

Применение мощных светодиодов для одновременных измерений характеристик рассеяния излучения и флуоресценции в морской воде

М.Е. ЛИ, Е.Б. ШИБАНОВ, О.В. МАРТЫНОВ

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь
E-mail: oleg.martynov.49@mail.ru

Аннотация

Исследования по рассеянию излучения и флуоресценции в морской среде необходимы для более точного описания закономерностей распространения излучения в верхних слоях океана и диагностики экологического состояния морских акваторий. Применение мощных (сверхъярких) светодиодов позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств и флуоресценции природных вод. Приведены краткие описания конструкции прибора (нефелометра) и результатов его испытаний. Главное преимущество предлагаемого метода – контролируемый учёт влияния когерентного рассеяния на результаты измерений. При этом измерения характеристик всех типов рассеяния выполняются одним прибором в одной пробе.

Ключевые слова: мощные светодиоды, нефелометр, рассеяние излучения водой, флуоресценция природных вод.

Введение

Проведённые в последние годы Морским гидрофизическим институтом РАН исследования гидрооптических свойств морской воды выявили настоятельную необходимость применения новых подходов к измерениям индикатрисы рассеяния излучения, для объяснения причин несоответствия теории молекулярного рассеяния чистых вод данным натурных измерений [1, 2]. По данным об индикатрисе рассеяния излучения можно восстановить такие характеристики взвеси в воде как распределение частиц по размерам: разделить их на крупную и мелкую фракции [3]; определить показатель преломления частиц [4]; зависимость рассеивающих свойств микрочастиц от их размеров [5] и сум-

марную концентрацию взвеси без разделения на минеральную и органическую составляющие [6]. Несмотря на то, что знание индикатрисы рассеяния так значимо для оптики океана, измерений индикатрис в натурных условиях проведено немного из-за сложности создания аппаратуры для таких измерений. Основная проблема заключается в том, что для измерений индикатрис рассеяния во всём диапазоне углов рассеяния необходимы такие источники излучения (ИИ), которые имели бы как очень малые размеры светящего тела, так и высокую световую отдачу. Появившиеся в последние годы некоторые мощные светодиоды (СД) не только наиболее оптимально совмещают в себе эти противоречивые требования, но и позволяют выбирать необходимые спектральные участки в диапазоне 350–780 нм.

Новый подход к измерениям угловой функции рассеяния излучения и флуоресценции

Успехи в создании полупроводниковых источников излучения позволяют отойти от применения в спектральных

гидрооптических приборах в качестве ИИ галогенных ЛН (ГЛН). Световая отдача современных мощных СД выше, чем у ГЛН. Расчёты показывают, что применение СД в качестве ИИ вместо ГЛН даёт выигрыш по потоку излучения в одинаковых спектральных интервалах в десятки раз, а в коротковолновой области спектра даже в сотни [7]. Спектры излучения СД сравнительно узки (15–35 нм), и потому их излучение допустимо считать квазимонохроматическим. Наши предварительные оценки показали, что яркость излучения СД на два порядка выше, чем у ранее использовавшейся ГЛН мощностью 12 Вт. С уменьшением пиковой длины волны излучения λ_p преимущества СД перед ГЛН усиливаются (рис. 1).

Применение мощных СД в качестве ИИ позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств и флуоресценции природных вод. Нами проведена модернизация уникального полярного нефелометра, которая позволила существенно расширить его функциональные возможности и обеспечить возможность не только измерения индикатрисы рассеяния во всём диапазоне углов рассеяния, но и флуоресценции разных видов клеток фитопланктона и растворённого органического вещества [7]. Новый многофункциональный полярный нефелометр для новейших исследований по рассеянию излучения и флуоресценции является измерителем рассеяния излучения третьего поколения, в котором развёртка по углу осуществляется по принципу работы перископа – путём вращения специальной стеклянной

