



DOI [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18\(4\)-10](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18(4)-10)

EDN <https://elibrary.ru/xotomv>

УДК 551.463.5

© В. Д. Володин^{1*}, М. А. Павлова^{1,2}, Д. И. Глуховец^{1,2}, 2025

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

²Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, Долгопрудный, Институтский пер., д. 9.

*volodin@geokhi.ru

Малогабаритный измеритель коэффициента яркости моря

Статья поступила в редакцию 11.09.2025, после доработки 31.10.2025, принята в печать 05.11.2025

Аннотация

Описан малогабаритный спектрорадиометр (МСП), разработанный в Институте океанологии им. П.П. Шишова РАН на основе миниатюрного спектрометра AIOX 2000–02 для палубных измерений спектрального коэффициента яркости моря $R_{rs}(\lambda)$, детали которого в основном изготовлены методом 3D печати. Преимуществом нового спектрорадиометра являются значительно меньшие масса и габариты по сравнению с ранее разработанным палубным спектрорадиометром, а также удобство проведения измерений в палубных условиях, в том числе во время качки, что обусловлено как массогабаритными характеристиками, так и отсутствием необходимости в использовании кюветы с чистой водой и ручной установки кюветы и серого экрана в процессе измерений.

Проведено сопоставление спектров $R_{rs}(\lambda)$, полученных с использованием данного прибора, с результатами других спектрорадиометров. Показано, что относительная взаимная ошибка измерения спектрального коэффициента яркости моря между данными описанного спектрорадиометра с другими приборами не превышает 15 %, что можно считать хорошим соответствием между их данными.

Результаты обработки кривых $R_{rs}(\lambda)$, полученных на описанном приборе, с использованием алгоритма GIOP, хорошо согласуются с независимыми данными о биооптических характеристиках, полученными на момент измерений независимыми методами.

Ключевые слова: спектрорадиометр, коэффициент яркости моря, биооптические характеристики, алгоритм GIOP

© V. D. Volodin^{1*}, M. A. Pavlova^{1,2}, D. I. Glukhovets^{1,2}, 2025

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia

²Moscow Institute of Physics and Technology, 9, Institutsky per., Dolgoprudny, Moscow reg., 141701, Russia

*volodin@geokhi.ru

Small-sized remote sensing reflectance meter

Received 11.09.2025, Revised 31.10.2025, Accepted 05.11.2025

Abstract

A small-sized spectroradiometer (SSR) developed at the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences based on a miniature AIOX 2000–02 spectrometer for deck measurements of the spectral remote sensing reflectance $R_{rs}(\lambda)$, the parts of which are mainly made by 3D printing, is described. The advantage of the new spectroradiometer is its significantly lower weight and dimensions compared to the previously developed deck spectroradiometer, as well as the convenience of measuring in deck conditions, including during pitching, due to both its weight and size characteristics and the lack of the need to use a cuvette with clean water and manually install a cuvette and a gray screen during measurements. The $R_{rs}(\lambda)$ spectra obtained using this

Ссылка для цитирования: Володин В.Д., Павлова М.А., Глуховец Д.И. Малогабаритный измеритель коэффициента яркости моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2025. Т. 18, № 4. С. 138–145. EDN XOTOMV.

[https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18\(4\)-10](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18(4)-10)

For citation: Volodin V.D., Pavlova M.A., Glukhovets D.I. Small-sized remote sensing reflectance meter. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2025;18(4):138–145. [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18\(4\)-10](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2025.18(4)-10)

instrument are compared with the results of other spectroradiometers. It is shown that the relative mutual error of measuring the spectral coefficient of remote sensing reflectance between the data of the described spectroradiometer and other instruments does not exceed 15 %, which can be considered a good match between their data. The results of processing the $R_{rs}(\lambda)$ curves obtained on the described device using the GIOP algorithm are in good agreement with independent data on bio-optical characteristics got by independent methods at the time of measurements.

Keywords: spectroradiometer, remote sensing reflectance, bio-optical characteristics, GIOP algorithm

1. Введение

Спектральный коэффициент яркости моря [1] представляет собой отношение яркости выходящего из толщи воды излучения к облученности поверхности как функцию длины волны и является характеристикой поверхностного слоя морской воды, содержащей информацию о биооптических параметрах: концентрации хлорофилла a (Хл), показателе поглощения света окрашенным растворенным органическим веществом (ОРОВ) $a_g(\lambda)$, показателе рассеяния назад частицами взвеси $b_{br}(\lambda)$. Измерения спектрального коэффициента яркости моря являются одним из оперативных методов исследования биооптических характеристик морской воды, в том числе дистанционно, без прямого контакта с объектом исследования, а также являются необходимым компонентом подспутниковых измерений, необходимых для валидации данных спутниковых сканеров цвета океана, в том числе, для выявления ошибок алгоритмов атмосферной коррекции.

