

ИССЛЕДОВАНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Копелевич О.В.¹, Артемьев В.А.¹,
Вазюля С.В.¹, Глуховец Д.И.¹,
Салинг И.В.¹, Юшманова А.В.¹

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель выполненных исследований – получение для северо-восточной части Черного моря комплекса данных оптических и сопутствующих измерений в сочетании с данными спутниковых наблюдений для усовершенствования спутниковых методов оценки биооптических характеристик вод поверхностного слоя.

Были поставлены следующие основные задачи:

- натурные измерения комплекса оптических характеристик: спектральных коэффициентов яркости водной толщи; спектральной облученности поверхности моря и на разных горизонтах в водной толще, создаваемой нисходящим и восходящим потоками солнечного излучения; вертикальных профилей показателя ослабления света; спектральных показателей поглощения света морской водой; спектров флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ) и Chl-a, возбуждаемой лазерным излучением разных спектральных диапазонов; глубины видимости белого диска (относительной прозрачности морской воды);
- одновременные измерения гидрологической структуры вод и вертикального распределения флуоресценции Chl-a посредством STD-зонда;

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН E-mail: oleg@ocean.ru

- отбор проб с различных глубин для определения концентраций Chl-a и взвешенного вещества, количественного и видового состава фитопланктона, гидрохимических характеристик;
- сбор данных спутниковых сканеров цвета MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS в течение всего периода экспедиции, а также в предшествующий (начиная с апреля) и последующий (до конца июля) периоды;
- совместный анализ данных натуральных и спутниковых измерений для валидации спутниковых алгоритмов оценки параметров кокколидофоридного цветения, содержания хлорофилла и взвеси.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись на стандартном разрезе в створе Голубой бухты, а также на отдельных станциях на траверсе Геленджикской бухты. Карта расположения станций в период выполнения работ на этапе приведена на рисунке 6.1.

За время проведения этапа с 05.06 по 14.06.2017 г. были выполнены 4 выхода на МНИС «Ашамба»: 08, 09, 10 и 11 июня. Работы на дрейфовых станциях обычно начинались с

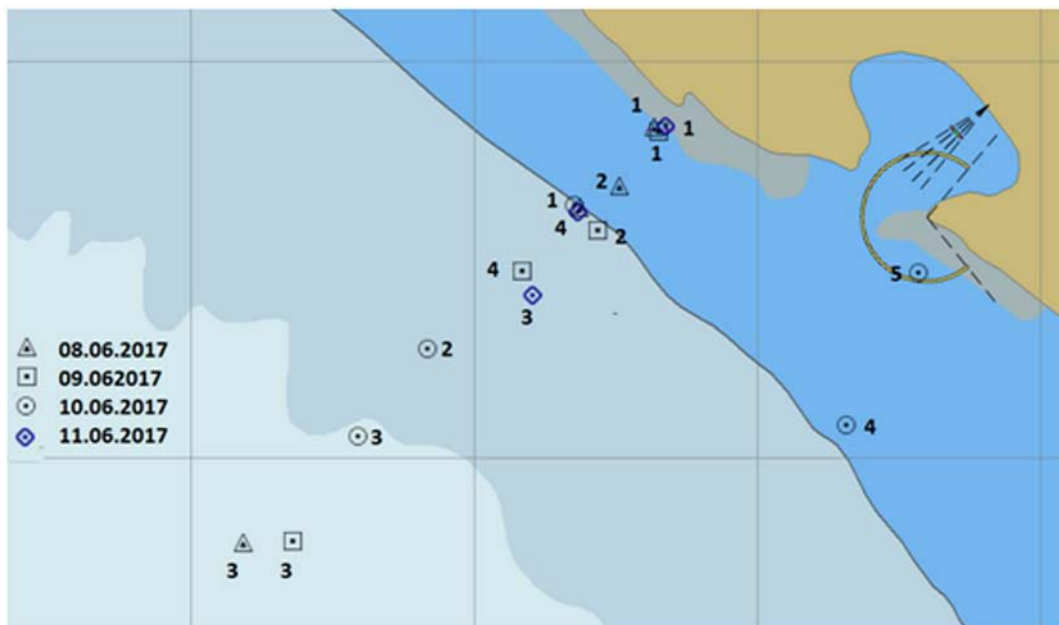


РИС. 6.1.

Расположение станций в период выполнения работ на этапе

гидрофизических измерений (зондирования STD-зондом и погружаемым прозрачномером). На мелководных станциях проводилось зондирование всей водной толщи и заканчивалось на расстоянии 3 метра до дна (расстояние определялось по альтиметру STD-зонда). На глубоководных станциях (≥ 500 метров) измерения проводились примерно до 160 метров и охватывали верхнюю границу сероводородного слоя. При сильном дрейфе работы на станции приостанавливались, и судно возвращалось к исходную точку. На некоторых мелководных станциях работы проводились на якоре.

Во время работы под спутником приоритет отдавался световым измерениям.

Гидрофизические измерения проводились в 2 этапа. На первом проводилось зондирование до максимальной глубины с измерением вертикальных профилей погружаемым прозрачномером. После подъема на палубу данные прозрачномера считывались и сопоставлялись с данными, полученными STD-зондом. Выбирались горизонты для отбора проб. Стандартный отбор производился с трех горизонтов: 1 м, максимум и под максимумом флуоресценции, при необычном профиле добавлялся еще один горизонт. Отобранные пробы подготавливались для транспортировки в береговую лабораторию для измерений на лабораторных приборах спектральных показателей поглощения света морской водой и спектров флуоресценции РОВ и пигментов фитопланктона, для определений концентраций хлорофилла и взвеси, количественного и видового состава фитопланктона, гидрохимических характеристик в лабораториях ЮО ИО РАН и в Москве.

Спутниковые данные скачивались ежедневно с сайта NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>), где они размещаются в свободном доступе. Использовались данные уровня L2 спутниковых сканеров цвета MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS, полученные в безоблачных условиях. По эти данным посредством региональных алгоритмов рассчитывались показатели поглощения желтым веществом и рассеяния назад взвешенными частицами, концентрации Chl-a и взвешенного вещества, параметры кокколитофоридных цветений (Korelevich et al., 2014, 2015). Результаты расчетов использовались для построения карт пространственных распределений вышеуказанных параметров и температуры поверхности моря (по данным сканера MODIS-Aqua); карты уровня L3 рассчитывались усреднением данных L2 на сетке 3х3 км. При благоприятных погодных условиях во время подспутниковых измерений на станции проводилось количественное сопоставление значений параметров, рассчитанных по спутниковым значениям уровня L2 и усредненных по 9 пикселям вокруг данной станции, с данными прямых определений.

