

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.463.5:629.78

Г.К. Коротаев, Г.А. Хоменко, М. Шами, Г.П. Берсенева, О.В. Мартынов, М.Е. Ли, Е.Б. Шибанов, Т.Я. Чурилова, А.С. Кузнецов, А.К. Куклин

Международный подспутниковый эксперимент на океанографической платформе (пос. Кацивели)

В работе приводятся описание и предварительные результаты международного подспутникового эксперимента на океанографической платформе, расположенной в Черном море у южного побережья Крымского п-ова в районе пос. Кацивели. Указаны краткие сведения об аппаратурном и информационном обеспечении эксперимента. Представлены предварительные результаты: данные о временной изменчивости биооптических параметров и их взаимосвязи. Эти данные, охватывающие значительный диапазон изменений биооптических свойств моря, могут быть использованы в дальнейшем для количественных сопоставлений с данными сканеров *MERIS*, *MODIS* и *SeaWiFS*.

Введение. Наблюдения цвета моря из космоса были начаты в конце 70-х — начале 80-х годов прошлого века. Уже первые экспериментальные измерения цветовым сканером *CZCS*, установленным на спутнике «Нимбус-7», и трассовым прибором *МКС*, работавшим на спутнике «Интеркосмос-21», показали высокую информативность наблюдений в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн и возможность количественного определения концентрации фитопланктона в водах Мирового океана. Вторая половина 90-х годов прошлого века ознаменовалась качественно новым этапом в проведении наблюдений цвета моря с искусственных спутников Земли. Запущенные в 1996 г. сканеры *МОЗ*, *OCTS* и *SeaWiFS* имели уже намного лучшие аппаратные характеристики и осуществляли измерения в широкой полосе непрерывно во времени. Существенно усовершенствовались также алгоритмы обработки измерений, в частности, алгоритмы атмосферной коррекции.

Вместе с тем точность определения концентрации фитопланктона по данным спутниковых измерений все еще остается неудовлетворительной. Погрешности расчетов определяются как многообразием атмосферного аэрозоля, влияние которого не вполне адекватно устраняется современными методами атмосферной коррекции, так и многопараметричностью морской воды, особенно сильно проявляющейся в прибрежных водах.

Выявление причин недостаточной адекватности алгоритмов обработки спектральных спутниковых наблюдений в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн и их дальнейшее совершенствование требуют более глубокого понимания закономерностей формирования излучения в системе океан — атмосфера. Этой цели служат специально спланированные натурные эксперименты, позволяющие тестировать алгоритмы обработки спутниковых измерений путем сопоставления с данными непосредственных измерений оптических

© Г.К. Коротаев, Г.А. Хоменко, М. Шами, Г.П. Берсенева, О.В. Мартынов, М.Е. Ли, Е.Б. Шибанов, Т.Я. Чурилова, А.С. Кузнецов, А.К. Куклин, 2004

и биологических параметров. Задача валидации спутниковых алгоритмов естественным образом распадается на две подзадачи.

Первой подзадачей является проведение измерений восходящего из моря излучения и спектрального коэффициента яркости моря, которые позволяют тестировать алгоритмы атмосферной коррекции. Новые результаты тестирования алгоритма атмосферной коррекции для сканера *SeaWiFS*, полученные в районе Бермудских о-вов, показывают удовлетворительное соответствие результатам обработки спутниковых измерений. Следует, однако, иметь в виду, что атмосферный аэрозоль в районе Бермудских о-вов типичен для условий открытого океана и полученные экспериментальные данные свидетельствуют о работоспособности стандартного алгоритма атмосферной коррекции в этих условиях. В других районах Мирового океана, особенно в прибрежных его областях и окраинных морях, аэрозоль может иметь более сложный состав и плохо учитываться стандартными процедурами коррекции. В этой связи необходимы дальнейшие исследования трансформации солнечного излучения в атмосфере и развитие региональных алгоритмов атмосферной коррекции на основе сопоставления спутниковых и контактных измерений. Основой для исследований могут быть спектральные измерения атмосферной оптической толщины, падающего и восходящего излучений на поверхности моря, проводимые синхронно с наблюдениями с ИСЗ.

Вторая подзадача дистанционного определения характеристик морской среды на основании измерений в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн связана с восстановлением концентрации хлорофилла по известному спектру восходящего излучения. В целом для исследования этой проблемы не требуется привлечение дистанционных измерений. Однако необходимо иметь возможность измерять одновременно спектральный коэффициент яркости моря и спектры поглощения и рассеяния взвешенным и растворенным в морской воде веществом. Вплоть до настоящего времени наибольшие трудности вызывали измерения индикатрисы рассеяния морской воды.

