

В.В.Суслин*, М.В.Шокуров*, Т.Я.Чурилова**,
Е.Н.Корчемкина*, С.Ф.Пряхина*

*Морской гидрофизический институт, г.Севастополь

**Институт биологии южных морей, г.Севастополь

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНАЯ РАДИАЦИЯ В Г. СЕВАСТОПОЛЬ: ИЗМЕРЕНИЯ И ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

Коротковолновая радиация (200 – 4000 нм) является одним из ключевых факторов экосистемы Черного моря. Ее компонента, фотосинтетически активная радиация (ФАР) от 400 до 700 нм, участвует в процессах фотосинтеза и оказывает влияние на термодинамические свойства моря. Проведено сравнение ФАР, полученной из двух источников: региональной метеорологической модели MM5 и измерений цветового сканера MODIS. В качестве эталона были использованы измерения *in situ* ФАР. Сравнение данных показало, что для обоих источников имеет место переоценка суточного значения ФАР (до $10 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) в летние месяцы и недооценка ($\sim 3 - 4 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) в зимние месяцы в условиях безоблачной атмосферы. Для частичной и сплошной облачности точность восстановления ФАР для обеих моделей существенно ниже.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фотосинтетически активная радиация, измерения *in situ*, модельные расчеты, спутниковый продукт, Черное море.

Падающая коротковолновая радиация (200 – 4000 нм) на уровне моря (далее ПКР) является одним из ключевых факторов экосистемы Черного моря. Ее компонента, фотосинтетически активная радиация от 400 до 700 нм (далее ФАР), участвует в процессах фотосинтеза, с учетом оптических свойств верхнего слоя моря оказывает влияние на биоразнообразие на северо-западном шельфе и на термодинамические свойства моря. Все выше сказанное обуславливает важность величины ФАР, достигающей поверхности моря.

В настоящее время в рамках международных и национальных проектов усилиями сотрудников Морского гидрофизического института (МГИ) и Института биологии южных морей (ИнБЮМ) развиваются оперативные гидродинамическая и экологическая модели Черного моря [1 – 4]. В этих моделях в качестве входных параметров используются данные о ПКР и ФАР на уровне моря.

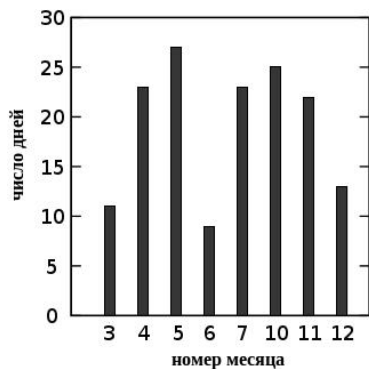
Цель данной работы состоит в оценке точности суточной и недельной величины ФАР, рассчитанной по модели [5], которая использует измерения спутниковым прибором MODIS-Aqua/Terra, и ПКР, рассчитанной по метеорологической модели [6, 7], адаптированной на регион Черного моря [8].

Исходный материал и методика его обработки. Измерения ФАР *in situ* выполнялись с помощью прибора QSL-2100 (Biospherical Instruments' Laboratory Quantum Scalar Irradiance Meter, Biospherical Instruments Inc., USA) с частотой 4 – 5 раз в секунду непрерывно в течение суток. Отношение сигнал/шум превышало 10^4 . Прибор был расположен на крыше лабораторного корпуса МГИ (44,61583° с.ш., 33,51733° в.д.) на высоте 80 м над уровнем

© В.В.Суслин, М.В.Шокуров, Т.Я.Чурилова, Е.Н.Корчемкина,
С.Ф.Пряхина, 2014

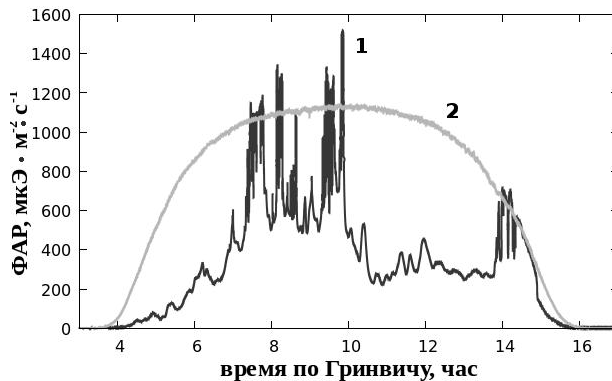


Р и с . 1 . Прибор *QSL-2100* на крыше лабораторного корпуса (мыс Хрустальный) в момент измерения.



Р и с . 2 . Распределение количества дней по месяцам, для которых были выполнены измерения ФАР *in situ* в 2012 г.

местному времени за вычетом среднего значения сигнала, измеренного в темное время суток от 0 до 1 часа. Единица измерения суточного значения ФАР – $\text{Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$.