Существует несколько широко используемых подходов к измерению спектрального коэффициента яркости моря. Их условно можно разделить на контактные методы, предполагающие погружение прибора в воду, и дистанционные методы, проводимые над поверхностью воды. Контактные измерения могут выполняться с использованием плавающих приборов. К таким приборам относится, например, плавающий спектро радиометр ПРО-1, разработанный в Лаборатории оптики океана ИО РАН [2]. ПРО-1 состоит из измерительного герметичного плавающего модуля, соединенного с помощью кабеля с бортовым пультом. Прибор содержит два измерительных датчика: под поверхностью воды для регистрации яркости выходящего потока излучения и над поверхностью для измерений облученности нисходящего потока излучения. С помощью ПРО-1 проводится регистрация коэффициента яркости водной толщи, который с помощью формулы из работы [3] пересчитывается в $R_{rs}(\lambda)$. Абсолютная радиометрическая калибровка прибора и исключение влияния поверхности за счет измерений яркости выходящего из водной толщи излучения непосредственно под поверхностью позволяет получать значения $\rho(\lambda)$ с точностью 5 %, что соответствует международным стандартам проведения радиометрических измерений. Существенным ограничением данного метода является необходимость размещения прибора на водной поверхности. При измерениях с борта судна это возможно лишь в дрейфе и при благоприятных погодных условиях.

Другой подход основан на надводных измерениях с компенсацией зеркально отраженной от поверхности воды компоненты восходящего излучения различными способами. Этот подход позволяет проводить измерения на ходу судна и с борта летательных аппаратов. К настоящему времени разработан ряд приборов для дистанционного измерения спектрального коэффициента яркости моря (как экспериментальных, так и коммерчески доступных), которые различаются оптическими схемами и геометрией измерения. В качестве примеров можно привести спектро радиометры, разработанные в МГИ [4] и ИО РАН [5]. Метод, использованный в обоих работах, схож и заключается в последовательной регистрации облученности (или яркости диффузно отражающего экрана) и восходящей от поверхности воды яркости излучения и вычитании из нее вклада, связанного с зеркальным отражением от поверхности воды. Для регистрации спектров в работе [5] используется портативный ПЗС-спектрометр Ocean Insight Flame, снабженный узкоугольным объективом. Для измерения облученности определяется яркость освещенного нисходящим излучением серого экрана. Использование быстродействующего приемника, регистрирующего одновременно весь спектр (время накопления одного спектра составляет 50–500 мс в зависимости от условий освещения) позволяет проводить регистрацию серии спектров с последующей выбраковкой некачественных спектров (зарегистрированных при попадании бликов, пены и посторонних предметов) и вычислением медианного спектра, что требует значительного времени при использовании сканирующих спектральных приборов [2, 4]. Для компенсации зеркально отраженного фона неба в работе [4] предложено использовать кювету, облицованную черным стеклом и наполненную водой, коэффициент зеркального отражения которой принимается равным коэффициенту зеркального отражения поверхности воды. В работе [5], помимо использования аналогичного метода с кюветой, предложена ее замена на стеклянную пластину с поглощающей подложкой. Использование такой пластины обеспечивает компенсацию френелевского отражения благодаря близости показателей преломления стекла и воды.

Известен основанный на аналогичном принципе метод измерения коэффициента яркости моря с помощью камеры смартфона [6], однако качество получаемой таким образом информации существенно уступает результатам использования полноценных спектральных приборов.

Появление на рынке недорогих малогабаритных сенсоров с достаточно высоким спектральным разрешением, первоначально предназначенных для задач контроля качества освещения, позволяет создавать недорогие, компактные и простые в обращении устройства для оперативных измерений спектрального коэффициента яркости моря с борта судна. Целью данной работы является разработка малогабаритного спектрорадиометра (МСР) для реализации надводной схемы измерений спектрального коэффициента яркости моря [4, 5], которая не требует ни абсолютной калибровки сенсора, ни герметизации прибора для погружения в воду.

2. Описание прибора и метода измерения

В качестве прототипа был взят хорошо зарекомендовавший себя в экспедиционных условиях палубный спектрорадиометр ИО РАН [5]. В отличие от прототипа, в качестве прибора для регистрации спектров применен микроспектрометр AIOX 2000–02 (производство КНР), использующий светочувствительную матрицу и оптический тракт стандартной камеры наблюдения, дополненной щелью и дифракционной решеткой. Его спектральное разрешение (полная ширина на полувысоте спектральной линии), определенное по линиям спектра ртути, составляет 5–6 нм в диапазоне 340–1000 нм, а габаритные размеры не превышают 30 × 30 × 25 мм при стоимости более чем в 10 раз ниже типичных решеточных малогабаритных спектрометров (например, Ocean Insight Flame).