Точные количественные наблюдения планктона и взвесей в прибрежных водах отчасти также затруднены вследствие недостаточной разрешающей способности спектрометрических измерений с ИСЗ. Типичное пространственное разрешение цветковых сканеров, таких как *SeaWiFS*, составляет один километр, что вполне достаточно для наблюдений в открытом море. Однако типичные пространственные масштабы процессов в прибрежной зоне имеют порядок нескольких сотен метров. Поэтому прямое сопоставление для прибрежной зоны точечных контактных данных с измерениями сканера *SeaWiFS*, осредненными по площади в квадратный километр, сопряжено с дополнительными неконтролируемыми погрешностями.

В настоящей работе приводятся описание и предварительные результаты специально спланированного подспутникового эксперимента на океанографической платформе, расположенной в Черном море у южного побережья Крымского п-ова в районе пос. Кацивели. Целью эксперимента являлся сбор данных об оптическом состоянии атмосферы и верхнего слоя моря, необходимых для совершенствования регионального алгоритма атмосферной коррекции и исследований закономерностей формирования восходящего из моря

излучения, а также валидации стандартных алгоритмов обработки спутниковых измерений сканерами *MERIS*, *MODIS* и *SeaWiFS* в прибрежном районе Черного моря. Эксперимент проводился совместно специалистами Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины, Института биологии южных морей (ИнБЮМ) НАН Украины и лаборатории прибрежной океанографии Университета Литорали Опалового Берега (Франция). Метеорологические наблюдения в течение эксперимента обеспечивались сотрудниками Экспериментального отделения МГИ НАН Украины. Основанием для проведения совместных работ стал договор о сотрудничестве МГИ НАН Украины и Университета Литорали. Финансовая поддержка экспериментальных исследований осуществлялась в рамках проекта Космического агентства Франции «Долговременные атмосферные, биооптические и гидрологические наблюдения в Черном море для валидации сканера *MERIS*» и проекта НАН Украины «Спутниковая океанология».

Краткая характеристика района исследований. В качестве района исследований выбрана прибрежная часть Черного моря вблизи южной оконечности Крымского п-ова. Черное море подвержено сильному воздействию речного стока и по своим оптическим свойствам соответствует водам второго типа по классификации Мореля. Оптические свойства бассейна испытывают значительную сезонную изменчивость, связанную с цветением фитопланктона и выносом взвеси реками. В море наблюдаются два пика цветения фитопланктона — в конце зимы и осенью. В течение длительного периода море подвергается значительному антропогенному воздействию, что следует, в частности, из анализа изменчивости глубины видимости белого диска [1] и наблюдений цвета моря сканерами *OCTS* и *SeaWiFS* [2].

Сопоставление данных сканеров *CZCS* и *SeaWiFS* с корабельными наблюдениями концентрации хлорофилла в Черном море показало существенное рассогласование спутниковых и непосредственных измерений. Поэтому создание регионального алгоритма обработки данных цветковых сканеров является актуальной проблемой для Черного моря.

Экспериментальные исследования проводились на океанографической платформе, расположенной в 600 м от южного побережья Крыма вблизи пос. Качивели. Палуба платформы размещена на высоте 12 м над уровнем моря и имеет размер 20×20 м. Глубина моря в районе платформы увеличивается с удалением от берега, изменяясь от 28 до 33 м. Измерительная аппаратура была установлена на южной мористой стороне платформы, что позволило избежать влияния затенений.

В период наблюдений (конец июля — середина августа) Черное море, как правило, находится в зоне действия Азорского антициклона. В силу этого типичной является ситуация слабоградиентного барического поля, наблюдающаяся с вероятностью около 70%. Средняя скорость ветра в районе Южного берега Крыма согласно многолетним наблюдениям составляет в июле — августе 2 — 3 м·с⁻¹. Антициклонической атмосферной циркуляции над Черным морем соответствует малооблачная ситуация. Средний балл облачности у южной оконечности Крыма в июле — августе равен 2,7 балла, причем вероятность наблюдения облачности менее двух баллов составляет 63 %.

По данным регулярных наблюдений в Карадаге и экспериментов на платформе межгодовая изменчивость атмосферной оптической толщины невелика, в то же время отмечаются сильная сезонная изменчивость с максимумом в летние месяцы, а также изменчивость в течение дня. Спектральная изменчивость оптической толщины хорошо описывается законом Ангстрема и может быть представлена однопараметрической моделью. Преобладающий вклад в спектральную изменчивость оптической толщины вносит изменение общей массы аэрозоля без изменения его качественного состава. Основными факторами, влияющими на свойства аэрозоля, являются относительная влажность и ее профиль, высота слоя инверсии и профиль температуры в атмосфере. Значения атмосферной оптической толщины на длине волны 347 нм изменяются в пределах 0,18 – 0,94, а параметр Ангстрема — от 0,18 до 1,57 [3].