Р и с . 3 . Два примера измерений ФАР *in situ* прибором *QSL-2100* в течение всего дня: за 9 марта 2012 г. в условиях переменной облачности (1), за 19 марта 2012 г. в условиях безоблачной атмосферы (2).

моря (рис.1). Регистрация сигнала и его цифровая запись осуществлялась непосредственно на жесткий диск РС через последовательный порт с помощью программного обеспечения, разработанного поставщиком прибора под управлением ОС *Windows*. Общее количество дней составило более 150 суток с марта по декабрь 2012 г. Распределение измерений по месяцам показано на рис.2.

На рис.3 показаны два примера измерений ФАР *in situ* и результатов его обработки для безоблачной атмосферы за 19 марта и в ситуации с переменной облачностью за 9 марта. При визуализации этих измерений учтены сдвиги по времени. Их было два. Первый сдвиг связан с согласованием местного времени с показаниями часов в персональном компьютере. Второй сдвиг – с согласованием универсального времени по Гринвичу с местным временем. Отметим интересную особенность. На графике за 9 марта (переменная облачность) мгновенные максимальные значения ФАР превышают максимальные значения за 19 марта (безоблачная атмосфера). Это связано с геометрией системы Солнце-облако-прибор, когда, с одной стороны, Солнце не закрыто облаками, а, с другой стороны, облака более эффективно рассеивают свет в том участке неба, чем чистая атмосфера.

Суточное значение ФАР находилось путем интегрирования от 0 до 24 часов по

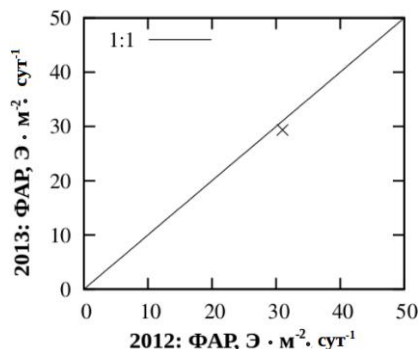


Рис. 4. Результат сравнения суточного значения ФАР, рассчитанного по результатам измерений прибора *QSL-2100* для двух безоблачных дней 20 октября 2012 г. и 21 октября 2013 г.

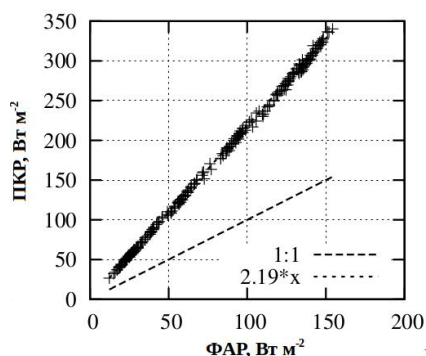
В качестве контроля качества измерений ФАР *in situ*, а именно, стабильности калибровок прибора *QSL-2100*, мы провели сравнение суточного значения ФАР, которые были выполнены через год в условиях безоблачной погоды и высокой проз-

рачности. Такими датами оказались 20 октября 2012 г. и 21 октября 2013 г. при аэрозольной оптической толщине атмосферы на длине волны 500 нм меньше 0,1. На рис.4 показан результат сравнения суточных значений ФАР, полученных в безоблачных условиях в течение дня.

Можно считать, что калибровки прибора *QSL-2100* были стабильны.

Небольшое превышение ФАР в 2013 г. по сравнению с 2012 г. связано с более высоким значением аэрозольной оптической толщины атмосферы в течение всего дня. По данным *AERONET* [9] аэрозольная оптическая толщина на длине волны 500 нм в течение дня имела следующие значения $5,242e-02 \pm 1,630e-01$ ($n = 44$) и $8,703e-02 \pm 1,940e-01$ ($n = 33$) для 20 октября 2012 г. и 21 октября 2013 г. соответственно.