Метод измерения [5] заключается в последовательной регистрации трех спектров: яркости стандартного матового серого экрана с отражательной способностью около 20 %, яркости отражения неба в кювете с зачерненными стенками с водой и яркости моря. При этом спектральный коэффициент яркости моря рассчитывается по формуле:

$$R_{rs} = \frac{(L_t - L_{sky}) A_{scr}}{\pi L_{scr}}, \quad (1)$$

где L_t , L_{scr} и L_{sky} — яркости моря, экрана и отражения неба в кювете соответственно, а A_{scr} — отражательная способность экрана.

Конструкция палубного спектрорадиометра [5] предусматривает установку экрана и кюветы вручную. Практика работы с ним показала, что эти операции в процессе измерений в экспедиционных условиях (ветер, качка) вместе с необходимостью наличия в кювете чистой воды делают процесс измерения достаточно утомительным и требующим участия двух человек. Вместе с тем, в работе показана возможность замены кюветы на пластину стекла со светопоглощающей подложкой. В связи с этим, помимо уменьшения габаритов и массы, следовало заменить кювету с водой твердотельным эквивалентом и организовать удобное переключение мишеней. Исходя из этих требований была разработана следующая конструкция: общий вид малогабаритного спектрорадиометра представлен на рис. 1, фотографии спектрорадиометра и его деталей — рис. 2.

Основание 1 и крышка 2 образуют корпус, в котором на оси установлен диск, фиксирующийся в трех положениях подпружиненным шариком, взаимодействующим с выемками по ободу диска. В этих положениях

на линии визора спектрометра 8 с объективом 7 оказывается сквозное окно, через которое производится измерение яркости моря, или одной из двух мишеней: черного стекла НС-11, либо стандартного серого экрана с отражательной способностью около

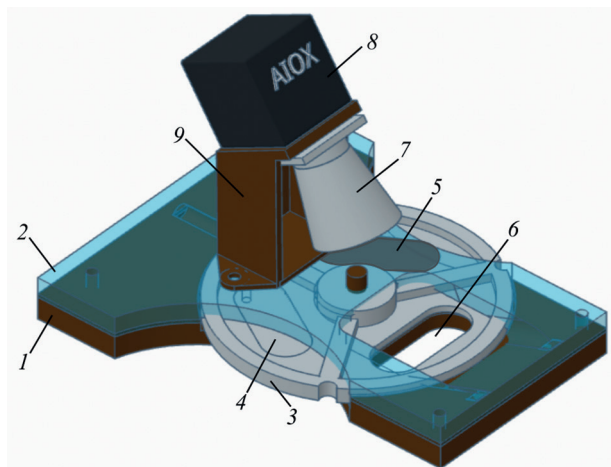


Рис. 1. Общий вид малогабаритного спектрорадиометра: 1 — основание, 2 — крышка, 3 — диск, 4 — серый экран, 5 — черное стекло НС-11, 6 — окно, 7 — объектив, 8 — спектрометр, 9 — стойка

Fig. 1. General view of small-sized spectroradiometer: 1 — base, 2 — cover, 3 — wheel, 4 — gray screen, 5 — black glass NS-11, 6 — window, 7 — lens, 8 — spectrometer, 9 — stand

20 %. Черное стекло используется в качестве модели морской воды для определения L_{sky} , а серый экран — для определения L_{scr} в формуле (1). При этом учитывались различия показателей преломления воды и черного стекла (для воды $n_w = 1,33$, для стекла $n_g \approx 1,505$), а следовательно, и различия их коэффициентов отражения. Объектив 7 представляет собой склеенную ахроматическую линзу с фокусом 30 мм, помещенную для устранения внутренних бликов в снабженную крепежным фланцем коническую светозащитную бленду ступенчатого профиля. В фокусе линзы расположена полевая диафрагма диаметром 2,8 мм, ограничивающая поле зрения конусом с углом раствора около 5° . За диафрагмой расположено входное окно микро-спектрометра. В связи с тем, что оно выполнено в виде молочного стекла и деполяризует падающий на него свет, нет необходимости принимать специальные меры к устранению влияния поляризации принимаемого света. Стойка 9 фиксирует спектрометр и объектив под углом 30° к вертикали. Форма наружной поверхности крышки 2 и стойки 9 выбраны таким образом, чтобы избежать затенения мишеней в максимально возможном диапазоне зенитных углов Солнца. Большая часть элементов конструкции спектро радиометра изготовлена методом FDM 3D печати из ABS пластика (использован 3D принтер Picaso Designer X, сопло 0,5 мм, вертикальный шаг 0,1 мм, горизонтальное разрешение 0,4 мм). Габаритные размеры макета спектро радиометра составляют $120 \times 100 \times 100$ мм, масса — не более 200 г.