Прозрачность вод в районе платформы существенно менялась в течение последних 20 лет. В конце 80-х годов глубина видимости белого диска была на уровне 12 – 15 м. Затем, в начале 90-х годов, она упала до 6 – 8 м и с тех пор постепенно увеличивается. По наблюдениям, выполненным летом 2001 г., видимость белого диска в районе платформы изменялась в пределах 8 – 11 м.

Аппаратурное и информационное обеспечение эксперимента. Международная кооперация при планировании и проведении подспутникового эксперимента дала возможность подготовить аппаратный и методический комплекс, позволяющий осуществлять регулярные наблюдения, необходимые для валидации дистанционных измерений с ИСЗ, а также для исследований двух подзадач дистанционного зондирования океана, обсуждавшихся во введении. Наблюдения атмосферной оптической толщины проводились с помощью оригинального комплекса *SIMBADA*, разработанного в Университете Лилля (Франция), на длинах волн 412, 440, 490, 510, 555, 670 нм. Восходящее и нисходящее излучения измерялись стандартным комплексом производства фирмы «*Satlantic, Inc.*» на длинах волн 412, 443, 490, 511, 560, 621, 665 нм. Спектральный ход коэффициента яркости моря измерялся прибором, разработанным в отделе оптики МГИ НАН Украины [4], в спектральном диапазоне — 350 – 700 нм с разрешением 10 нм. Этот прибор неоднократно использовался в различных международных программах. В рейсе судна «Билим» проводилась интеркалибрация измерителя коэффициента яркости моря с используемым мировым научным сообществом радиометром *SIMBAD* также разработки Университета Лилля. Спектральные измерения индикатрисы рассеяния проводились уникальным прибором, созданным отделом оптики МГИ НАН Украины при поддержке «*Satlantic, Inc.*» в рамках проекта Украинского научно-технологического центра P-012. Измеритель индикатрисы рассеяния прошел лабораторную калибровку в Далхаузском университете (Галифакс, Канада) и Стенниссовском центре космических полетов (США), а натурные испытания и интеркалибровку в рейсе исследовательского судна «Эндевор» и тестовом районе «Лео-15». Индикатриса рассеяния измерялась на четырех длинах волн (443, 490, 555, 640 нм) в диапазоне углов от 0,6 до 178,2° с дискретностью 0,3°. Описание прибора и схемы измерений приведены в работе [5].

Гидробиологические измерения выполнялись сотрудниками ИнБЮМ НАН Украины. Они включали стандартные определения концентрации хлорофилла

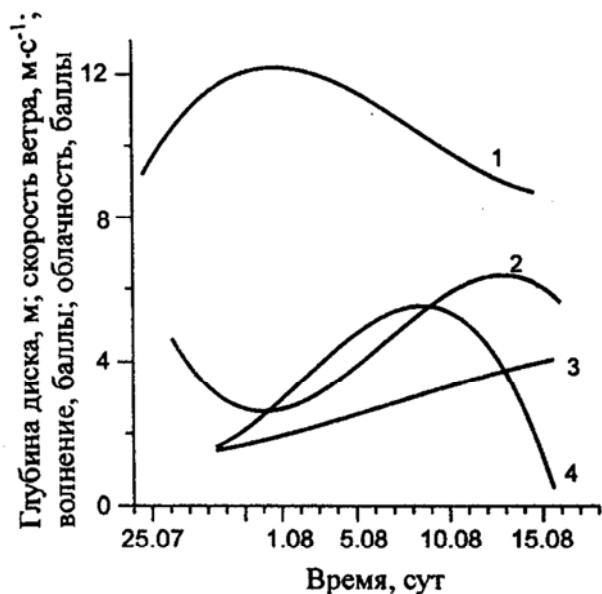
«а» и феофитина «а» флуорометрическим методом [6] в модификации Юнева и Берсеновой [7], а также спектрометрические измерения поглощения света пигментами фитопланктона, детритом и растворенным органическим веществом. Поглощение света взвешенными частицами определяли по стандартной методике количественного определения на увлажненных фильтрах (*Quantitative Filter Technique*) [8–10]. Измерения проводили на двухлучевом спектрофотометре «Спекорд-М40» («Карл Цейс Йена») в диапазоне длин волн от 350 до 750 нм. Взвесь собирали на стекловолоконистых фильтрах (GF/F) с помощью фильтрации при вакууме не более 0,2 атмосферы. Разделение поглощения взвеси на две компоненты – поглощение пигментами фитопланктона и детритом – проводилось с использованием метода метанольной экстракции пигментов [11]. Спектры поглощения растворенной органики измерялись спектрометрическим методом.