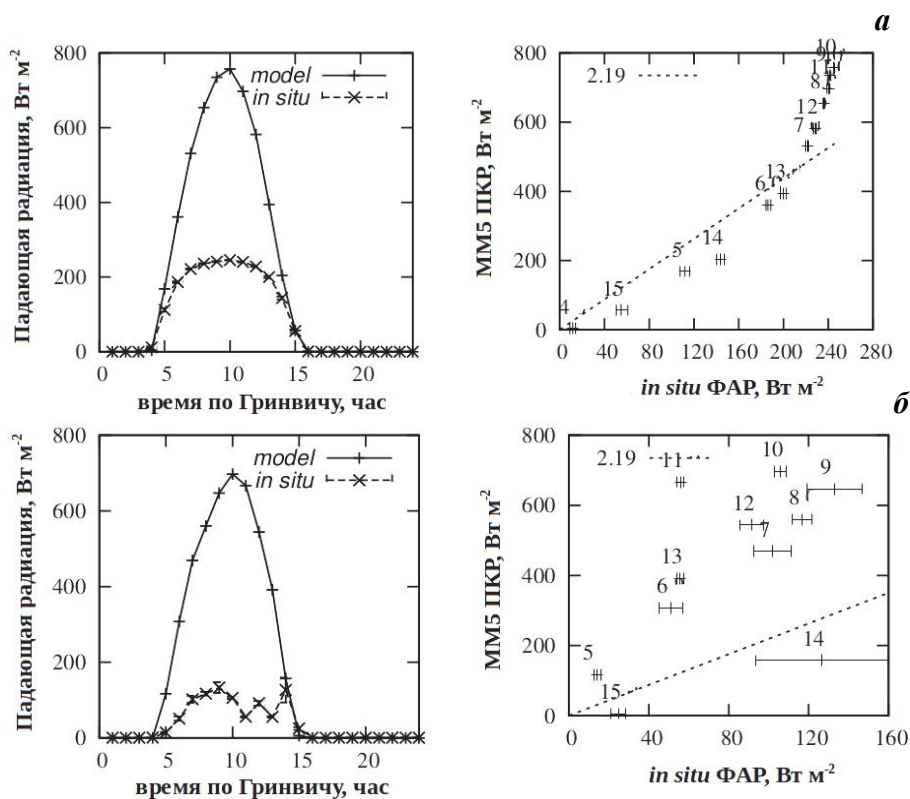
Мезомасштабная атмосферная модель MM5 (*Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale model*) разрабатывалась Национальным Центром Атмосферных Исследований США (*NCER/NCAR — National Center for Enviromental Prediction/National Center of Atmospheric Research*) как для научных исследований мезомасштабных атмосферных явлений, так и для выполнения оперативных прогнозов и региональных реанализов [6]. Диапазон пространственных масштабов, описываемых мезомасштабными моделями от 1 до 30 км. Каждый физический процесс в модели MM5 (перенос инфракрасного и видимого солнечного излучения, процесс формирования облачности и осадков, кучевая конвекция, турбулентные потоки импульса тепла и влаги в планетарном атмосферном пограничном и приземном слоях, перенос тепла и влаги в верхнем слое почвы) программно реализован в нескольких вариантах. Детальное описание всех вариантов параметризаций представлено в литературе [8]. Основная проблема состоит в выборе набора параметризаций, наиболее подходящих для данного региона. Эта задача для региона Черного моря решена в [7]. ПКР является выходным продуктом мезомасштабной атмосферной модели MM5. Единица измерения ПКР – $Вт \cdot м^{-2}$. Пространственное разрешение модели 10 км, шаг по времени 1 час. ФАР и ПКР имеют разные размерности. Следуя [10], связь для солнечного света, падающего на поверхность моря, между $Э/с$ и $Вт$ выражается следующим соотношением $1 \text{ мк } Э \cdot с^{-1} = 0,217 \text{ Вт}$. В качестве соотношения между ПКР и ФАР (последняя в единицах $Вт \cdot м^{-2}$) используется коэффициент 2,19, полученный из сравнения данных этих параметров, вычисленных по модели *GEWEX* [11] для широты Черного моря. На рис.5 показаны результаты сравнения численных расчетов по метеорологической американкой модели [11] между ФАР и ПКР для выборки, полученной для Черного моря.



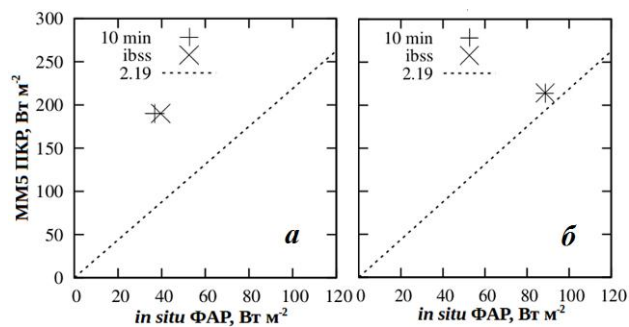
Р и с . 5. Соотношение между ФАР (ось x) и ПКР (ось y), Вт m^{-2} . График получен по данным GEWEX для точки 43°с.ш. 33°в.д. Черного моря за период с июля 1983 г. по июль 2005 г. с шагом 1 месяц (для всех сезонов).

Получается, что ПКР больше ФАР в 2,19 раз вне зависимости от сезона для среднемесячных данных. Найденный коэффициент 2,19 будет использован ниже для сравнения модельных расчетов ММ5 с *in situ* измерениями ФАР. Суточное значение ПКР находилось путем интегрирования от 0 до 24 часов. Для контроля качества данных проводилось как почасовое сравнение между результатами расчетов по ММ5 с измерениями ФАР *in situ*, так и их интегральных значений за сутки.