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Измерения производились комплексом специализированной оптической аппаратуры. Перед отправкой в экспедицию все приборы комплекса прошли техническое обслуживание и калибровку в лаборатории оптики океана ИО РАН.

Плавающий спектрорадиометр ПРО-2 (рис. 6.2а) – основной прибор для верификации данных спутниковых измерений и разработки региональных биооптических алгоритмов (Артемьев и др., 2000). Он измеряет абсолютные величины спектральной яркости восходящего излучения непосредственно под поверхностью моря и спектральной облученности на поверхности, по которым рассчитывается спектральный коэффициент яркости водной толщи. Измерения выполняются на станциях. Результаты серии измерений (обычно 30 циклов) усредняются с помощью специально разработанного алгоритма. Непрерывный контроль изменений поверхностной облученности в этой экспедиции во время измерений осуществляется с помощью палубного блока измерителя облученности ВИС (Khrapko et al., 2007), установленного на баке МНИС «Ашамба» в свободном от затенения месте (рис. 6.2б). Для увеличения динамического диапазона канала яркости ПРО-2 используется нейтральный ослабитель в виде сетки.

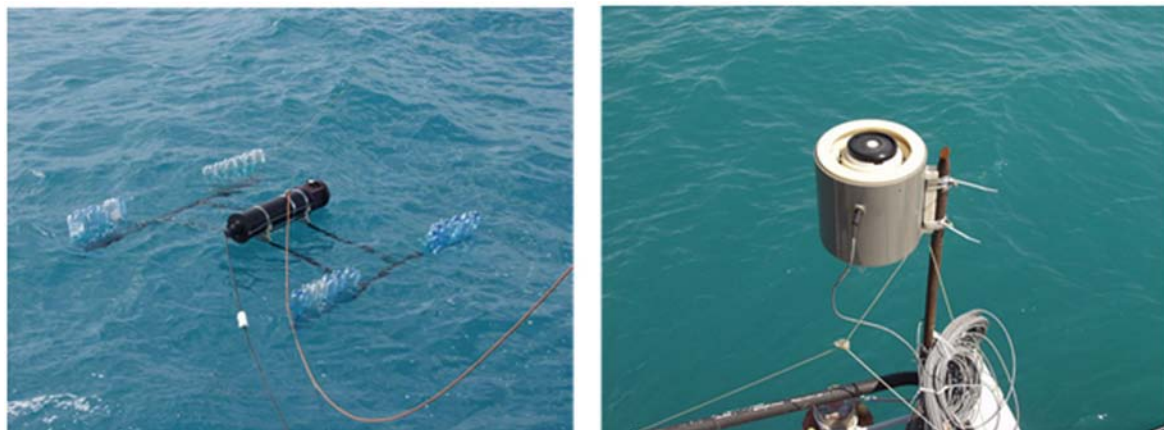


РИС. 6.2.

Плавающий спектрорадиометр ПРО-2 (слева) и палубный блок измерителя облученности ВИС (справа)

Перед экспедицией оба прибора были откалиброваны в лаборатории ИО РАН с помощью вторичного эталона спектральной облученности.

Гиперспектральный радиометр Ramses (модель IPS104-2) предназначен для измерения спектров облученности в диапазоне длин волн 320–1100 нм. Прибор устанавливался на специальной раме и опускался на тросе на заданный горизонт; информация передавалась на палубный блок по кабелю (рис. 6.3); регистрация и обработка информации проводилась с помощью специально разработанных программ.

Измерения проводились в течение 20 секунд (для усреднения), после чего прибор опускался на следующий горизонт и так далее. Глубина погружения определялась с помощью встроенного датчика давления.

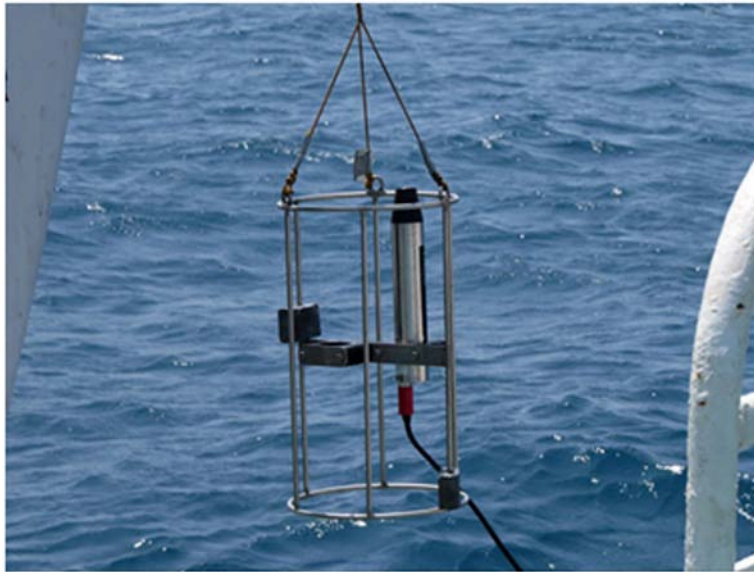


Рис. 6.3.

Гиперспектральный радиометр Ramses

Для проведения измерений облученности снизу, создаваемой восходящим потоком солнечного излучения, прибор поднимался на палубу и устанавливался на раме коллектором вниз, измерения повторялись. По данным спектральных измерений подводной облученности сверху и снизу рассчитывались спектральные коэффициенты диффузного отражения $R_d(z)$ и показатели диффузного ослабления подводной облученности сверху $K_d(z)$ и снизу $K_u(z)$ в зависимости от глубины z .

Прибор откалиброван компанией TRIOS по стандартам NIST.

Измеритель показателя ослабления (прозрачномер) ПУМ предназначен для измерения вертикального распределения показателя ослабления света C и температуры T в зондирующем режиме (Артемьев и др., 2008). Напряжение питания подается от встроенных аккумуляторов, запись информации производится на внутреннюю энергонезависимую память. После окончания зондирования информация считывается на ноутбук напрямую, через интерфейсный кабель или через промежуточное устройство переноса данных. Включение прибора производится внешним магнитом. В экспедиции для экономии времени заборных работ прозрачномер ПУМ устанавливался на раме системы отбора проб STD-зонда – измерения проводились одновременно двумя приборами (рис. 6.4). Ошибка измерения абсолютных значений показателя ослабления воды составляет порядка 0.02 м^{-1} при значениях $C \leq 1.0 \text{ м}^{-1}$, когда в измеряемом объеме воды

преобладает однократное рассеяние; при больших значениях S проявляется многократное рассеяние, и ошибка возрастает. Контроль стабильности работы ПУМ производится по значениям показателя ослабления света на воздухе.