Наблюдательная программа эксперимента. В последние годы на орбиту выведены сканеры нового поколения *MODIS* и *MERIS*, имеющие пространственное разрешение около 300 м и позволяющие проводить достаточно детальные наблюдения в прибрежной зоне моря. Улучшенное пространственное разрешение цветковых сканеров новой генерации позволяет более эффективно использовать наблюдения на платформе для калибровки спутниковых измерений, поскольку появляется возможность проводить сопоставление контактных измерений со спутниковыми данными для пиксела, не примыкающего непосредственно к берегу. В этой связи время выполнения наблюдений на платформе согласовывалось со временем измерений сканерами *MERIS*, *MODIS* и *SeaWiFS*.

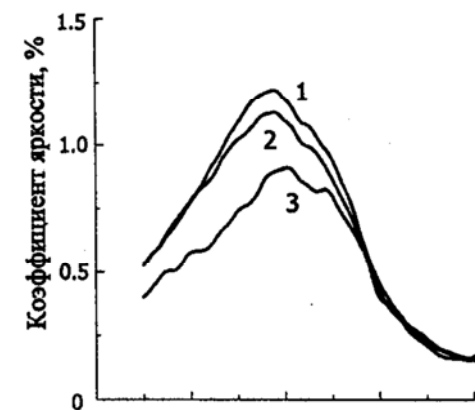
Регулярные наблюдения на платформе проводились ежедневно с 27 июля по 15 августа 2002 г. за исключением четырех дней (7, 9, 12 и 13 августа), пропущенных по погодным условиям. Погодные условия в целом в течение эксперимента были близки к среднестатистическим за исключением последней недели наблюдений, когда сказывалось влияние малоподвижного циклона, вызвавшего необычные наводнения в Восточной Европе. Скорость ветра в эти дни доходила до $14 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тогда как в остальные дни она находилась в пределах $2 - 4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Облачность в эти дни также была несколько выше среднеемноголетней нормы, достигая до 5 баллов в среднем за день.

Измерения атмосферной оптической толщины выполнялись каждые полчаса с 9 ч утра до 5 ч вечера. Измерения падающего и восходящего излучений на поверхности моря и спектрального коэффициента яркости проводились каждый час. Кроме того, 5 – 6 раз в день измерялась глубина видимости белого диска. Высокая частота перечисленных выше измерений позволяет проследить изменчивость состояния оптических свойств моря и атмосферы и получить представления об их суточном ходе во время эксперимента.

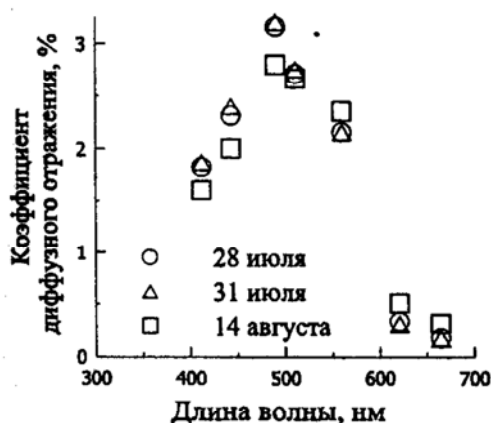
Измерения концентрации хлорофилла «а» и феофитина, спектров поглощения и индикатрисы рассеяния проводились в пробах, отбиравшихся на глубинах 0, 4, 8, 12, 16 и 20 м. Отбор проб осуществлялся один или два раза в день в 11 ч утра и в 2 ч дня. Выбор времени выполнения станций с отбором проб соответствовал пролету в районе Кацивели спутников со сканирующими спектрометрами *MERIS* (11 ч), *SeaWiFS* (13 ч) и *MODIS* (14 ч).



Р и с. 1. Временные изменения метеорологических характеристик и прозрачности вод в районе платформы: 1 — глубина видимости белого диска, 2 — скорость ветра, 3 — волнение, 4 — облачность



а



б

Р и с. 2. Временные изменения спектральных характеристик восходящего излучения: а — спектры коэффициента яркости моря 28 июля (1), 31 июля (2) и 14 августа (3); б — спектры коэффициента диффузного отражения

Для оценки пространственной неоднородности оптических свойств моря и возможной неадекватности измерений на платформе и спутниковых наблюдений программа экспедиции включала также ограниченные наблюдения на разрезах с небольшого катера. Всего было выполнено три разреза 4, 14 и 15 августа. На разрезах отбирались поверхностные пробы для определения спектров поглощения различными субстанциями и индикатрисы рассеяния, измерялись оптическая толщина атмосферы и температура воды и воздуха.