На рис.6 показаны результаты сравнения расчетов коротковолновой радиации по модели ММ5 с измерениями ФАР *in situ*.



Р и с . 6. Примеры обработки и совместного анализа ПКР (модель ММ5) и измерений ФАР *in situ* как функции времени по Гринвичу (слева) и между собой (справа) для 9 марта (б) и 19 марта (а). Цифра выше символа соответствует времени по Гринвичу, для которого вычислено среднее и дисперсия ФАР *in situ* для десяти минутного интервала около этого часа. Пунктирная линия – 1 : 2,19.



Р и с . 7 . Сравнение измерений ФАР *in situ* с результатами расчетов коротковолновой радиации по модели MM5 (- - - - 1 : 2,19) за 9 марта (а) и 19 марта (б). Значок (×) означает, что суточное значение ФАР рассчитывалось по всем измерениям, значок (+) – расчет интеграла производился по средним 10 мин значениям для каждого часа.

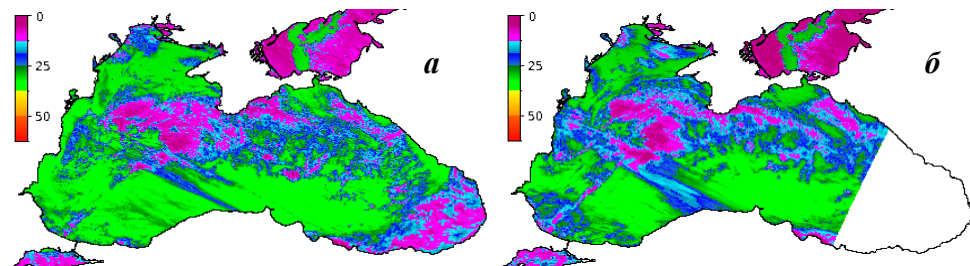
Последние являются результатом 10 мин осреднения около каждого ненулевого значения, которое с шагом в один час выдавала модель MM5. Интересно отметить суточную динамику соотношения между НКВР и ФАР относительно линии 2,19 в условиях безоблачного неба. Для больших высот солнца этот коэффициент приближается к 3,2, а на восходе и заходе солнца он около 1,5. Природа такого поведения объясняется перераспределением солнечной радиации из-за селективности рассеяния и поглощения света в атмосфере Земли. Нисходящая радиация состоит из двух компонент: прямого солнечного излучения, ослабленного за счет рассеяния и поглощения в атмосфере, и диффузного света, рассеянного в атмосфере.

В безоблачных условиях для низких высот солнца доля длинноволновой компоненты в диапазоне 200 – 4000 нм уменьшается по сравнению с ранее найденным коэффициентом 2,19, для больших высот солнца – наоборот. На рис.7 для этих же дней приведен пример сопоставления расчетов по модели MM5 (см. ниже) с измерениями ФАР *in situ*. Для безоблачной ситуации (19 марта) наблюдается хорошее совпадение, а для случая переменной облачности (9 марта) этот результат хуже.

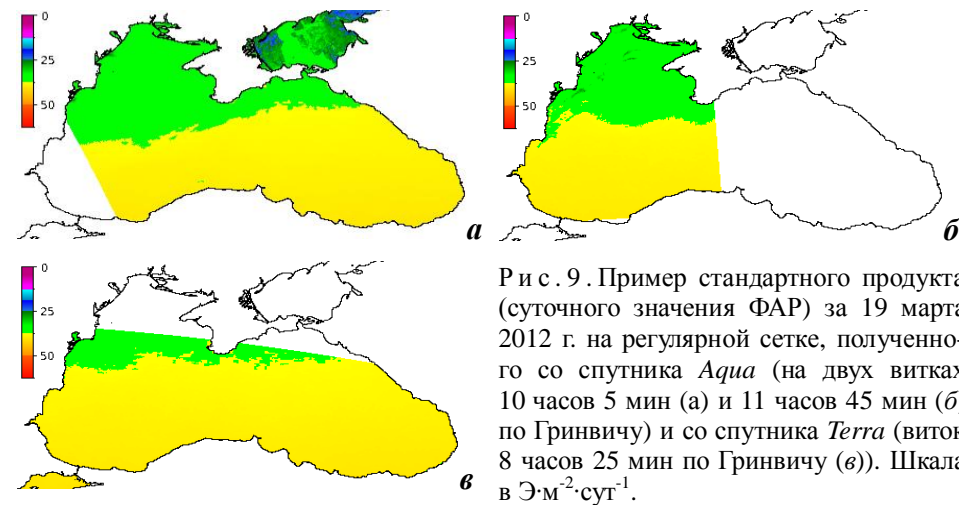
Спутниковые данные. В работе использованы результаты обработки измерений прибора MODIS, установленного на спутниках *Aqua* и *Terra* [12]. MODIS является многоспектральным сканером, который выполняет измерения восходящей яркости системы «океан-атмосфера» на верхней границе атмосферы. В спектральном интервале 400 – 700 нм он имеет 10 каналов (с полушириной ~ 10 нм) с центральной длиной волны: 412; 443; 469; 488; 531; 551; 555; 645; 667; 678 нм соответственно. Оба спутника имеют солнечно-синхронную орбиту, а это значит, что от 10.00 до 14.00 по местному времени каждый спутник наблюдает любую фиксированную точку Земли (за исключением полярных районов) от 1 до 2 раз в сутки. В процессе работы на орбите калибровочные характеристики прибора меняются, поэтому существует специальная процедура, которая корректирует эти изменения с последующим перерасчетом всех продуктов. В данной работе использованы