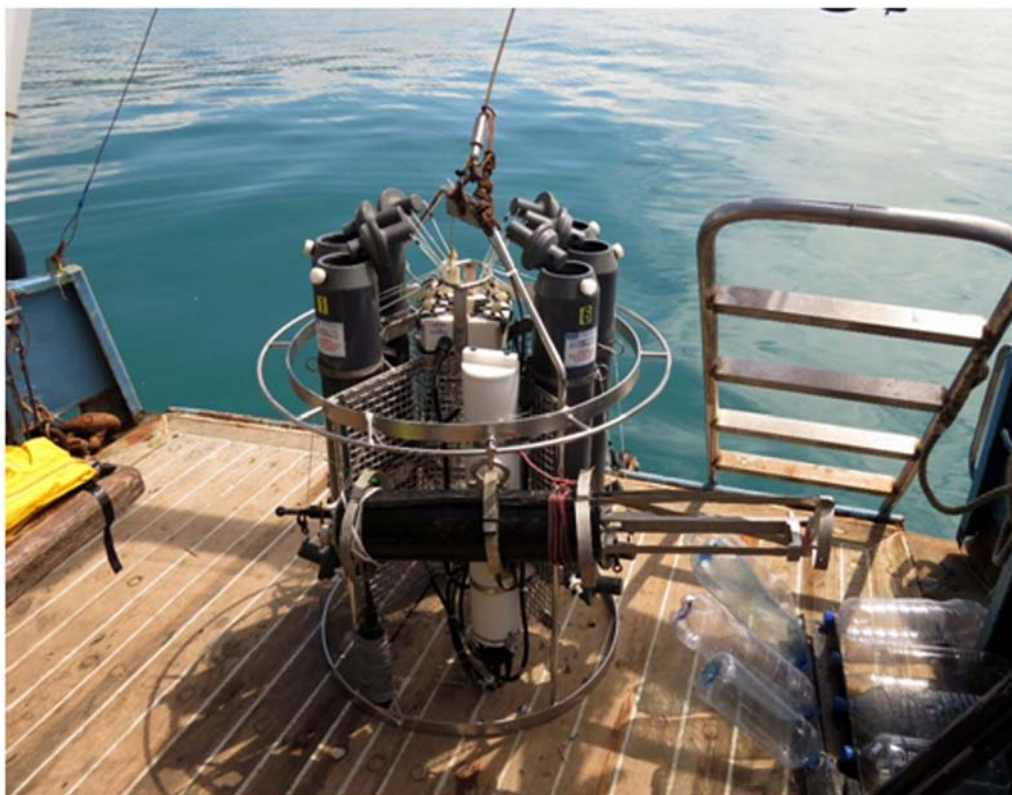


РИС. 6.4.

Прозрачномер ПУМ и CTD-зонд на раме батометрической системы отбора проб

Калибровка прибора проводится ежегодно в лабораторных условиях в ванне с бидистиллированной водой с разными оптическими базами.

CTD-зонд с системой отбора проб SBE 19 plus (рис. 6.4) использовался для измерения вертикальных распределений гидрологических параметров морской воды: температуры, солености и плотности, а также флуоресценции Chl-a в зависимости от глубины погружения. По команде с палубного модуля производилось поочередное закрытие одного из 6 пятилитровых батометров. Измерения проводились в реальном масштабе времени – обмен информацией между погружаемой частью и палубным блоком осу-

ществлялся по одножильному кабель-тросу, информация о текущих значениях измеряемых величин выводилась на экран ноутбука.

Портативный спектрофотометр в конфигурации ICAM (Integrating Cavity Absorption Meter) разработан на кафедре биофизики Биологического факультета МГУ (рис. 6.5).

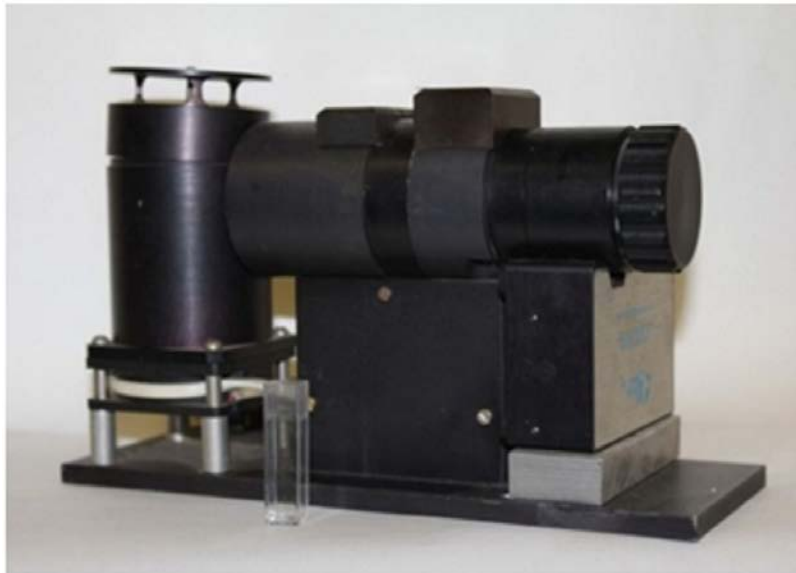


РИС. 6.5.

Портативный спектрофотометр (Погосян и др., 2009)

Основная часть прибора – интегрирующая сфера, внутренняя поверхность которой имеет специальное диффузно отражающее покрытие с очень высоким коэффициентом отражения; для проведения измерения сфера заполняется исследуемой водой. Коллимированный пучок света от лампы мощностью 100 Вт направляется внутрь сферы, после многократных отражений часть рассеянного водой излучения выводится на спектрометр USB 4000 (Ocean Optics, США) через небольшое боковое отверстие, расположенное вне оси входного светового пучка; входной пучок в спектрометр не попадает. Перед проведением измерений с морской водой проводятся измерения в пустой сухой сфере и в сфере, заполненной чистой дистиллированной водой. Расчет показателя поглощения проводится с помощью программы, разработанной в Лаборатории оптики океана ИО РАН (Глуховец и др., 2017).

Двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 разработан в Лаборатории оптики океана ИО РАН и предназначен для регистрации спектров флуоресценции PОВ и Chl-a,

возбуждаемой лазерным излучением фиолетового и зеленого диапазона (Гольдин и др., 2015). В качестве источников возбуждающего излучения используются малогабаритные полупроводниковые лазеры с длинами волн излучения $\lambda_1 = 405$ нм и $\lambda_2 = 532$ нм. Исследуемый образец морской воды заливается в кювету из оптического стекла емкостью 35 мл. Прошедшее через кювету излучение, обусловленное флуоресценцией, по гибкому световоду поступает на вход малогабаритного спектрометра Ocean Optics Flame. Спектральный диапазон регистрации 200–850 нм. Питание спектрометра и передача данных в ПК осуществляется по USB-кабелю. Для управления спектрометром, а также для обработки и регистрации спектров используется специальная программа Ocean Optics Spectra Suit. Общий вид лазерного спектрометра показан на рисунке 6.6.



РИС. 6.6.

Лазерный спектрометр ЛС-2

Белый диск (диск Секки) использовался для определения глубины видимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период экспедиции на 16 дрейфовых станциях был выполнен полный комплекс измерений всеми оптическими приборами, проведен отбор проб на видовой состав фитопланктона, хлорофилл, взвесь и гидрохимию. Обработка данных спутниковых измерений показала, что в 2017 году в районе исследований наблюдалось самое мощное кокколитофоридное цветение за всю историю наших спутниковых наблюдений с 1998 г. (Копелевич и др., 2015): максимальное значение концентрации клеток кокколитофорид по всем спутниковым данным составило около 15 млн кл/л, тогда как в 2016 г. было ~ 1.5 млн кл/л, в 2015 - < 0.5 млн кл/л.

На рисунке 6.7а в качестве примера приведены результаты гидрофизических измерений на станции 3_11.06.2017 г., а на рис. 6.7б – профили показателя ослабления и температуры по данным прозрачномера ПУМ. По сравнению с 2016 годом значения показателя ослабления в подповерхностном слое на этой станции возросли с 1.2 до ~ 3 м⁻¹, при этом толщина слоя цветения практически не изменилась и составила ~ 10 м, существенно уменьшилась глубина видимости белого диска: с 7 до 2 м, что соответствует результатам спутниковых измерений.

Следует отметить низкие значения флуоресценции хлорофилла в поверхностном слое, что характерно для цветения кокколитофорид, у клеток которых невысокое удельное содержание Chl-a. Максимум флуоресценции располагается на нижней границе слоя цветения, на глубине ~ 9 м. Аналогичная ситуация наблюдалась и в экспедиции 2016 года.

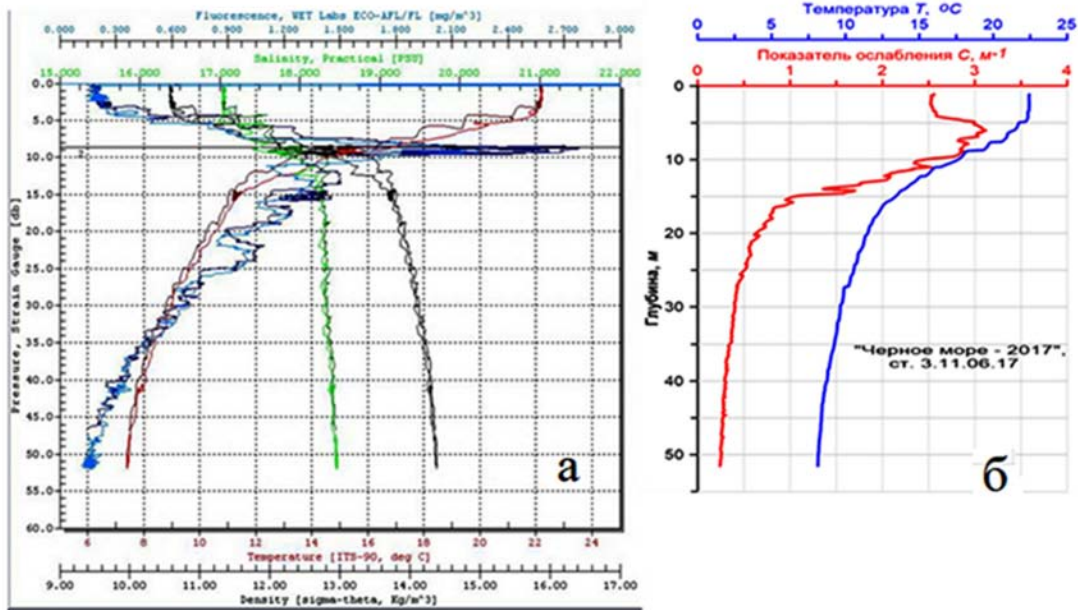


РИС. 6.7.

Станция 3_11.06.2017г. Профили температуры, солёности, плотности и флуоресценции по данным STD-зонда (а), показателя ослабления и температуры по данным прозрачномера ПУМ (б)

На рис. 6.8 показаны вертикальные распределения показателя ослабления, концентрации хлорофилла, клеток кокколитофорид и взвеси по данным прямых определений

на пробах на прибрежной станции 1 (глубина 25 м) и глубоководной станции 3 (глубина ~1500 м) 08.06.2018 г.