Всего за время работ выполнено около 320 циклов измерений атмосферной оптической толщины, 110 измерений падающего и восходящего излучений, 92 измерения коэффициента яркости моря и 105 наблюдений глубины видимости белого диска. Было отобрано 136 проб для определения спектров поглощения и индикатрисы рассеяния. Регулярно проводились наблюдения скорости и направления ветра, температуры воды и воздуха, давления, балльности облачности (по 10-балльной шкале) и волнения (по 8-балльной шкале).

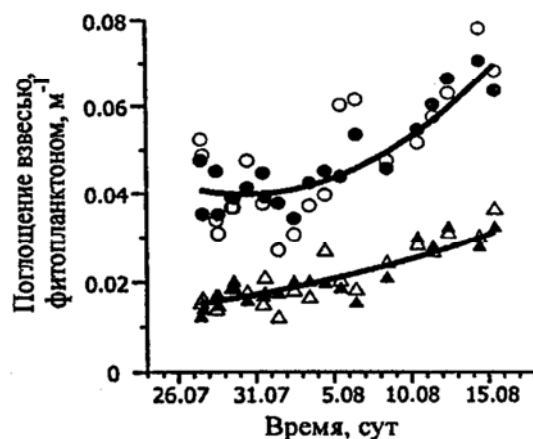
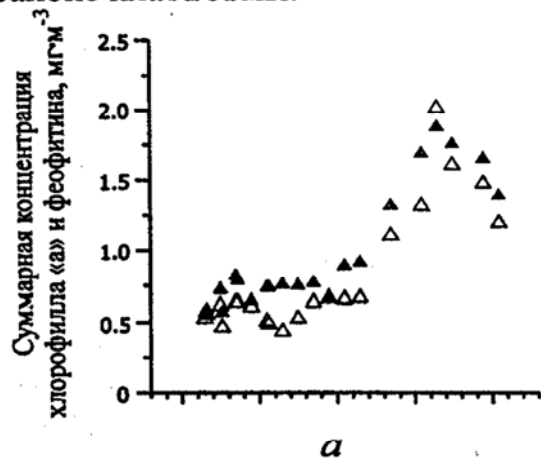
Предварительные результаты эксперимента на платформе. Общую характеристику изменений прозрачности воды в течение эксперимента дают наблюдения белого диска. В течение всего промежутка наблюдений глубина видимости белого диска изменяется от 8 до 14 м. Среднеквадратичный разброс глубин в течение дня не превышает 1 м, поэтому среднее значение глубины видимости белого диска достаточно хорошо характеризует интегральную изменчивость прозрачности вод в районе платформы.

Сопоставление наблюдений глубины видимости белого диска и скорости ветра на платформе (рис. 1) показывает хорошую их корреляцию. На рис. 1 представ-

лена аппроксимация изменений глубины видимости белого диска, скорости ветра, облачности и волнения полиномами третьей степени. Видно, что ослабление ветра в конце июля сопровождалось повышением прозрачности вод. Напротив, усиление ветра во вторую неделю августа привело к повышению мутности вод.

Наблюдавшиеся изменения прозрачности вод отражались в изменениях спектрального хода коэффициента яркости моря. На рис. 2, а представлены спектральные зависимости коэффициента яркости моря 28, 31 июля и 14 августа, т.е. в дни наблюдений относительно мутных и наиболее прозрачных вод в конце июля и относительно мутных вод в конце эксперимента. Сходная тенденция наблюдается и в эволюции спектра коэффициента диффузного отражения моря (рис. 2, б).

Изменения спектров связаны с вариациями поглощения и обратного рассеяния, которые определяются концентрациями взвешенных и растворенных веществ в морской воде и обусловлены изменениями гидрологических условий в районе платформы.