Разработанная конструкция позволяет оперативно вводить в оптический путь серый экран, черное стекло и открывать его для регистрации излучения от моря, удерживая ее на вытянутой руке и поворачивая диск пальцем, что облегчает и делает более безопасной работу с прибором на палубе.

Для согласования спектров $R_{rs}(\lambda)$, полученных с помощью малогабаритного спектро радиометра с результатами измерений других приборов, необходимо обратить внимание на отличия отражательной способности черного стекла от поверхности воды и серого диффузно рассеивающего экрана от ламбертовской поверхности. Для учета этих отличий были измерены спектры отражения мишеней (рис. 3). Для этого непосредственно с помощью использованного в конструкции микро спектрометра были зарегистрированы

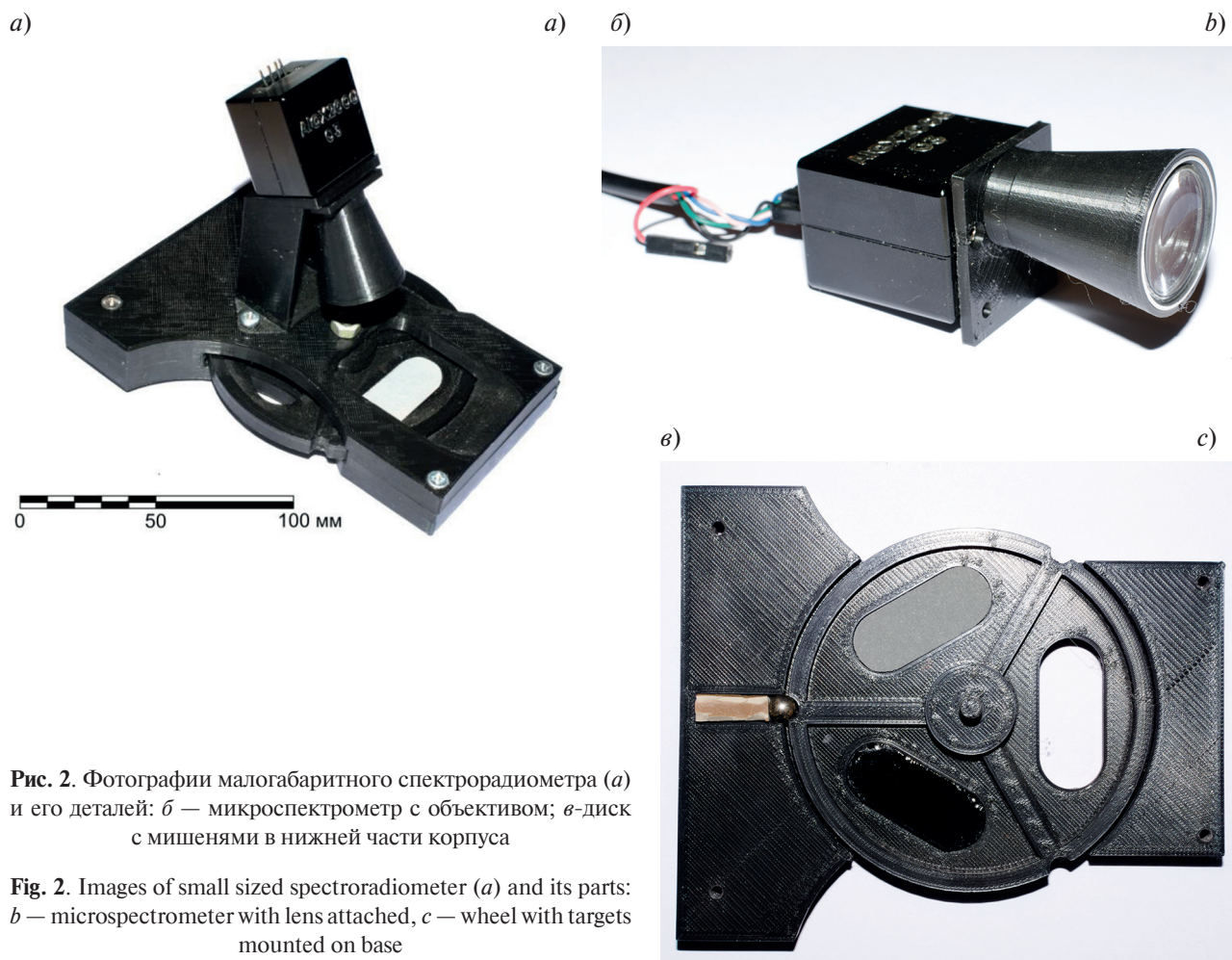


Рис. 2. Фотографии малогабаритного спектро радиометра (а) и его деталей: б — микро спектрометр с объективом; в — диск с мишенями в нижней части корпуса