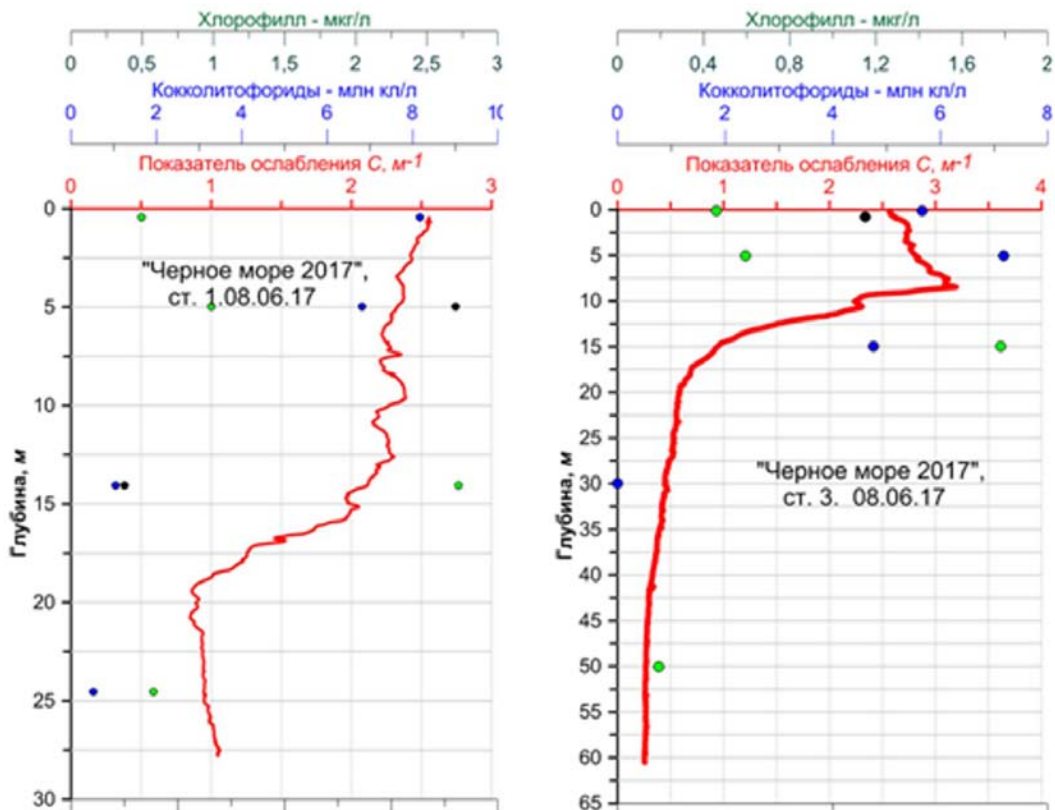


РИС. 6.8.

Вертикальные распределения показателя ослабления (красные профили), концентраций хлорофилла (зеленые кружки), клеток кокколитофорид (синие) и взвеси (черные) на прибрежной станции 1 (глубина 30 м) (слева) и глубоководной станции 3 (глубина ~1500 м) (справа) 08.06.2018 г.

Обратим внимание, что на обеих станциях высокая концентрация клеток кокколитофорид (порядка 6-8 млн кл/л) наблюдается в верхнем 5-метровом слое, а концентрация хлорофилла в этом слое невелика: 0.5-1.0 мкг/л на прибрежной станции и 0.4-0.6 мкг/л на глубоководной. На горизонтах 14-15 м концентрация клеток кокколитофорид уменьшается до ~1 млн кл/л на прибрежной и ~2 млн кл/л на глубоководной, тогда как концентрация хлорофилла, наоборот, возрастает – до 2.7 мкг/л и 1.8 мкг/л соответственно. Это связано с изменением видового состава фитопланктона – в верхнем 5-метровом

слое безраздельно доминируют кокколитофориды – 95-95% по биомассе на прибрежной станции и 89-97% на глубоководной. На горизонте 14-15 м их доля сокращается до 67-71%, появляются другие доминантные виды – динофлагелляты (17.6 и 10.3%) и мелкие флагелляты (10.3 и 16.6%) соответственно на прибрежной и глубоководной станциях. Удельное содержание хлорофилла у этих видов выше, чем у кокколитофорид, что и приводит к увеличению концентрации хлорофилла.

По результатам измерений гиперспектральным радиометром Ramses рассчитывались параметры распространения солнечной радиации в водной толще, в частности показатели диффузного ослабления нисходящей и восходящей облученности K_d и K_u . На рисунке 6.9 показаны вертикальные распределения величин подводной облученности (и показателей K_d и K_u) сверху и снизу для различных спектральных диапазонов. На рисунке 6.10 приведены вертикальные распределения величин ФАР (станция 3_08.06.2017 г.). На этих графиках стратификация показателя ослабления отразилась в виде изменения наклона кривых вблизи горизонта 10 м.

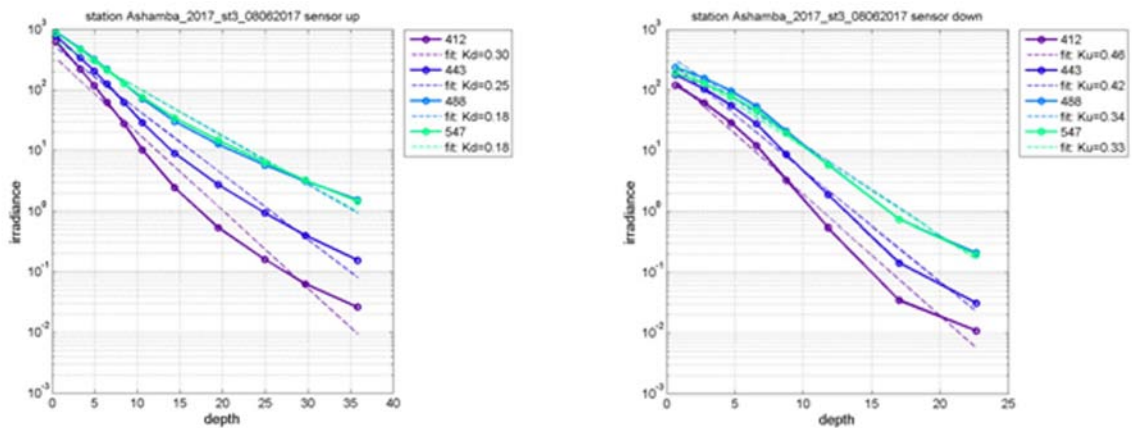


РИС. 6.9.

Станция 3_08.06.2017 г. Вертикальное распределение величин подводной облученности и значения показателей диффузного ослабления K_d и K_u сверху (слева) и снизу (справа) (мВт м⁻² нм⁻¹) для четырех спектральных каналов: 412, 443, 488 и 547 нм

Флуоресцентные измерения проводились с помощью лазерного спектрометра ЛС2. Синий лазер (401 нм) позволяет получить информацию о спектре флуоресценции окрашенной части растворенного органического вещества (ОРОВ) и Chl-a, зеленый и оранжевый (532 и 595 нм) - Chl-a, фикоэритрина, фикоцианина и некоторых других пигментов фитопланктона.