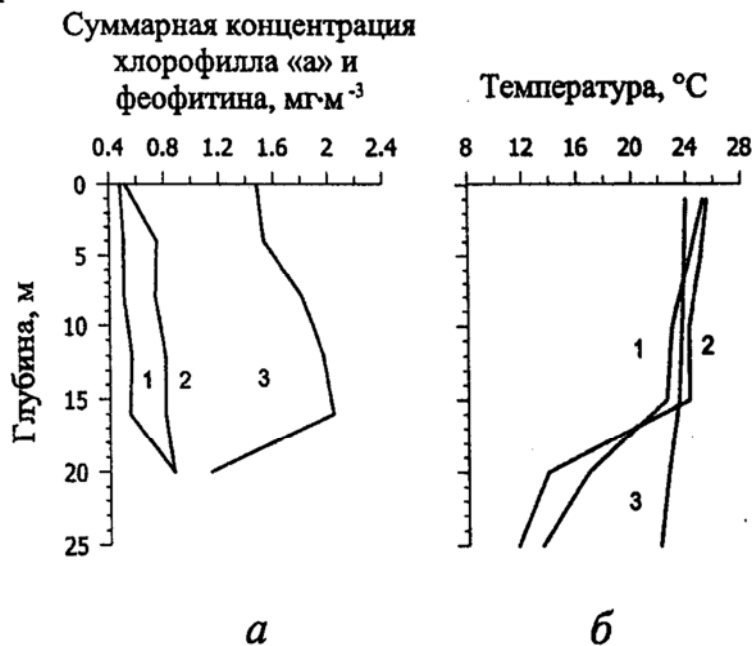


Р и с. 3. Изменение биологических параметров вод за время эксперимента: а — суммарная концентрация хлорофилла «а» и феофитина в поверхностном слое и средняя для слоя 0–20 м; б — средний по спектру показатель поглощения света взвешенным веществом (кружки) и пигментами (треугольники) в видимом диапазоне (кривые — аппроксимация поглощения полиномами второй степени). Заштрихованный символ — средняя величина в слое 0–20 м, незаштрихованный — значение для поверхностного слоя

Регулярные анализы проб на содержание хлорофилла «а» и феофитина показали их заметную динамику в течение времени проведения эксперимента. На рис. 3, а приведена временная изменчивость интегрального содержания пигментов фитопланктона на поверхности и в верхнем 20-метровом слое. Видно, что различия между концентрациями на поверхности и средней по слою незначительны. Профили распределения суммарной концентрации пигментов (рис. 4, а) действительно показывают вертикальную однородность распределения фитопланктона в верхнем 16-метровом слое в районе платформы, и лишь в интервале глубин 16–20 м временами наблюдался заметный градиент.

На рис. 3, б видно, что в начале эксперимента концентрации пигментов были невысокими, на уровне типичных для летнего сезона значений. Однако усиление ветра в начале августа, по-видимому, обусловило интенсивное горизонтальное и вертикальное перемешивание, которое способствовало изменению абиотических факторов в верхнем перемешанном слое моря. В комбинации с

адвективным переносом это привело к наблюдаемому значительному росту в районе платформы концентрации пигментов фитопланктона до величин порядка $2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$.



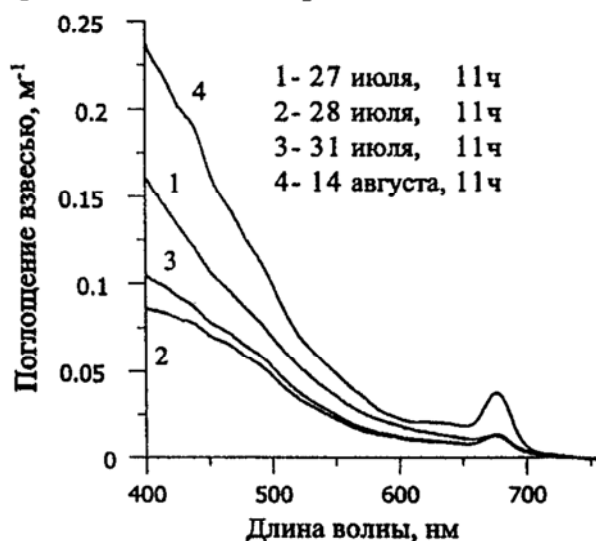
Р и с. 4. Вертикальные профили распределения суммарной концентрации пигментов фитопланктона (а) и температуры воды (б): 1 — 28 июля, 2 — 31 июля, 3 — 14 августа

Влияние изменений ветрового режима на состояние верхнего слоя моря вблизи платформы видно по характеру изменения с глубиной температуры морской воды (рис. 4, б). Если в конце июля в районе платформы перемешанный слой концентрировался в пределах верхних 15 метров, а между горизонтами 15 и 20 метров находился сезонный термоклин, то в середине августа в результате ветрового перемешивания температура всего верхнего 25-метрового слоя была почти однородна по глубине.

Изменения с глубиной концентрации пигментов фитопланктона, заметные на рис. 4, а, скорее всего, обусловлены горизонтальной адвекцией глубинных вод, особенно существенной на мелководье.

На рис. 3, б представлен временной ход осредненного по глубине и по спектру показателя поглощения света взвешенным веществом и фитопланктоном.