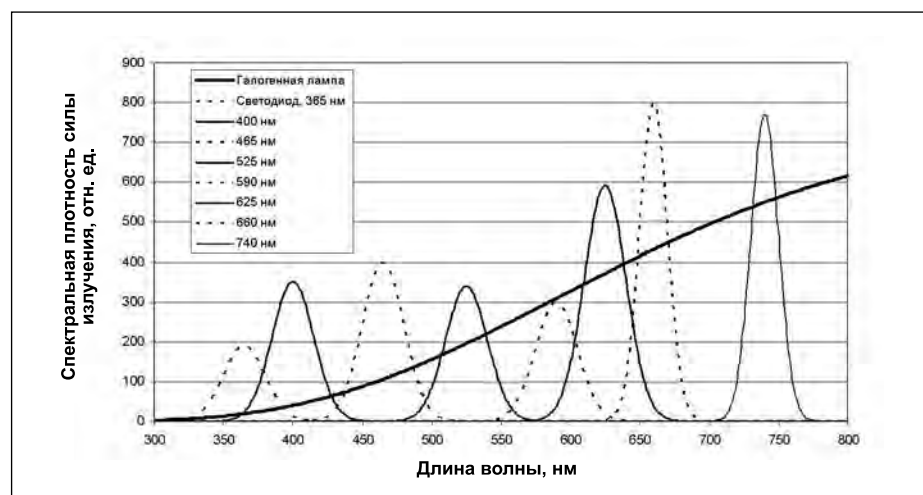


Рис. 1. Относительные спектры излучения СД и ГЛН с температурой тела накала 2900 К

призмы вокруг оси фотоприёмного устройства.

В результате использования мощных СД в качестве ИИ в усовершенствованном полярном нефелометре появилась возможность регистрировать сигнал от некогерентного рассеяния. Для этого блок излучения нефелометра был дополнен специальным механизмом смены СД, а фотоприёмный блок – механизмом смены светофильтров, управляемых компьютером. Если спектры излучения и пропускания приходятся на один спектральный участок, измеряется обычное, когерентное рассеяние, а если на разные участки – флуоресценция и рассеяние Рамана. Наличие и уровень паразитной засветки контролируется по угловой структуре измеряемого сигнала. В новом приборе использованы высокие технологии проектирования и современные электронные компоненты. Функциональная схема варианта прибора для измерений объёмного рассеяния и флуоресценции разного вида клеток фитопланктона и растворённого органического вещества ясна из рис. 2.

В данной версии нефелометра в качестве ИИ впервые в мировой практике применён набор из 8 мощных узкополосных разноспектральных СД с $\lambda_p = 365, 400, 465, 525, 590, 625, 660$ и 740 нм и шириной спектра излучения от 10 до 20 нм [7]. СД равномер-

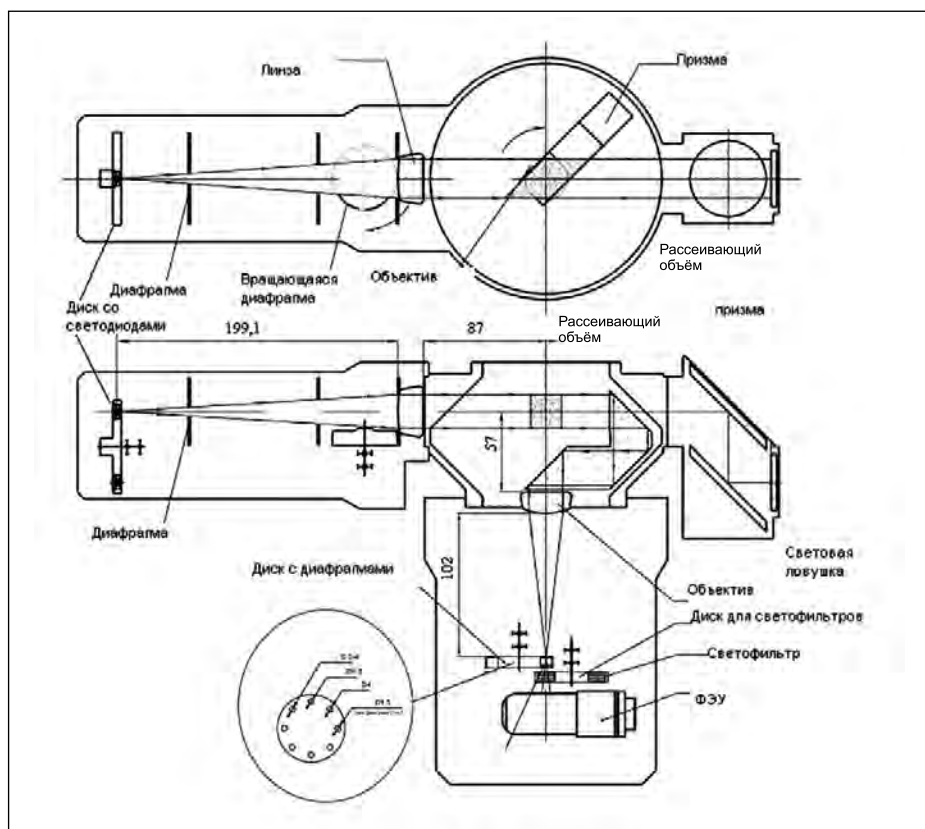


Рис. 2. Принципиальная схема измерений характеристик рассеяния излучения новым нефелометром