Fig. 2. Images of small sized spectroradiometer (a) and its parts: б — microspectrometer with lens attached, c — wheel with targets mounted on base

спектры яркости серого экрана L_{gr} и эталонного белого экрана с баритовым покрытием L_w , освещенных фотометрической галогеновой лампой, установленной на фиксированном расстоянии 500 мм. В тех же условиях был зарегистрирован спектр яркости белого экрана после отражения от черного стекла L_{gl} . По результатам измерений вычислены спектры отражения:

$$A_{scr} = L_{gr}/L_w, \quad (2)$$

$$R_{gl} = L_{gl}/L_w. \quad (3)$$

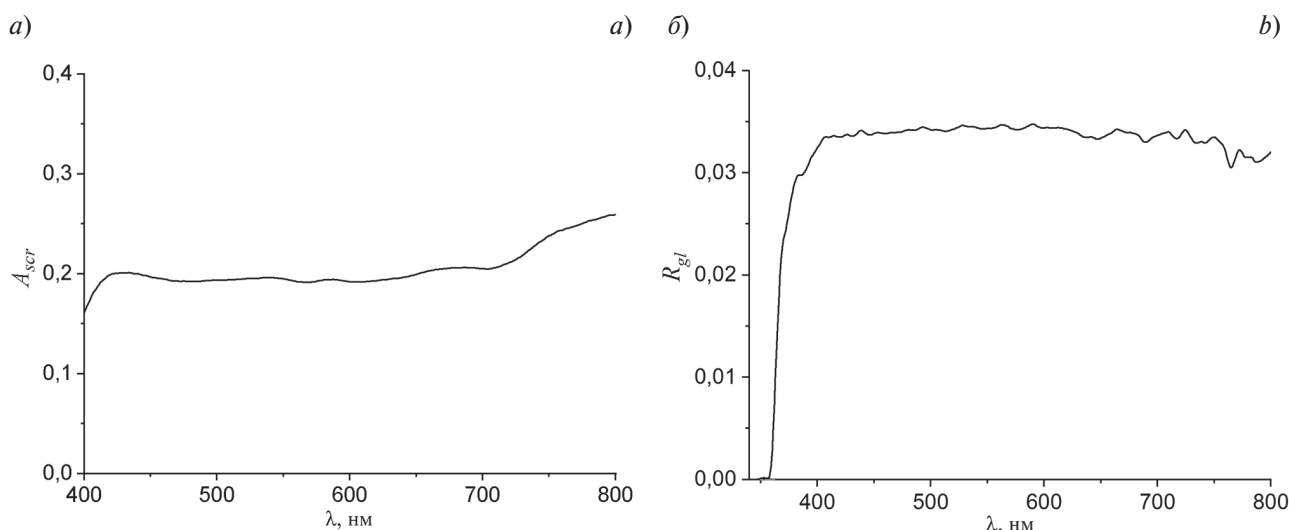


Рис. 3. Спектры отражения: а — серого экрана (диффузное); б — черного стекла (зеркальное при угле падения 30°)

Fig. 3. Reflectance spectra of: a — gray screen (diffuse reflection); b — black glass (specular reflection at 30° angle)

С учетом измеренных спектров отражения формула для расчета R_{rs} принимает следующий вид:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{A_{scr}(\lambda)(L_t(\lambda) - L_{sky} \cdot 0,22/R_{gl}(\lambda))}{\pi L_{scr}(\lambda)}, \quad (4)$$

где $L_t(\lambda)$, $L_{scr}(\lambda)$ и $L_{sky}(\lambda)$ — спектры, представленные в виде массивов целочисленных беззнаковых значений в интервале $0 \div 65535$ (uint16_t в нотации языка C), а $A_{scr}(\lambda)$ и $R_{gl}(\lambda)$ — спектры диффузного отражения экрана и зеркального отражения черного стекла в виде массивов значений в интервале $0 \div 1$ такой же размерности. Для расчета спектров R_{rs} используется интервал длин волн $400 \div 800$ нм.