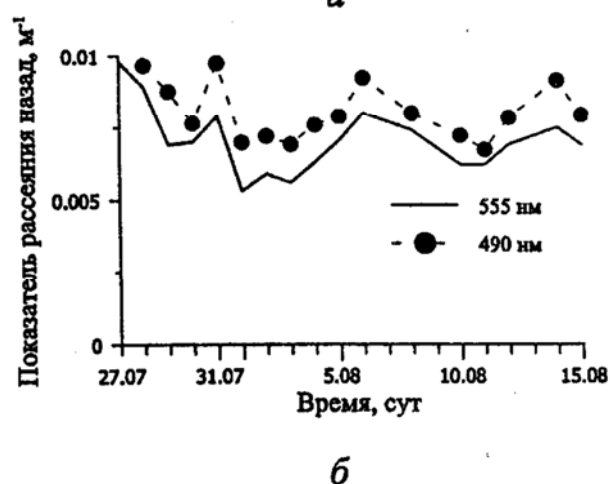
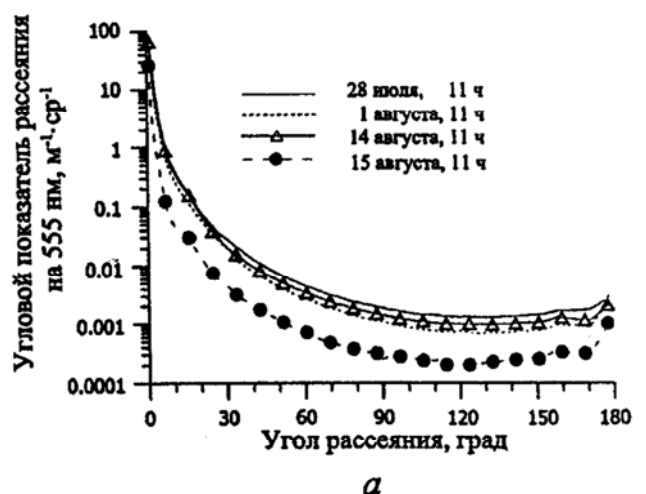
Приведенные графики показывают, что поглощение света фитопланктоном возрастает к середине августа. Поведение осредненного по спектру показателя поглощения со временем хорошо коррелирует с изменениями концентрации пигментов фитопланктона.



Р и с. 5. Спектральные зависимости поглощения света взвесью в конце июля и середине августа в среднем по слою 0 — 20 м

Изменение во времени поглощения света взвешенным веществом на самом деле отражает общую изменчивость поглощения в морской воде, так как поглощение растворенной органикой практически не менялось в течение всего эксперимента. На рис. 5 представлены спектральные зависимости поглощения взвесью в конце июля и середине августа, осредненные для слоя 0 — 20 м. Как видно на рисунке, к середине августа поглощение в синем

зеленом участке спектра существенно увеличилось. Увеличение поглощения объясняет общее уменьшение коэффициента яркости и смещение максимума спектра яркости моря в область более длинных волн (рис. 2, а).



Р и с. 6. Характеристики рассеяния света водой: а — типичный вид индикатрисы рассеяния на длине волны 555 нм; б — временные изменения показателя обратного рассеяния (значения показателя рассеяния указаны для натурального основания логарифма)

показывающее сходную закономерность изменения во времени обратного рассеяния на различных длинах волн. Интенсивность рассеяния назад на всех длинах волн уменьшается к началу августа, а затем незначительно возрастает. Уменьшение рассеяния в сине-зеленой области при незначительном изменении поглощения должно сопровождаться пропорциональным уменьшением спектральной яркости моря при неизменном виде самого спектра в полном соответствии с тем, что мы видим по результатам наблюдений (рис. 2, а).

Сходный характер изменения обратного рассеяния со временем сопровождается тем не менее некоторой изменчивостью его спектрального хода, которая также может отражаться на зависимости коэффициента яркости моря от длины волны.

Таким образом, уменьшение коэффициента яркости моря 31 июля по сравнению с 28 июля объясняется понижением обратного рассеяния, а дальнейшее его уменьшение 14 августа — увеличением поглощения фитопланк-

Изменения спектральной яркости моря зависят также от рассеяния. Индикатриса рассеяния, измерявшаяся в течение эксперимента, в целом изменялась по величине не очень значительно, если сравнивать кривые, полученные в разных условиях с использованием логарифмического масштаба (рис. 6, а). На углах, близких к 180° , изменения рассеяния также невелики. Исключением является случай наблюдения очень чистой воды, поступившей в район платформы на глубине 25 м. При качественно той же угловой зависимости рассеяния его интенсивность для всех углов уменьшилась на порядок.

Тем не менее для тех углов, где свет рассеивается в обратном направлении, интенсивность рассеяния меняется почти в два раза. Это отражается на временном ходе среднего в слое 0 – 12 м показателя обратного рассеяния, т.е. показателя рассеяния в заднюю полусферу, отображенного на рис. 6, б. На этом рисунке приведено обратное рассеяние на двух длинах волн, по-

тоном. Отчасти такое представление подтверждается тенденциями временной эволюции коэффициента яркости на отдельных длинах волн: смещение максимума спектра коэффициента яркости моря в сторону длинных волн происходит синхронно с увеличением концентрации пигментов фитопланктона.