но установлены по окружности через 45° на поворотном диске, представляющем собой радиатор, выполненный в виде цилиндра с диагональными охлаждающими рёбрами. Смена СД производится с помощью шагово-

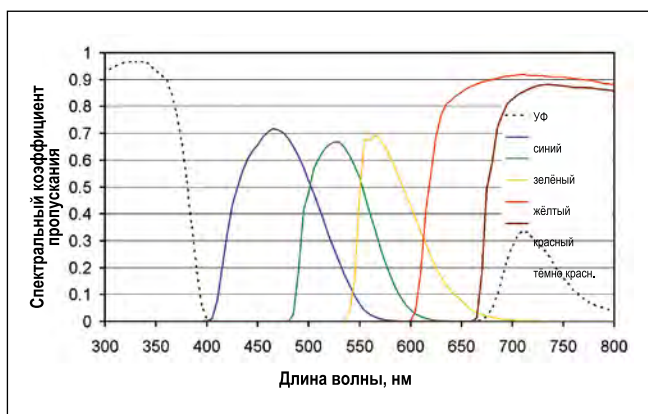
го двигателя, который по сигналу микропроцессора поворачивает радиатор со светофильтрами на заданный угол. Питание СД производится путём подачи напряжения на две подпружиненные щётки, которые скользят по пово-

Таблица

Рассчитанные значения доли принимаемого когерентного излучения и эффективной длины волны

Светофильтр λ_p , нм	УФ	Синий	Зелёный	Жёлтый	Красный	Тёмно-красный
365	0,88; 363 нм	0,003; 418 нм	$<10^{-5}$	$<10^{-4}$	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
400	0,036; 390 нм	0,018; 412 нм	$<10^{-5}$	0,0001; 400 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
465	$<10^{-6}$	0,669; 465,1 нм	0,0223; 496 нм	0,0001; 465 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
525	$<10^{-6}$	0,283; 516 нм	0,592; 525 нм	0,0648; 554 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
590	$<10^{-6}$	0,003; 565 нм	0,124; 578 нм	0,51; 586 нм	0,044; 617 нм	$<10^{-6}$
625	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	0,0106; 604 нм	0,225 617 нм	0,56; 631 нм	0,0006; 674 нм
660	0,026; 692 нм	$<10^{-6}$	0,0008; 616 нм	0,068; 642 нм	0,851; 660 нм	0,176; 685 нм
740	0,217; 732 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$	0,0008; 713 нм	0,919; 739 нм	0,879; 739 нм

Рис. 3. Относительные спектры пропускания светофильтров



рачивающемуся вместе с радиатором дисковому коллектору с восемью контактными секторами, соединёнными с соответствующими СД.

Эти СД излучают значительно сильнее ГЛН, что заметно снижает долю случайных шумов ФЭУ при измерении малых потоков излучения в области больших углов рассеяния и малых уровней флуоресцентного свечения. Значительно меньшие размеры светящего тела СД, чем у ГЛН, позволяют снижать расходимость пучка ИИ и таким образом повышать разрешение по углу при проведении измерений индикатрис рассеяния. Существенным преимуществом использования СД также является повышенный срок службы ИИ на их основе. Гарантированный срок службы СД, составляющий 100000 ч и более, позволяет их использовать в оптических приборах в течение всего времени их многолетней эксплуатации. При этом известно, что, например, замена перегоревшей ГЛН сопряжена с проведением трудоёмких юстировки и калибровки прибора, съедающих много времени и иногда приводящих к потерям данных, особенно в условиях полевых экспедиций. Ещё одно преимущество использования СД – возможность управления яркостью излучения, а значит и яркостью рассеянного излучения, путём изменения силы излучения СД. Кроме того, именно использование СД повышенной мощности (яркости) позволяет этим же прибором измерять и флуоресцентные характеристики морской воды.

Для того, чтобы полярный нефелометр мог измерять как угловую функцию рассеяния излучения, так и характеристики флуоресценции морской воды, фотоприёмное устройство поляриметра должно быть снабжено набором светофильтров с максима-

ми пропускания строго подобранными под λ_p СД. Разные сочетания пар СД-светофильтр позволяют регистрировать как сигнал, близко соответствующий когерентному рассеянию, так и характеристики флуоресценции на одной длине волны при возбуждающем сигнале на другой. Для этого фотоприёмное устройство дополнено набором соответствующих светофильтров из цветного стекла (рис. 3).

Установка светофильтров перед ФЭУ позволяет контролировать эффекты некогерентного рассеяния и измерять характеристики флуоресценции.