результаты перерасчета R2012.0 для *MODIS-Aqua* и R2010.0 для *MODIS-Terra* [12]. Одним из выходных продуктов этих измерений прибора *MODIS* является суточное значение ФАР с пространственным разрешением ~ 1 км. Расчет суточной величины ФАР осуществлялся по процедуре, описанной в [5]. Особенность этой методики состоит в том, что оптические свойства атмосферы, определенные в момент пролета спутника, считаются постоянными (за исключением меняющейся геометрии) в течение светового дня. Для витка, проходящего над Черным морем, строилась карта суточного значения ФАР на регулярной сетке с шагом $0,032^\circ$ по долготе и $0,025^\circ$ по широте. Из этих карт осуществлялась выборка значений ФАР для района Севастополя. Среднее значение ФАР и его среднеквадратичное отклонение (± 1 узел сетки) использовались для сопоставления с данными других источников. Примеры карт спутникового продукта ФАР за 9 и 19 марта 2012 г. показаны на рис.8. Для дня с переменной облачностью в течение дня (9 марта) оптические свойства атмосферы многократно меняются.

Последнее хорошо видно на двух съемках за 9 марта, разница между которыми чуть более полутора часов. И наоборот, практически одинаковые карты ФАР в безоблачных условиях за 19 марта на трех витках, сделанных около местного полудня в трехчасовом интервале между крайними сценами (рис.9). Небольшие изменения, которые мы наблюдаем на этих картах, связа-



Р и с . 8 . Пример стандартного продукта (суточного значения ФАР) за 9 марта 2012 г. на регулярной сетке, полученного со спутника *Aqua* (виток 11 часов 5 мин по Гринвичу) (а) и со спутника *Terra* (виток 9 часов 25 мин по Гринвичу) (б). Шкала в $\text{Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$.



Р и с . 9 . Пример стандартного продукта (суточного значения ФАР) за 19 марта 2012 г. на регулярной сетке, полученного со спутника *Aqua* (на двух витках 10 часов 5 мин (а) и 11 часов 45 мин (б) по Гринвичу) и со спутника *Terra* (виток 8 часов 25 мин по Гринвичу (в)). Шкала в $\text{Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$.

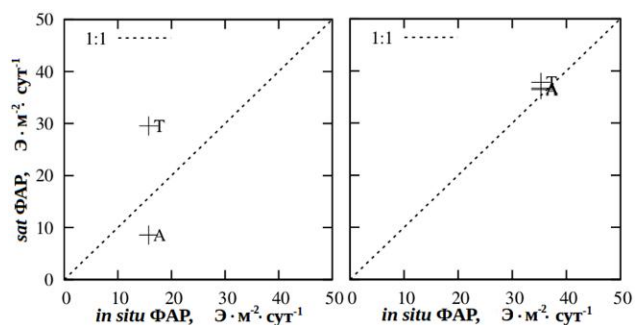


Рис. 10. Сравнение суточных значений ФАР за 9 марта (а) и 19 марта (б), вычисленных по измерениям *in situ*, со стандартным спутниковым продуктом ФАР как результат обработки измерений цветового сканера *MODIS* со спутников *Aqua* (А) и *Terra* (Т), рассчитанному по методике [5]. Цифра – календарный день месяца. Пунктирная линия – 1 : 1.

ны с изменением аэрозольной оптической толщины в течение суток. С учетом особенности процедуры вычисления ФАР ситуация с переменной облачностью содержит большие ошибки по сравнению с безоблачной погодой в течение дня (рис.10).