Работы на разрезах. С целью использования измерений на платформе для калибровки цветового сканера *MERIS* в рамках эксперимента было выполнено также три меридиональных разреза длиной 3 – 5 миль на катере «Стриж». На разрезах проводился отбор проб для определения концентрации хлорофилла «а» и феофитина, спектров поглощения и индикатрисы рассеяния. Разрезы выполнялись 4, 14 и 15 августа. Два из трех разрезов — 4 и 15 августа — показали слабую изменчивость биооптических характеристик. В частности, концентрация пигментов фитопланктона изменялась на разрезе не более чем на 10%. Также невелики изменения показателей поглощения и рассеяния. 14 августа изменчивость на разрезе была несколько более значительной. Концентрация пигментов фитопланктона в этот день изменялась до 20%. Отметим, что 14 августа скорость ветра была относительно большой. По-видимому, интенсивное ветровое воздействие привело к возникновению перемежающихся течений, вызвавших пространственную неоднородность распределения фитопланктона. Измерения на платформе, выполненные в относительно спокойных условиях, как представляется, могут быть использованы для сопоставления со спутниковыми измерениями на расстоянии от берега в несколько километров. Этот предварительный вывод может оказаться существенным, если влияние берега окажется значимым при использовании пиксела, в котором располагается платформа.

Заключение. Выполненный эксперимент показал возможность проведения комплексных биооптических наблюдений на океанографической платформе в Кацивели, пригодных для валидации и калибровки данных цветовых сканеров. В условиях лета 2002 г. на платформе удалось наблюдать редкий случай интенсивного роста концентрации планктона и соответственно значительных изменений характеристик поглощения и рассеяния. Результаты измерений, охватывающие значительный диапазон изменений биооптических свойств моря, могут быть использованы в дальнейшем для количественных сопоставлений с данными сканеров *MERIS*, *MODIS* и *SeaWiFS*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маньковский В.И., Владимиров В.Л., Афонин В.И. и др. Многолетняя изменчивость прозрачности воды в Черном море и факторы, обусловившие ее сильное снижение в конце 80-х — начале 90-х годов. — Севастополь, 1996. — 32 с. (Препринт / НАН Украины. Морской гидрофизический институт).
2. Korotaev G.K., Lewis M.R., Mankovsky V.I. Decadal changes of the transparency of the Black Sea // *Ocean Opt.* XIV. — Havai: Kailua-Kona, 1998. — P. 53.
3. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Любарцев В.Г. Спектральная прозрачность атмосферы над Черным морем // *Морской гидрофизический журнал*. — 2000. — № 4. — С. 46 – 68.
4. Ли М.Е., Мартынов О.В. Измеритель коэффициента яркости для подспутниковых измерений биооптических параметров вод // *Экологическая безопасность прибрежной и*

шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа / Под ред. В.А. Иванова. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. — С. 163 – 173.

5. *Zhang X., Lewis M., Lee M. et al.* The volume scattering function of natural bubble populations // *Limnol. Oceanogr.* — 2002. — 47. — № 5. — P. 1273 – 1282.
6. *Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W. et al.* Fluorometric determination of chlorophyll // *J. Cons. Inst. Explor. Mer.* — 1965. — № 30. — P. 3 – 15.
7. *Юнев О.А., Берсенева Г.П.* Флуорометрический метод определения концентрации хлорофилла «а» и феофитина «а» в фитопланктоне // *Гидробиологический журнал.* — 1986. — 2, № 2. — С. 89 – 95.
8. *Yentsch C.S.* Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean // *Limnol. Oceanogr.* — 1962. — №7. — P. 207 – 217.
9. *Mitchell B.G., Kieffer D.A.* Chlorophyll a specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton // *Deep-Sea Res.* — 1988 — 35, № 5. — P. 639 – 663.
10. *Mitchell B.G.* Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT) // *Ocean Optics X / Ed.R. Spinrad.* — Washington: SPIE Bellingham, 1990. — P. 137 – 148.
11. *Kishino M., Takahashi N., Okami N. et al.* Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea // *Bull. Mar. Sci.* — 1985. — 37. — P. 634 – 642.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Университет Литорали Опалового Берега, Дюнкерк,
Франция

Институт биологии южных морей НАН Украины,
Севастополь

Экспериментальное отделение Морского гидрофизического
института НАН Украины,
пос. Кацивели

Материал поступил

в редакцию 27.09.02

После доработки 16.10.02

ABSTRACT The paper represents description and preliminary results of the international sub-satellite experiment on the oceanographic platform near the South Crimean Coast in the Black Sea in the region of the village Katsiveli. Brief information on the instruments and technique used is provided. Preliminary results, i.e. data on temporal variability and mutual relations of bio-optical parameters are given. These data covering a wide range of seawater bio-optical properties can be applied in future for quantitative comparison with MERIS, MODIS and SeaWiFS scanner data.