 с.