Результаты и обсуждение. Наблюдение типов облачности в момент проведения измерений ФАР *in situ* не проводилось. Классификация состояния атмосферы над Севастополем сделана по характеру изменения ФАР в течение дня. Были выделены три группы различных состояний атмосферы, характеризующих отдельный день в целом: первая группа – безоблачная атмосфера, вторая – однородная облачность, третья – переменная облачность. Примеры для этих трех типов состояния атмосферы показаны на рис.11.

На рис.12 представлены результаты сравнения суточных значений ФАР *in situ* с *MM5* и *MODIS-Aqua* для первой группы (рис.12, а, г), второй группы (рис.12, б, д) и третьей группы (рис.12, в, е). Результаты сравнения

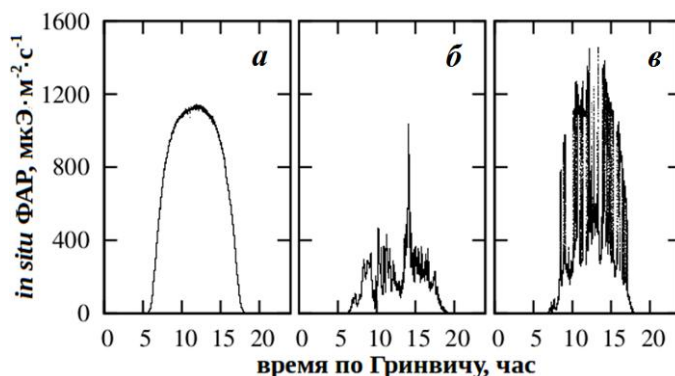
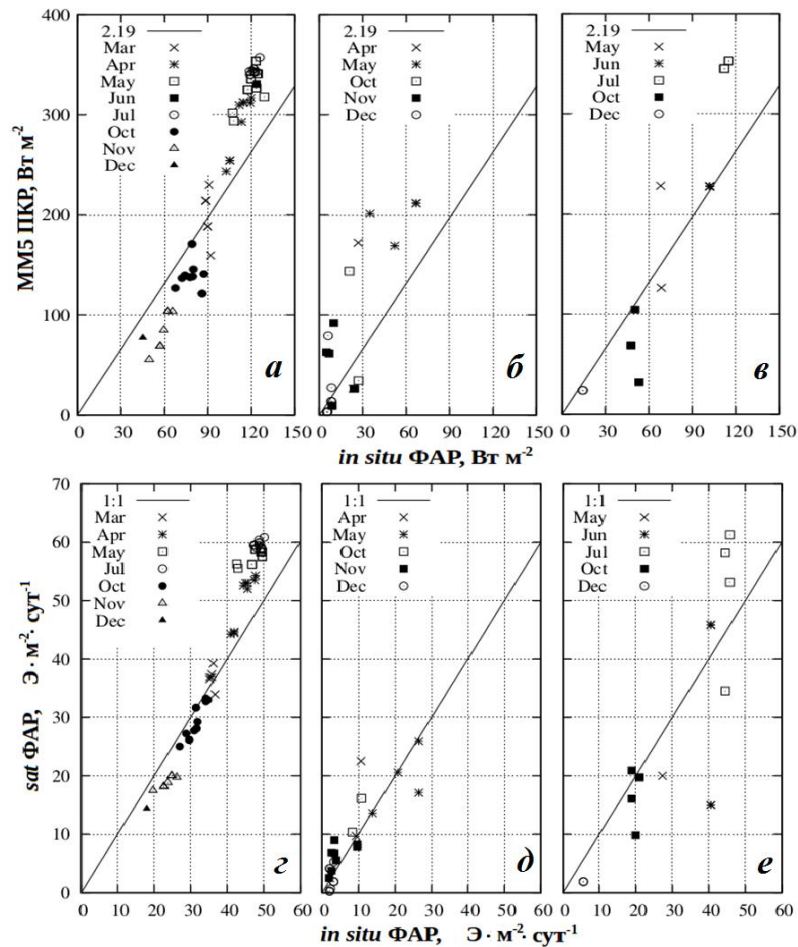


Рис. 11. Примеры изменчивости ФАР *in situ* для трех групп выборок: первая группа – безоблачная атмосфера 19 марта 2012 г. (а), вторая группа – однородная облачность 7 апреля 2012 г. (б) и третья группа – переменная облачность 9 октября 2012 г. (в).



Р и с . 1 2 . Результаты сравнения суточного значения ФАР *in situ* с MM5 (а – в) и MODIS-Aqua (з – е) для трех групп выборок: безоблачная атмосфера (первая группа) (а, з), однородная облачность (вторая группа) (б, д), переменная облачность (третья группа) (в, е).

