

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХОДЯЩЕГО ИЗ МОРЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Каралли П.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва,  
Нахимовский пр., 36)*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет),  
141701, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9, 8(495) 408-45-54*

The spectral ocean reflectance was measured in the Barents Sea from satellite color scanners and a deck spectroradiometer. Developed a new deck spectroradiometer and produced modeling its output. The comparative analysis of the obtained results was conducted.

**Введение.** Спутниковые наблюдения позволяют проводить оценку биооптических характеристик подповерхностного слоя морей и океанов на больших акваториях и получать долговременные серии измерений. Однако, для обработки и валидации спутниковых данных необходимы натурные исследования, которые, в частности, включают судовые измерения спектральной яркости выходящего из моря излучения. Такие измерения проводились в 65-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» по маршруту Калининград – Архангельск 29 июня – 09 июля 2016 г. [1].

Одна из наиболее информативных гидрооптических характеристик – коэффициент яркости моря. Спектр восходящего излучения (от которого зависит коэффициент яркости моря) зависит от наличия в воде взвешенных частиц и растворенных органических веществ, таких как минеральная взвесь различного происхождения, клетки фитопланктона (и, в частности кокколитофоридов), содержащие хлорофилл *a* и другие пигменты, а также неживые органические частицы (детрит) и окрашенная органика («желтое вещество»). При этом количество неизвестных характеристик среды существенно превышает количество измеряемых параметров. Оценка характеристик водных масс по данным коэффициента яркости представляет собой классическую обратную задачу. Однако алгоритмы для решения этих задач, восстанавливающие концентрации примесей по спектру коэффициента яркости, недостаточно точны. Из-за региональной специфики вод оценки концентрации хлорофилла *a* по оптическим данным, в частности спутниковым, могут сильно отличаться от реальных значений, особенно в прибрежных районах.

**Используемые данные, подходы и методы.** Для оценки параметров поверхностных вод Баренцева моря использовались данные спутников MODIS-Aqua, MODIS-Terra и VIIRS. По возможности судовые измерения подстраивались под пролет данных спутников.

Для валидации данных параметров использовался палубный спектро радиометр, разработанный в Морском гидрофизическом институте (МГИ), г. Севастополь [2]. Прибор дает возможность определять коэффициент спектральной яркости восходящего от поверхности моря излучения, которое включает излучение, вышедшее из водной толщи, и отраженное от поверхности, и отдельно коэффициент яркости последнего.

**Результаты.** Измерения проводились по всему маршруту экспедиции; наибольший интерес представляют результаты, полученные в Баренцевом море, где наблюдалось раннее интенсивное кокколитофоровидное цветение. Обычно КЦ происходят в августе, редко в июле и сентябре; в 2016 г. интенсивное КЦ наблюдалось уже в первой декаде июля.

По данным спутниковых и судовых измерений производилось сопоставление спектральных характеристик излучения, выходящего из водной толщи. Расчеты показали их хорошее соответствие при благоприятных погодных условиях (рис.1).

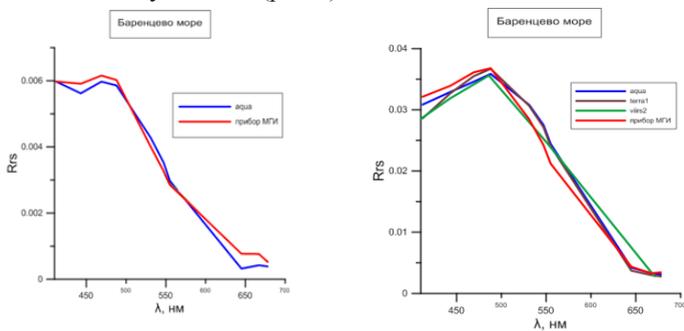


Рис.1. Сопоставление данных спутниковых измерений спектрального коэффициента яркости моря  $R_{rs}$  с данными судовых измерений палубным спектро радиометром на двух станциях в Баренцевом море: ст. 6527 (слева) вне зоны цветения, ст.6531 (справа) – в зоне.