Микроспектрометр состоит из стандартного модуля камеры видеонаблюдения, перед объективом которого установлена дифракционная решетка и входная щель. Он также содержит внутреннее вычислительное устройство, преобразующее видеокadres с изображениями спектра, зарегистрированные камерой, в спектральную кривую в виде последовательности значений интенсивности через 1 нм, и взаимодействует с компьютером через последовательный интерфейс стандарта UART с уровнями TTL через конвертер USB-UART. Для управления прибором и сбора данных, а также предварительной обработки спектров непосредственно в процессе измерения написан скрипт на языке Python. Результатом работы скрипта являются текстовые файлы зарегистрированных спектров и рассчитанного спектра R_{rs} , а также соответствующие графические файлы.

Процесс измерения начинается с подбора величины экспозиции для наиболее яркого спектра, которым является спектр яркости серого экрана. В дальнейшем вся серия измерений проводится на данном фиксированном времени накопления, и таким образом исключается влияние возможной нелинейности зависимости амплитуды спектра от времени накопления. При измерениях в дневное время при ясном небе время накопления не превышает 100–500 мс, в сумерках оно может достигать 5 с.

Обработка данных малогабаритного спектрорадиометра выполнена в соответствии со схемой, представленной в работе [5]. Она включает последовательное решение обратной и прямой биооптических задач с использованием алгоритма GIOP [7] для корректировки спектра коэффициента яркости моря на величину подставки, обусловленной происходящими в течение измерений изменениями условий освещения, а также возможным влиянием пены и бликов.

3. Результаты и обсуждение

Для количественной оценки точности получаемых с помощью МСР данных о спектральном коэффициенте яркости моря проведено сравнение с результатами измерений палубным [5] и плавающим [2] спектрорадиометрами (ПСР и ПРО-1 соответственно). Рассчитаны средние в диапазоне длин волн 400–600 нм относительные ошибки. На рис. 4 представлен график сравнения $R_{rs}(\lambda)$, построенный по данным черноморской экспедиции 2024 г. (станция № 1, 8 августа). Относительно данных измерений ПСР и ПРО-1 относительные ошибки составили 12,6 % и 15,4 % соответственно. Это говорит о применимости разработанного малогобаритного спектрорадиометра в условиях морских экспедиций, что важно для увеличения массива данных подспутниковых измерений, необходимых для валидации данных спутниковых сканеров цвета.

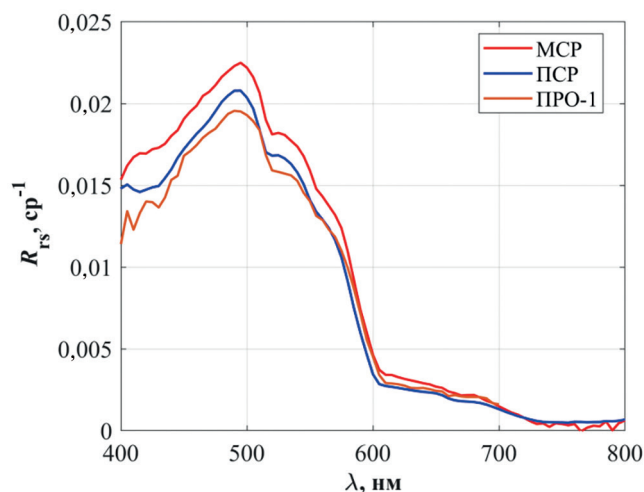


Рис. 4. Спектры коэффициента яркости моря, измеренные МСР, ПСР и ПРО-1. Станция № 1 (44.53°с.ш., 37.93°в.д.), Черное море, 8 июня 2024 г.

Fig. 4. Remote sensing reflectance spectra measured with small-sized, deck and floating spectroradiometers at station #1, 44.53°N, 037.93°E, Black Sea, 2024, June 8

В результате решения обратной задачи рассчитываются концентрация хлорофилла *a* (Хл), значения показателя поглощения желтым веществом и детритом на длине волны 443 нм $a_{dg}(443)$, показателя рассеяния назад частицами взвеси на длине волны 550 нм $b_{bp}(550)$ и соответствующие коэффициенты их спектральных зависимостей (S и γ). Выбор значений S и γ выполняется на основе анализа результатов многолетних измерений, выполненных в рассматриваемой акватории. Для вод черноморского полигона ИО РАН значения этих параметров заданы равными 0,015 1/м и 1 соответственно. Оперативное определение значений биооптических характеристик на ходу судна позволяет идентифицировать происходящие в поверхностном слое морской воды процессы: например, массовые кокколитофоридные цветения ($b_{bp}(550) > 0,015$ 1/м соответствует концентрации кокколитофорид $N_{coc} > 1$ млн. кл./л [1]) и влияние речного стока или интенсивного вертикального перемешивания и подъема вод ($a_{dg}(443) > 0,1$ 1/м [8]).