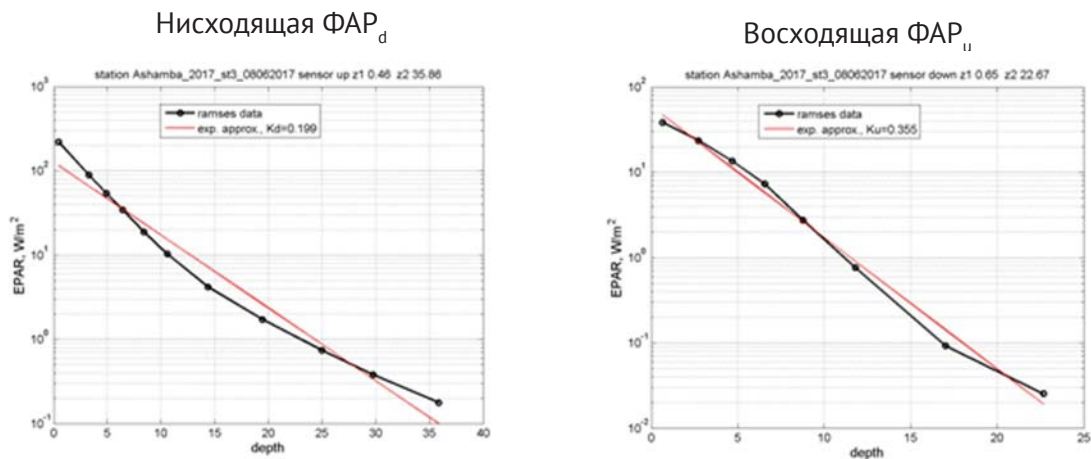


РИС. 6.10.

Вертикальные распределения ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) по глубине, м

На рисунке 6.11 представлены спектры флуоресценции, полученные на ст. 4_09.06.2017. Можно отметить относительно невысокое содержание ОРОВ и Chl-a (пик с максимумом около 682 нм). При возбуждении длиной волны 595 нм проявляется флуоресценция фикоэритрина, что говорит о присутствии в воде цианобактерий.

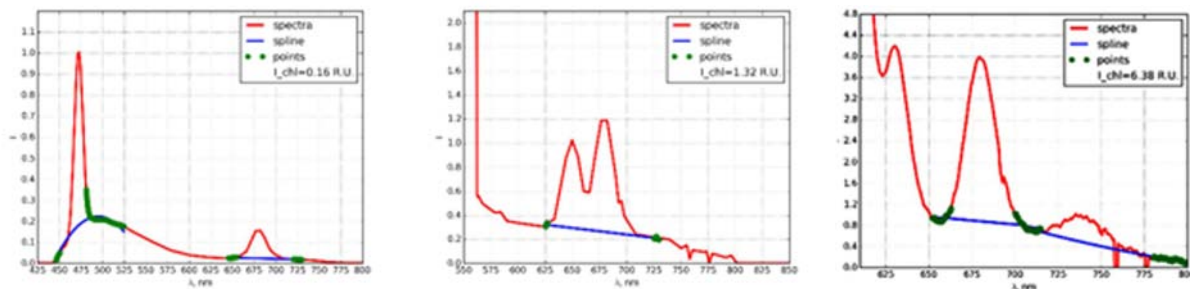


РИС. 6.11.

Спектры флуоресценции проб морской воды при длине волны возбуждения 401 нм (слева), 532 нм (в центре) и 595 нм (справа). Горизонт 15 м

Измерения показателя поглощения света морской водой выполнялись с помощью портативного спектрофотометра в конфигурации ICAM. На левом рисунке 6.12 показаны спектры показателя поглощения морской водой для ст. 4_08.06.2017. Низкие значе-

ния показателя поглощения в области 400–450 нм говорят о низком содержании ОРОВ, что согласуется с результатами флуоресцентных измерений. На правом рисунке 6.12 показаны спектры поглощения взвешенными в воде частицами, которые рассчитывались как разность между измеренными спектральными величинами показателя поглощения морской водой до и после ее фильтрации через фильтр с размером пор 0.4 мкм. Ненулевое поглощение в области 700 нм обусловлено главным образом терригенной взвесью, поскольку поглощение хлорофилла после максимума вблизи 680 нм быстро уменьшается до нуля. В области 420–460 нм сосредоточены коротковолновые пики поглощения Chl-а и хлорофилла «с» (полосы Core). Поглощение в диапазоне 480–540 нм в значительной степени обусловлено каротиноидами. В области 600–700 нм расположены длинноволновые полосы поглощения Chl-а и хлорофилла «с».

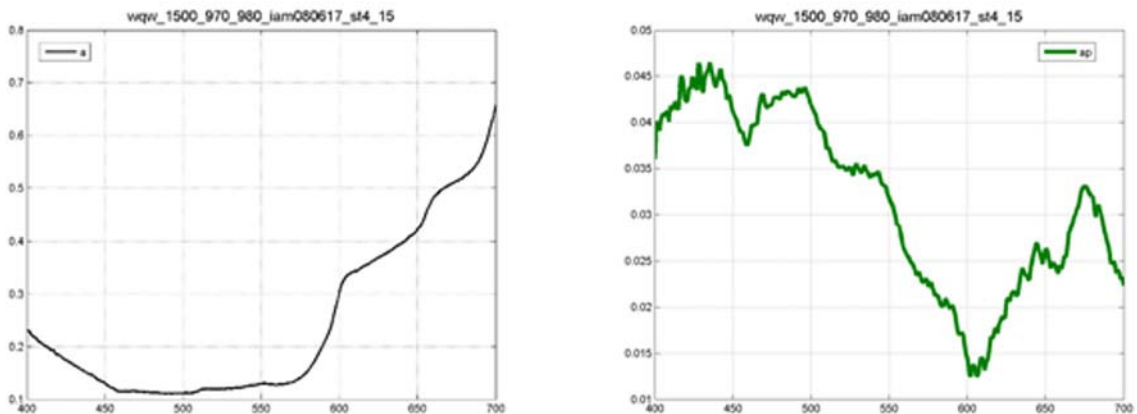


РИС. 6.12.

Спектры показателя поглощения морской водой (слева) и взвешенными частицами (справа). Горизонт 15 м, Черное море, 8 июня 2017 г.

На рис. 6.13 показана связь между концентрацией хлорофилла по данным прямых определений на пробах и показателем поглощения взвешенного вещества $a_p(680)$ на длине волны 680 нм, измеренным на приборе ICAM (20 пар измерений). Как видно, между этими величинами существует достаточно тесная корреляционная связь – коэффициент детерминации R^2 равен 0.531 (коэффициент корреляции 0.729), что позволяет надеяться на разработку алгоритма для экспрессной оценки концентрации хлорофилла по данным о показателе поглощения.