с MODIS-Terra не показаны из-за экономии места. Они аналогичны результатам сравнения с MODIS-Aqua, хотя особенности имеют место для второй группы. Хорошо видно, что для первой группы имеет место завышение ФАР (относительно линии 1 : 1) и ПКР (относительно линии 1 : 2,19) для летних месяцев, как для спутникового продукта, так и для расчета по MM5 до $\sim 10 \text{ Э} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ и $70 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ соответственно. Причина такого результата пока до конца неясна. Хотя похожий результат описан в [5] при сравнении с результатами ISCCP эксперимента со спутниковыми значениями ФАР. Что касается второй и третьей групп, то имеют место большие ошибки (до 200 %) как для спутникового продукта (единичного измерения в день), так и для расчетов по MM5 для текущей версии параметризации для района Черного моря.

Представляет интерес оценка ошибки суточного значения ФАР от количества измерений за сутки для спутникового продукта. Для этого все дни были разбиты на четыре группы вне зависимости от ситуации в атмосфере.

В первую группу вошли все единичные измерения за все дни измерений *in situ*, во вторую группу – только дни с двумя измерениями и т.д. Для второй-четвертой групп вычислялось среднее значение ФАР для соответствующего дня. Затем для всех четырех групп рассчитывалась относительная ошибка

$$\delta_n = \frac{(PAR_{insitu} - PAR_{sat,n})}{PAR_{insitu}}, \text{ где } PAR_{sat,n} = \frac{1}{n} \cdot \sum PAR_{sat,i} - \text{среднее значение}$$

для разных витков и с разных спутников, n – число измерений в течение дня.

Максимальное значение этой ошибки показано в табл.1. Видно, что качественный скачок достигается при $n \geq 3$. Последнее можно использовать как критерий качества восстановления суточного значения ФАР по спутниковым данным.

Таблица 1. Максимальное значение δ_n как функции числа измерений n .

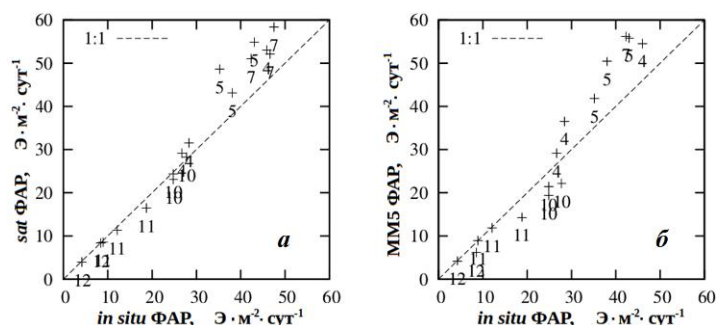
n	1	2	3	4
макс δ_n	200 %	150 %	50 %	40 %

Представляет практический интерес сравнение усредненных за неделю значений ФАР. Серии по 7 дней были выбраны, исходя из имеющихся измерений ФАР *in situ* (табл.2). Результаты сравнения измерений со спутниковыми данными и расчетами по модели ММ5 приведены на рис.13.

Для этих же интервалов времени были рассчитаны средние значения ФАР *in situ*, стандартного спутникового продукта и результатов расчета по модели ММ5. Спутниковые данные показали хорошую точность (абсолютная ошибка $< 2 \text{ Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) в интервале ФАР от 0 до $30 \text{ Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ и систематичес-

Таблица 2. Интервалы дат, по которым проводилось 7-дневное осреднение суточных ФАР по измерениям *in situ*, стандартному спутниковому продукту и расчетам по модели ММ5.

месяц в 2012 г.	апрель	май	июль	октябрь	ноябрь	декабрь
интервал в днях	3 – 9	6 – 12	1 – 7	6 – 12	9 – 15	1 – 7
	10 – 16	16 – 22	8 – 14	13 – 19	16 – 22	8 – 14
	24 – 30	23 – 29	15 – 21	20 – 26	23 – 29	



Р и с . 1 3 . Сравнение осредненных за 7 дней значений ФАР *in situ* со спутниковым стандартным продуктом (а) и результатами расчетов по модели ММ5 (б). Цифра под символом означает номер месяца для семидневной реализации в 2012 г.

кое завышение $\sim 5-7 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$ в интервале ФАР от 35 до 50 $\text{Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$. Для последнего интервала ФАР поведение расчетных значений по модели MM5 аналогично спутниковому продукту. В интервале от 20 до 30 $\text{Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$ абсолютные ошибки для MM5 лежат в более широком диапазоне ($< 5 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) по сравнению со спутниковыми данными. Для интервала значений ФАР ($< 12 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) совпадение хорошее (абсолютная ошибка $< 1 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$).

Выводы. Получено завышение суточного значения ФАР (в абсолютных значениях до 10 $\text{Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) для летних месяцев и занижение ($\sim 3 - 4 \text{ Э}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сут}^{-1}$) для зимних месяцев. Это верно как для расчетов по MM5, так и для стандартного спутникового продукта, полученного по алгоритму [5].