Результаты обработки спектра коэффициента яркости моря и полученные значения биооптических характеристик представлены на рис. 5. Рассчитанное значение концентрации Хл 0,4 мкг/л отлично соответствует сумме измеренных экстракционным методом концентраций Хл и феофитина 0,39 мкг/л. Значение показателя поглощения ОРОВ 0,04 1/м указывает на отсутствие влияния речного стока или подъема вод, что полностью соответствует гидрооптическим условиям, наблюдавшимся в период проведения судовых измерений. Региональный

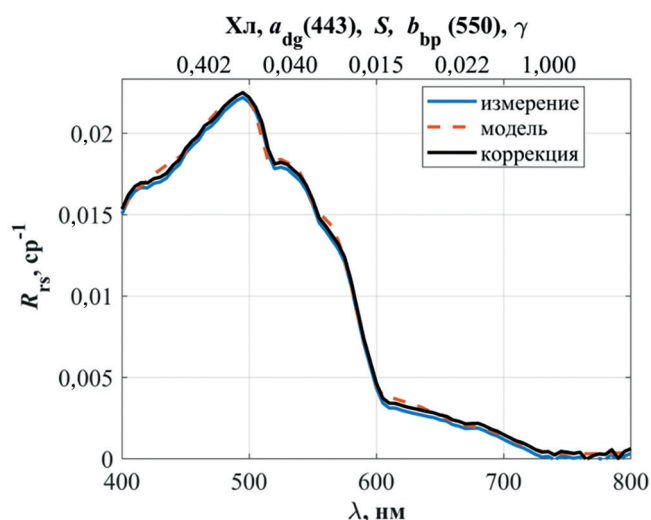


Рис. 5. Пример обработки результатов измерения спектрального коэффициента яркости моря. Станция № 1 (44.53°с. ш., 37.93° в. д.), Черное море, 8 июня 2024 г.

Fig. 5. An example of processing the results of measuring the spectral remote sensing reflectance. Station #1, 44.53°N, 037.93°E, Black Sea, 2024, June 8

алгоритм для Черного моря [1] позволяет пересчитать полученную величину $b_{bp}(550) = 0,022$ 1/м в концентрацию кокколитофорид по формуле $N_{coc} = 768 \cdot [b_{bp}(550)]^{1,55} = 2,1$ млн. кл./л. Прямые измерения N_{coc} на станции № 1 8 июня 2024 г. не выполнялись, однако среднее значение этой величины по результатам прямых измерений на 10 станциях в поверхностном 10-метровом слое в период 3–11 июня 2024 г. составило 1,6 млн. кл./л. Учитывая типичную погрешность биооптических алгоритмов (~30 %), это расхождение является статистически приемлемым.

4. Заключение

Приведено описание конструкции малогабаритного спектрорадиометра, изготовленного на основе микроспектрометра АЮХ 2000–02. Преимуществом прибора являются малые габариты, обеспечивающие удобство выполнения палубных измерений. Это осуществляется благодаря применению твердотельного эквивалента поверхности воды, малым габаритам и массе макета, а также возможности установки мишеней (серого экрана и эквивалента поверхности воды) путем поворота диска одной рукой. Сравнение спектров коэффициента яркости моря, полученных разработанным прибором, с данными спектрорадиометров ИО РАН показало их хорошее соответствие: наибольшие различия не превышают 15 %. Результаты обработки этих данных алгоритмом GIOP хорошо согласуются со значениями биооптических характеристик, измеренными в период исследований независимыми методами.

Благодарности

Авторы благодарят Н.В. Политову за данные прямых определений концентрации хлорофилла *a* и феофитина *a*, а также В.А. Силкина и Л.А. Паутова за данные о концентрации кокколитофорид.

Acknowledgements

The authors are grateful to N.V. Politova for the data on direct determinations of the concentration of chlorophyll *a* and pheophytin *a*, as well as to V.A. Silkin and L.A. Pautov for data on the concentration of coccolithophorides.

Финансирование

Разработка и испытания малогабаритного спектрорадиометра выполнены при поддержке государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024–0015; усовершенствование макета по части измерений, обработки и использования спектров диффузного отражения серого экрана и зеркального отражения черного стекла, а также расчет биооптических характеристик выполнены при поддержке гранта РНФ № 25-77-10065. Грант предоставлен через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Funding

The development and testing of the small-sized spectroradiometer were carried out with the support of the IO RAS state assignment FMWE-2024-0015. The improvement of the prototype construction in terms of measurements, processing and use of diffuse reflection spectra of gray screen and specular reflection of black glass, as well as the calculation of biooptical characteristics were carried out with the support of the Russian Science Foundation grant № 25-77-10065. The grant was provided through the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Литература

1. Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В. и др. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2017 гг. М.: ИО РАН, 2018. 140 с.
2. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И. и др. Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // Океанология. 2000. Т. 40, № 1. С. 148–155.