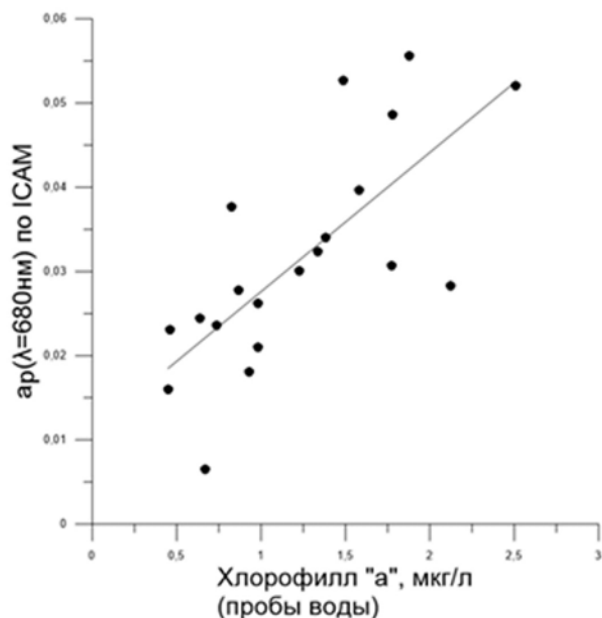


РИС. 6.13.

Связь между концентрацией хлорофилла по данным прямых определений на пробах и показателем поглощения взвешенным веществом $a_p(680)$ на длине волны 680 нм, измеренным на приборе ICAM

Валидация спутниковых алгоритмов оценки биооптических параметров вод поверхностного слоя.

Как уже отмечалось выше, в 2017 году в северо-восточной части Черного моря наблюдалось самое мощное кокколитофоридное цветение за всю историю наших спутниковых наблюдений с 1998 г. Благодаря благоприятным погодным условиям по спутниковым наблюдениям удалось проследить зарождение и развитие этого цветения, начиная с середины мая до первой половины июня (рис. 6.14).

Как можно видеть из рисунка 6.14, цветение началось примерно в середине мая и достигло максимума в конце мая – первой декаде июля. Хотя цветение было необычным по интенсивности, отмеченная ранее закономерность (Буренков и др., 2011; Kopelevich et al., 2015) качественно проявилась и в 2017 г. – этому цветению предшествовала аномально холодная зима (средняя температура в феврале для восточной половины моря составила 7.95°C для открытой части и 7.65°C для шельфовой зоны).

Концентрации клеток кокколитофорид, рассчитанные по спутниковым данным посредством ранее разработанного регионального алгоритма (Kopelevich et al., 2014), вполне удовлетворительно согласуются с данными прямых микроскопических определений (эти определения проводились с.н.с. ИО РАН Л.А. Паутовой). Спутниковые кон-

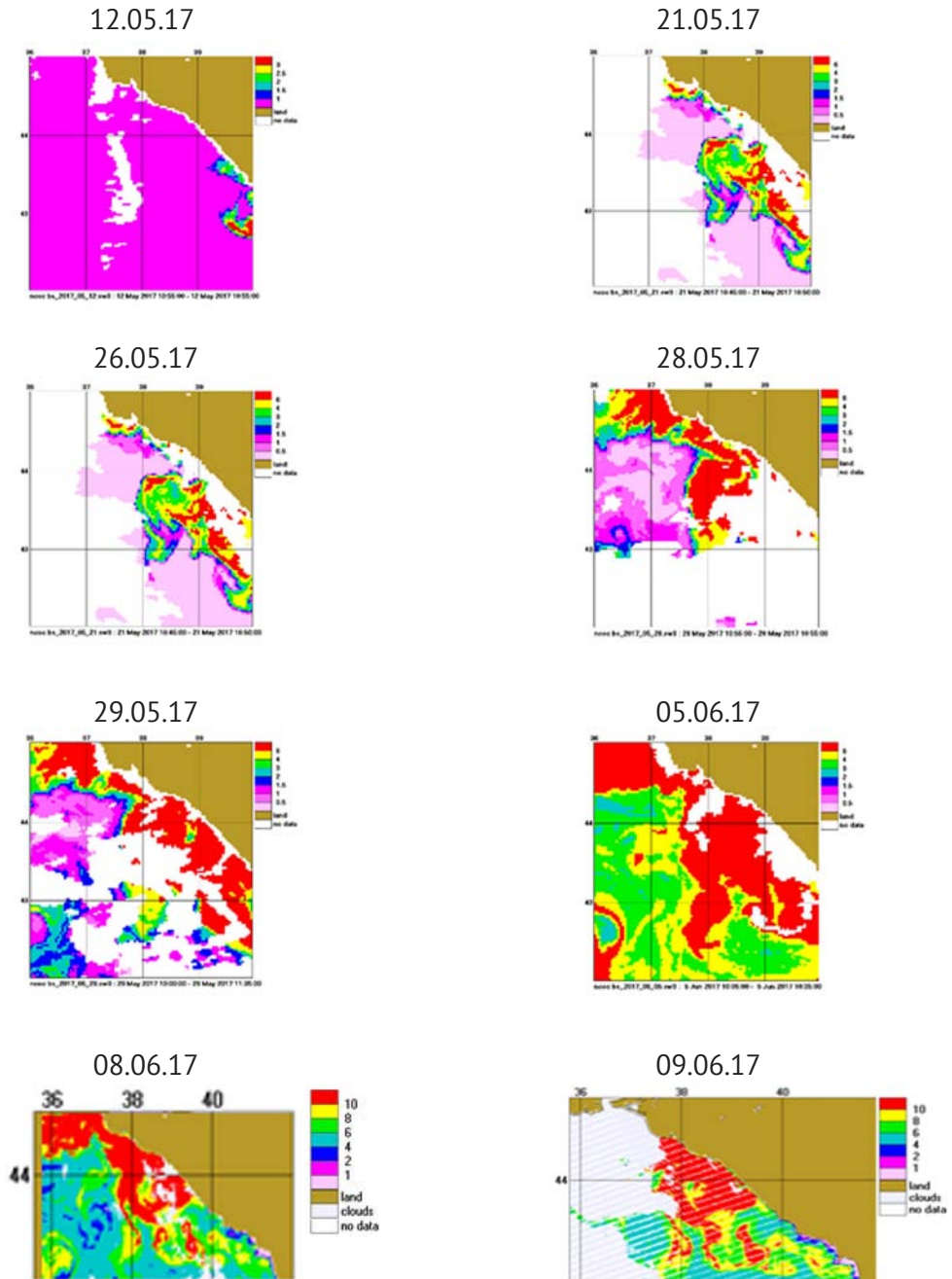


РИС. 6.14.