**Модельные расчеты для разрабатываемого палубного спектрофотометра.** На основании данных, полученных в экспедиции, в настоящее время в рамках договора с Отделом оптики и биофизики моря ФГ-БУН МГИ, г. Севастополь выполняется разработка конструкции нового палубного морского спектрофотометра.

В разрабатываемом приборе предлагается новый подход к измерениям спектральных характеристик восходящего излучения моря, основанный на совмещении в одном устройстве преимуществ двухлучевого фотометра с фотоумножителем в качестве приемника светового излучения и фотометра прямого отсчета [3].

На основе технического задания по разрабатываемому палубному спектрофотометру, моделировались его выходные данные. Для этого рассчитывались коэффициенты яркости морской поверхности  $L_{sea}$  и небосвода  $L_{sky}$  в качестве исходных данных для расчётов, полученные в 65-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

На первом этапе вычислений ошибка рассчитывалась как отношение эквивалента шума канала яркости или облученности к коэффициенту яркости или облученности прибора для каждой длины волны. По результатам вычислений ошибка оказалась слишком малой. Поэтому для дальнейших вычислений было приятно решение считать величину ошибки равной 5%. В экспедиции производилось одно или три измерения для каждой станции. На основании этого расчеты ошибки также производились для одной или трех реализаций. Для того чтобы перейти к реальному спектральному разрешению для каждой исходной величины, искаженной ошибкой, применялось сглаживание по спектру, методом скользящего среднего для спектрального интервала 5 нм (рис.2).

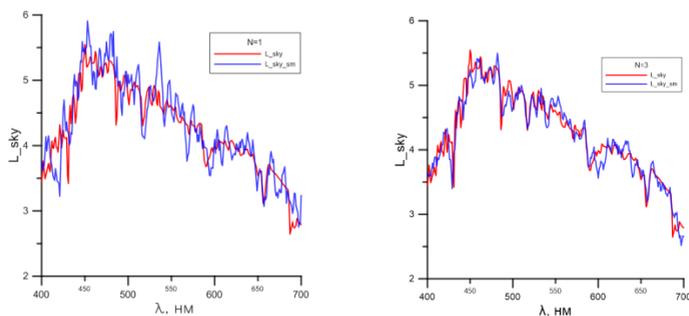


Рис.2. Сравнение исходных величин и величин, искаженных ошибкой и сглаженных методом скользящего среднего для канала яркости для реализаций  $N = 1$  (слева) и  $N = 3$  (справа) для станции 65.30 в Баренцевом море.

**Заключение.** Использование палубного спектрофотометра в научной экспедиции ИО РАН в 2016 г. в Балтийском, Норвежском и Баренцевом морях позволило провести измерения на ходу судна и выполнить валидацию результатов по спутниковым и судовым данным. Показано

их хорошее совпадение для станций, близких по времени с пролетом спутников.

Представлена методика и результаты модельных расчетов для оценки возможных ошибок измерений новым палубным спектрорадиометром, разрабатываемым в рамках договора ИО РАН с Морским гидрофизическим институтом РАН, г. Севастополь.

Автор выражает признательность зав. отделом оптики и биофизики моря МГИ РАН (Севастополь) проф. М.Е. Ли за предоставленную возможность использовать в рейсе палубный спектрофотометр МГИ, а также ст. научному сотруднику ИО РАН к.б.н. Л.А. Паутовой и зав. лабораторией экологии ЮО ИО РАН д.б.н. В.А. Силкину за данные по количественному и видовому составу фитопланктона.

Измерения в рейсе выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00800), предоставленного через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, модельные расчеты и подготовка доклада – гранта РНФ № 14-50-00095, предоставленного ИО РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Копелевич О.В., Артемьев В.А. Сравнение биооптических характеристик Балтийского, Норвежского и Баренцева морей – лето 2016 г. (65-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // *Океанология*. 2017. Т.57, № 2, С.374-376.
2. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В., Корчемкина Е.Н. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. Т. 186, № 6. С. 17–33.
3. Ли М.Е., Федоров С.В. Морской палубный многофункциональный спектрофотометр// Труды IX Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы оптики естественных вод». 2017. <http://onw2017spb.wixsite.com/>