3. Lee Z., Carder K.L., Mobley C.D., Steward R.G., Patch J.S. Hyperspectral remote sensing for shallow waters. I. A semi-analytical model // *Applied Optics*. 1998. Vol. 37, No. 27. P. 6329–6338. <https://doi.org/10.1364/AO.37.006329>
4. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Корчёмкина Е.Н., Мартынов О.В. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. Т. 186, № 6. С. 17–33. EDN VHEWVT. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2015-6-17-33>
5. Pavlova M.A., Glukhovets D.I., Volodin V.D. Deck spectroradiometer for measuring remote sensing reflectance // *Oceanology*. 2023. Vol. 63, No. S1. P. S228–S237. EDN KARVPW. <https://doi.org/10.1134/S0001437023070147>
6. Gao M., Li J.; Wang S., Zhang F., Yan K., Yin Z., Xie Y., Shen W. Smartphone-camera-based water reflectance measurement and typical water quality parameter inversion. // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. P. 1371. EDN EZEPHT. <https://doi.org/10.3390/rs14061371>
7. Werdell P.J., Franz B.A., Bailey S.W., et al. Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties // *Applied optics*. 2013. Vol. 52, No. 10. P. 2019–2037. <https://doi.org/10.1364/AO.52.002019>
8. Yushmanova A., Kopelevich O., Vazyulya S., Sahling I. Inter-annual variability of the seawater light absorption in surface layer of the northeastern Black Sea in connection with hydrometeorological factors // *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 7, No. 9. P. 326–344. EDN ICBIII. <https://doi.org/10.3390/jmse7090326>

References

1. Kopelevich OV, Saling IV, Vazyulya SV, et al. Bio-optical characteristics of the seas, surrounding the western part of Russia, from data of the satellite ocean color scanners of 1998–2017. Moscow: Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; 2018. 140 p. (In Russ).
2. Artemiev VA, Burenkov VI, Vortman MI, et al. Sea-truth measurements of ocean color: a new floating spectroradiometer and its metrology. *Oceanology*. 2000;40(1):139–145.
3. Lee Z, Carder KL, Mobley CD, Steward RG, Patch JS. Hyperspectral remote sensing for shallow waters. I. A semianalytical model. *Applied Optics*. 1998;37(27):6329–6338. <https://doi.org/10.1364/AO.37.006329>
4. Li ME, Shibanov EB, Korchemkina EN, Martynov OV. Determination of the concentration of seawater components based on upwelling radiation spectrum. *Physical Oceanography*. 2015;26(6):15–30. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2015-6-15-30>
5. Pavlova MA, Glukhovets DI, Volodin VD. Deck spectroradiometer for measuring remote sensing reflectance. *Oceanology*. 2023;63(Suppl 1): S228–S237. <https://doi.org/10.1134/S0001437023070147>
6. Gao M, Li J, Wang S, Zhang F, Yan K, Yin Z, Xie Y, Shen W. Smartphone-camera-based water reflectance measurement and typical water quality parameter inversion. *Remote Sensing*. 2022;14(6):1371. <https://doi.org/10.3390/rs14061371>
7. Werdell PJ, Franz BA, Bailey SW, et al. Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties. *Applied Optics*. 2013;52(10):2019–2037. <https://doi.org/10.1364/AO.52.002019>
8. Yushmanova AV, Kopelevich OV, Vazyulya SV, Sahling IV. Inter-annual variability of the seawater light absorption in surface layer of the northeastern Black Sea in connection with hydrometeorological factors. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2019;7(9):326. <https://doi.org/10.3390/jmse7090326>

Об авторах

ВОЛОДИН Всеволод Дмитриевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник ИО РАН, ORCID: 0000-0002-6686-056X, WoS ResearcherID: AES-4758-2022, Scopus AuthorID: 14027591000, SPIN-код (РИНЦ): 3032-0267, e-mail: volodin@geokhi.ru

ПАВЛОВА Мария Александровна, младший научный сотрудник ИО РАН, ORCID: 0009-0007-5117-0877, SPIN-код (РИНЦ): 6623-8493, e-mail: pavlova.ma@ocean.ru

ГЛУХОВЕЦ Дмитрий Ильич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией оптики океана ИО РАН, ведущий научный сотрудник, ORCID: 0000-0001-5641-4227, Scopus AuthorID: 7193736311, SPIN-код (РИНЦ): 6755-2450, e-mail: glukhovets@ocean.ru