В таблице приведены вычисленные значения доли принимаемого когерентного излучения и значения эффективной длины волны для всех возможных сочетаний СД-светофильтр в приборе. Ячейки со значениями, выделенными жирным шрифтом, следует рассматривать как допустимое для измерения когерентного рассеяния сочетание СД-светофильтр. Сочетания СД-светофильтр, близкие к диагонали «матрицы флуоресценции», позволяют измерять показатели когерентного рассеяния. Если доля последнего мала, то существует принципиальная возможность измерять показатели некогерентного рассеяния.

Заключение

Применение современных мощных (сверхъярких) СД позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств природных вод.

Главное преимущество предлагаемого метода – контролируемый учёт влияния когерентного рассеяния. При этом измерения двух типов рассеяния выполняются одним прибором в одной пробе.

Другое достоинство нефелометрического метода – возможность проводить флуориметрические измерения при достаточной близости относительных спектров излучения ИИ и спектров пропускания светофильтров приёмника.

Разработка нового метода выполнена по проекту РФФИ 16-05-00062 «Исследование спектральных характеристик когерентного и некогерентного рассеяния излучения в морской воде».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shybanov E.B., Berton J.F., Lee M.E., Zibordi G.* Hypothesis of the Spatial Adjustment of Optical Inhomogeneities of Water and Its Confirmation through Experiments on Measurements of Light Scattering // *JETP Letters.* – 2010. – Vol. 92, No. 10. – P. 671–675.
2. *Шибанов Е.Б., Бертон Ж.-Ф., Ли М.Е., Зиборди Дж.* Увеличение рассеяния излучения при смешивании чистых вод различной плотности // *Морской гидрофизический журнал.* – 2011. – № 4. – С. 36–42.
3. *Копелевич О.В.* Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды / *Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана* / Отв. ред. А.С. Монин. – М.: Наука, 1983. – С. 208–234.
4. *Twardowski M.S., Boss E., MacDonald J.B., Pegau W.S., Barnard A.H., Zaneveld J.R.V.* A model for estimating bulk refractive index from the optical backscattering ratio and the implications for understanding particle composition in case I and case II waters // *J. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – P. 14129–14142.
5. *Ли М.Е., Мартынов О.В., Шибанов Е.Б.* Некоторые результаты измерений индикатрис рассеяния в широком диапазоне углов в искусственных средах и природных водах / *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа* / Под. ред. В.А. Иванова. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – С. 12.
6. *Шифрин К.С.* Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 280 с.
7. *Lee M.E., Marlon L.R.* A New Method for the Measurement of the Optical Volume Scattering Function in the Upper Ocean // *JAOT.* – 2003. – Vol. 20. – P. 563–571.
8. *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* / Под. ред. В.А. Иванова. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – С. 194–211.
9. *Карабашев С.Г.* Флуоресценция в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 200 с.

10. *Porto S.P.S. Angular Dependence and Depolarization Ratio of the Raman Effect // JOSA.* – 1966. – Vol. 56, No. 11. – P. 1585–1589.

11. *Лу М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В.* Преимущества использования сверхярких светодиодов в приборах для исследования рассеяния излучения морской водой // Труды VIII Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных сред (ONW-2015)». – Санкт-Петербург, 8–12.09.2015. – С. 267–271.

12. *Maffione R.A., D.R. Dana* Instruments and methods for measuring the backward-scattering coefficient of ocean waters // *Appl. Opt.* – 1997. – Vol. 36. – P. 6057–6067.



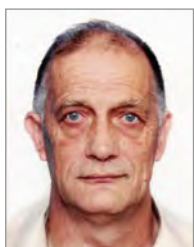
Ли Михаил Ен Гон, доктор физ.-мат. наук, профессор. Окончил в 1965 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Зав. отделом оптики и биофизики моря ФБГУН «Морской гидрофизический институт РАН».

Область научных интересов: оптическая океанография, дистанционное зондирование океана, рассеяние света в морской воде, экспедиционные биооптические исследования, разработка приборов для гидрооптических исследований



Шибанов Евгений Борисович, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1983 г. Московский физико-технический институт. Старший научный сотрудник отдела Оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института РАН.