Получен критерий качества оценки суточной величины ФАР как функции числа витков в течение дня для стандартного спутникового продукта. Показано, что при переходе от двух к трем виткам максимальное значение относительной ошибки для суточной величины ФАР уменьшается в 3 раза, хотя и продолжает оставаться сравнительно большой ($\sim 50\%$). Для семидневного осреднения флюктуации, связанные с облачностью, сгладились. Однако систематическая ошибка ФАР (завышенные по сравнению с *in situ*) в летний сезон сохранилась как для MM5, так и для спутникового продукта.

Благодарности. Авторы благодарят с.н.с. Маньковского В.И. за прочтение статьи и ряд полезных замечаний и группу NASA/GSFC/OBPG за обработку и предоставление спутниковых данных. Работа была поддержана РФФИ (грант 14-45-01516 р_юг_a) и частично финансировалась за счет международного проекта *MyOcean-2* 7-ой рамочной программы Европейского союза и проектов Национальной академии наук Украины “Фундаментальные проблемы оперативной океанографии” и “Риски”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korotaev G.K., et al. Operative system diagnosis and prognosis of the Black Sea with the assimilation of satellite information // Space research in Ukraine, Report to COSPAR / Scien. Ed. O.Fedorov.– Kiev: Academ Periodika, 2012.– P.85-92.
2. Дорофеев В.Л. Моделирование декадной изменчивости экосистемы Черного моря // Морской гидрофизический журнал.– 2009.– № 6.– С.71-81.
3. Финенко З.З., Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Оценка продуктивности фитопланктона Черного моря по спутниковым данным // Докл. РАН.– 2010.– т.432, № 6.– С.845-848.
4. Churilova T.Ya., Suslin V.V. Seasonal and inter-annual variability in waters transparency, chlorophyll a content and primary production in the Black Sea simulated by spectral bio-optical models based on satellite data (SeaWiFS) // Ocean Optics XXI, Glasgow, Scotland, October 8-12, 2012, CD, 13 p. OO121251_Churilova_Tetyana_OO121251.docx
5. Frouin PAR algorithm. http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/seawifs_par_wfigs.pdf
6. Dudhia J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front // Mon. Wea. Rev.– 1993.– v.121.– P.1493-1513.
7. Baker D.M., Huang W., Guo Y.-R., Xiao Q.N. A Tree-Dimensional (3DVAR) Data Assimilation System For Use With MM5: Implementation and Initial Results // Mon. Wea. Rev.– 2004.– v.132.– P.897-914.

8. Шокуров М.В. Численное моделирование атмосферной циркуляции над Черным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– вып.25, т.2.– С.91-117.
9. AERONET (Aerosol Robotic Network). <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
10. Morel A., Smith R.C. Relation between total quanta and total energy for aquatic photosynthesis // Limnology and Oceanography.– 1974.– 19.– P.591-600.
11. GEWEX. <http://gewex-srb.larc.nasa.gov>
12. MODIS. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl?sen=am>

Матеріал поступив в редакцію 15.11.2014 г.

АНОТАЦІЯ Короткохвильова радіація (200 – 4000 нм) є одним з ключових факторів екосистеми Чорного моря. Її компонента, фотосинтетично активна радіація (ФАР) від 400 до 700 нм, бере участь у процесах фотосинтезу і впливає на термодинамічні властивості моря. Проведено порівняння ФАР, отриманної з двох джерел: регіональної метеорологічної моделі MM5 і измерений колірною сканера MODIS. Як еталон були використані вимірювання *in situ* ФАР. Порівняння даних показало, що для обох джерел має місце переоцінка добового значення ФАР (до $10 \text{ Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) в літні місяці і недооцінка ($\sim 3 - 4 \text{ Э}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) в зимові місяці в умовах безхмарним атмосфери. Для часткової та суцільної хмарності точність відновлення ФАР для обох моделей істотно нижче.

ABSTRACT The sun sort-wave radiation (200 – 4000 nm) is one of the key factor the Black Sea ecosystem. Its component, photosynthetically available radiation (PAR) from 400 to 700 nm, performs in creation of primary production and forces on thermodynamic properties of the sea due to its absorption into upper seawater layers. All the above outlines an important of incident PAR as an input to the Black Sea operative ecological and dynamic models. Comparison of daily PAR quality from two data sets (MM5 adapted on the Black Sea and MODIS standard product) has been done. Performed by QSL-2100 instrument during 2012 in Sevastopol the *in situ* PAR measurements are used as true. The analysis showed that there are an overestimation about $10 \text{ E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{D}^{-1}$ during the summer months and an underestimation about $3 - 4 \text{ E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{D}^{-1}$ during the winter months in the cloudless conditions. In the case of the variance caused by clouds, the accuracy of PAR values is low.