Развитие кокколитофоридных цветений в северо-восточной части Черного моря с 12 мая до 9 июня 2017 г. по данным спутниковых сканеров цвета (концентрация клеток кокколитофорид N_{coc} , млн кл./л)

центрации оказались выше измеренных на пробах, но различия находятся в пределах оцененной ранее точности алгоритма. Так, максимальное по спутниковым данным значение концентрации клеток кокколитофорид N_{coc} было рассчитано для ст.3_11.06.2017 - ≈ 13 млн кл/л (данные сканера VIIRS); прямые определения для этой станции дали значение 8.1 млн кл/л, а на соседней станции 2_11.06.17 - 9.6 млн кл/л. Как видно, относительная ошибка составляет порядка 50%, что можно считать вполне удовлетворительно.

На рис. 6.15 сопоставляются значения концентрации хлорофилла по данным прямых определений на пробах и рассчитанные по спутниковым данным. Как видно из рисунка, концентрации, рассчитанные по спутниковым данным, удовлетворительно согласуются с данными прямых измерений (измерения выполнялись с.н.с. ИО РАН С.А. Мошаровым). Коэффициент детерминации составил 0.679 (коэффициент корреляции 0.824), ошибка регрессии - 0.033 мкг/л, среднее значение по данным прямых определений - 0.48 мкг/л, по спутниковым - 0.42 мкг/л.

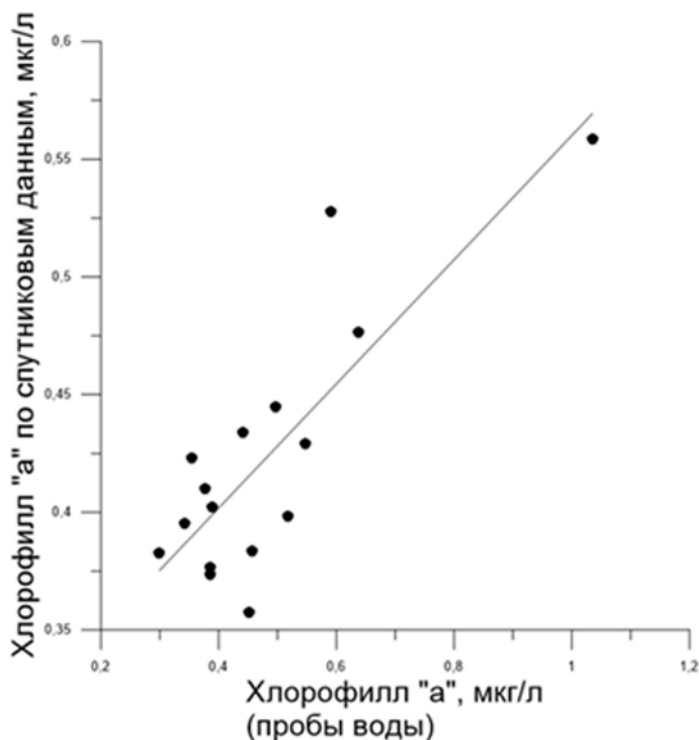


РИС. 6.15.

Сопоставление значений концентрации хлорофилла по данным прямых определений на пробах и по спутниковым данным

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В период экспедиции на 16 дрейфовых станциях выполнен полный комплекс оптических и сопутствующих измерений, проведен отбор проб для определения концентрации хлорофилла и взвеси, количественного и видового состава фитопланктона, гидрохимических характеристик. Одновременно собирались данные спутниковых сканеров цвета MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS, по которым с помощью разработанных ранее региональных алгоритмов рассчитывались биооптические параметры вод поверхностного слоя.
2. Обработка спутниковых данных показала, что в 2017 г. в районе исследований имело место самое мощное за всю историю наблюдений (с 1998 г.) кокколитофоридное цветение, концентрация клеток достигала значений 15 млн кл/л. Спутниковые наблюдения позволили установить, что цветение началось примерно в середине мая и достигло пика к концу первой декады июня.
3. Сопоставление рассчитанных по спутниковым данным концентраций клеток кокколитофрид и хлорофилла с данными прямых определений показало удовлетворительное согласие рассчитанных и измеренных значений и подтвердило работоспособность разработанных региональных алгоритмов.

Авторы выражают благодарность Е.В. Бардюковой, А.В. Зинченко, А.В. Лифанчук, А.И. Меньшикову, С.А. Мошарову, В. Очереднику, Л.А. Паутовой, В.А. Силкину, А.В. Федорову, С.В. Шеберстову, внесшим свой вклад в проведение измерений и обработку данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 6

1. *Артемов В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Храпко А.Н.* Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 1. С. 148-155.
2. *Артемов В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В.* Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света / «Комплексные исследования Мирового океана – проект «Меридиан», Атлантический океан». М.: Наука, 2008. С. 165-172.
3. *Буренков В.И., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Вазюля С.В.* Сезонные и межгодовые изменения биооптических характеристик Черного моря по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 4. С. 190-199.

4. Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Копелевич О.В., Зайцева А.Ф., Погосян С.И. Измерения показателя поглощения морской воды с помощью интегрирующей сферы // Светотехника. 2017. № 5. С. 39-43.
5. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцукт Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8. № 1. С. 17-26.
6. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Салинг И.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И. Электронный атлас «Биооптические характеристики морей России по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2014 гг.» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 99-110.
7. Погосян С.И., Дургарян А.М., Конюхов И.В., Чукунова О.Б., Мерзляк М.Н. Абсорбционная спектроскопия микроводорослей цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // Океанология. 2009. Т. 49. С. 934-939.
8. Khrapko A.N., Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Grigoriev A.V., Terekhova A.A., «New instrument for measuring surface and underwater irradiances», Proceedings of IV International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2007). Nizhny Novgorodburg. Sep. 2007. P. 271-275.
9. Kopelevich O., Burenkov V., Sheberstov S., Vazyulya S., Kravchishina M., Pautova L., Silkin V., Artemiev V., Grigoriev A. Satellite monitoring of coccolithophore blooms in the Black Sea from ocean color data // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 146. 25 April 2014. P. 113-123. doi:10.1016/j.rse.2013.09.009.
10. Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V., Vazulya S.V., Sahling I.V. Coccolithophore Blooms in the North-Eastern Black Sea // Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 15. 06-10 October 2015. Varna, Bulgaria, MEDCOAST, Mediterranean Coastal Foundation, Dalyan, Mugla, Turkey. 2015. V.I. P. 363-374.