Область научных интересов: оптическая океанография, дистанционное зондирование океана, рассеяние излучения в морской воде, экспедиционные биооптические исследования



Мартынов Олег Викторович, кандидат техн. наук. Окончил в 1972 г. Севастопольский приборостроительный институт. Старший научный сотрудник отдела

оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института РАН. Область научных интересов: оптическая океанография, гидрооптические приборы, дистанционное зондирование океана

ВРИО Губернатора Санкт-Петербурга ознакомился с объектами реконструкции наружного освещения Санкт-Петербурга, реализованными на средства ПАО «Газпром»

8 ноября действующий глава города Александр Беглов и Председатель Правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер осмотрели улицы Санкт-Петербурга, которые благоустраиваются в рамках благотворительных программ ПАО «Газпром» в 2018–2019 годах. Эта работа проводится в рамках Соглашения о сотрудничестве между Правительством Санкт-Петербурга и ПАО «Газпром».

В перечень осмотренных объектов делегации вошли адреса с декоративными опорами уличного освещения, реализованными при участии СПб ГУП «Ленсвет», Ассоциации «Невский свет». Руководитель СПб ГУП «Ленсвет» С.В. Мителев отчитался о проделанной работе по созданию объектов декоративного наружного освещения, представив информацию по Суворовскому и Лиговскому проспектам, Миллионной улице. Отличительная черта нового облика улиц – отсутствие проводов: все коммуникации убираются в подземные коллекторы, тем самым открывая вид на исторические здания. Винтажный стиль фонарей дополняют современные энергоэффективные источники света, обеспечивающие необходимый уровень освещения согласно установленным нормам.

Освещение Суворовского проспекта осуществляется с применением 79 чугунных декоративных опор высотой свыше 10 метров. По итогам работ демонтировано 158 подвесных светильников, 2,4 км воздушной сети электроснабжения. На вечерней перспективе Суворовского проспекта с декоративными опорами открывается вид на подсветку Смольного собора, первого объекта сотрудничества СПб ГУП «Ленсвет» с ПАО «Газпром» в 2007 году.

В 2017–2018 годы при участии СПб ГУП «Ленсвет» реализован объект декоративного наружного освещения по Лиговскому проспекту от Кузнечного переулка до набережной Обводного канала. Особенность проекта – выделенную полосу движения общественного транспорта освещают 260 светодиодных светильников, смонтированных в ограждения. Искусственными источниками света выделена архитектурная доминанта магистрали – Крестовоздвиженский казачий собор. В 2018 году рамках очередного этапа реконструкции по Лиговскому проспекту, на участке от Невского проспекта до улицы Некрасова протяженностью 780 метров, до конца ноября будет установлен 51 стилизованный фонарь, проложено 6,2 км кабельных линий.

Миллионную улицу от Суворовской площади до набережной Зимней канавки по обеим сторонам дорожного покрытия украсят 50 декоративных опор, увенчанных 100 светильниками. Подвесная сеть будет демонтирована, электроснабжение будет осуществляться по кабельным линиям. Вечерний облик полу-



чат фасады зданий, выходящие на Суворовскую площадь.

За последние два года благодаря внебюджетным источникам финансирования реализацию получил проект архитектурно-художественной подсветки церкви Воскресения Христова у Варшавского вокзала.

Всего за 2007–2018 годы в рамках сотрудничества СПб ГУП «Ленсвет» с ПАО «Газпром» установлено более 1500 новых торшеров, которые гармонично вписались в архитектурный облик Санкт-Петербурга. Вместе с художественной подсветкой фасадов домов они преобразили ночной облик города и создали неповторимую атмосферу. Центр города уже стал визитной карточкой для туристов и любимым местом прогулок жителей.

В настоящее время ведётся подготовка к работам по строительству наружного освещения в разделительной полосе по Московскому проспекту (от набережной Обводного канала до площади Победы), включая реконструкцию освещения на площади Победы, площади Труда, набережной Адмиралтейского канала, Конногвардейского бульвара, Большого проспекта Петроградской стороны, капитального ремонта освещения Невского проспекта, реконструкции наружного освещения набережной реки Мойки (от Невского проспекта до Певческого моста), строительства художественной подсветки доминант зданий по Литейному проспекту (Литейный просп., д. 20), улице Рубинштейна (ул. Рубинштейна, д. 40/11), Пушкинской улице (ул. Пушкинская, д. 19). На очереди – подсветка малых мостов, пересекающих основные реки и каналы исторического центра, являющиеся составной частью туристических маршрутов.

Созданные за счёт средств ПАО «Газпром» линии наружного освещения и устройства художественной подсветки безвозмездно передаются Ассоциацией «Невский свет» городу Санкт-Петербург и закрепляются на праве хозяйственного ведения за СПб ГУП «Ленсвет». На сегодня подарено более 50 объектов инженерной инфраструктуры. Созданные объекты отличаются высокими эксплуатационными характеристиками, также ряд объектов отмечен грамотами и дипломами отраслевых конкурсов.

Источник: Пресс-служба СПб ГУП «Ленсвет»