

ОЦЕНКА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ И В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ

Вазюля С.В.¹, Копелевич О.В.¹, Шеберстов С.В.¹

*¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-27-81, svershova@mail.ru*

The paper presents a set of algorithms developed in IORAS for calculating the main components of the PAR budget at the sea surface and in the near-surface layer from satellite data. The algorithms were applied to assess the effect of coccolithophore blooms on the penetration of PAR in the Barents Sea.

Количественная оценка солнечной радиации видимого диапазона спектра 400-700 нм (фотосинтетически активной радиации – ФАР) на поверхности моря и в водной толще необходима для исследования двух важных проблем: во-первых, как фактора, определяющего создание первичной продукции фитопланктона, во-вторых, в аспекте влияния на тепловой баланс поверхностного слоя. Натурные измерения ФАР проводятся относительно редко, и единственная возможность для оценки пространственной и временной изменчивости ФАР и влияния на нее различных факторов – использование данных спутниковых наблюдений, которые регулярно осуществляются в течение многих лет и охватывают одновременно большие акватории.

В докладе представлен разработанный в ИОРАН комплекс алгоритмов [1, 2] для расчета основных составляющих баланса ФАР на поверхности моря и в приповерхностном слое по спутниковым данным и результаты верификации [3]. На примере Баренцева моря показана применимость этих алгоритмов для изучения влияния кокколитофоридных цветений (КЦ) на проникновение ФАР [4]. КЦ наблюдаются в Баренцевом море в июле-сентябре практически ежегодно и оказывают заметное влияние на проникновение ФАР в водную толщу, так как кокколитофориды и отделившиеся кокколиты сильно рассеивают солнечное излучение и увеличивают альбедо водной толщи.

Алгоритм ИОРАН [1] для оценки дневной экспозиции ФАР (ДЭ ФАР) на поверхности моря учитывает случаи как безоблачной, так и

облачной атмосферы. Наличие или отсутствие облачности определяется по флагу облачности. Понятие «разорванной облачности» отсутствует: каждый пиксель принимается однородным. Для безоблачного и облачного случаев применяются, соответственно, алгоритмы [5] и [6]. Для расчетов подводной облученности $E_d(z)$ используется экспоненциальный закон: $E_d(z) = E_d(0) \exp[-K_d z]$, где $E_d(0)$ – облученность сверху непосредственно под поверхностью моря, K_d – показатель диффузного ослабления подводной облученности. Алгоритмы расчета величин $E_d(0)$ и K_d по спутниковым данным подробно описаны в [1, 2].

При расчете ДЭ ФАР параметры атмосферы и воды предполагаются неизменными в течение всего дня; учитывается лишь изменение высоты Солнца. При этом предположении через каждый час рассчитываются мгновенные спектральные величины поверхностной и подводной облученности на различных горизонтах с разрешением 20 нм в диапазоне ФАР. Рассчитанные величины затем интегрируются по спектру и по времени, чтобы получить значения дневных экспозиций этих величин.

В настоящее время дневные экспозиции поверхностной ФАР также доступны на сайте НАСА (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) как стандартный продукт обработки данных спутниковых сканеров цвета на сайте НАСА. На рис. 1 сравниваются распределения ДЭ ФАР по данным MODIS Aqua 30 июля 2014 г. на границе между Северным и Норвежским морями, рассчитанные с использованием алгоритмов НАСА и ИОРАН. Алгоритмы дают близкие оценки величины ДЭ ФАР, но есть

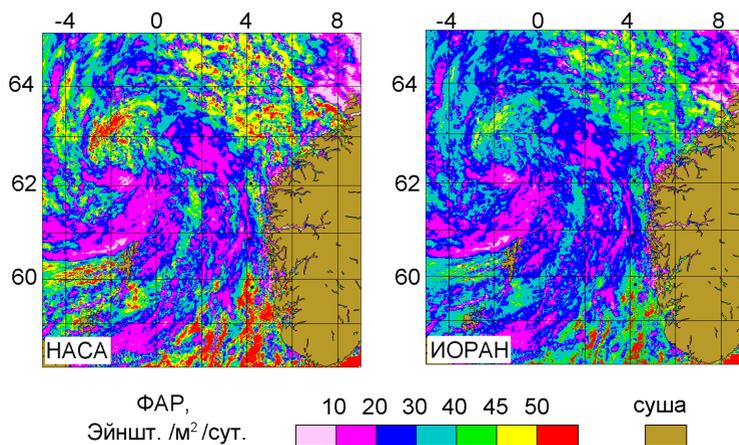


Рис. 1. Распределения ДЭ ФАР (Эйншт. м² сут.⁻¹) по данным MODIS Aqua 30 июля 2014 г., рассчитанные стандартным алгоритмом НАСА (слева) и алгоритмом ИОРАН (справа).

заметные различия в области высоких значений ДЭ ФАР (больше 45 Эйншт. м⁻² сут.⁻¹), что соответствует области «безоблачных» пикселей. Скорее всего, это связано с тем, что в алгоритме НАСА для безоблачной атмосферы используются модельные параметры, а в алгоритме ИОРАН – спутниковые данные. Верификация спутниковых оценок ДЭ ФАР по данным натурных измерений на ходу судна [3] показала, что средняя ошибка спутниковых значений, усредненных по маршруту НИС за день, относительно ДЭ ФАР, рассчитанных по натурным измерениям в течение дня, равна 32 и 17% для алгоритмов НАСА и ИОРАН соответственно, что можно считать приемлемым.

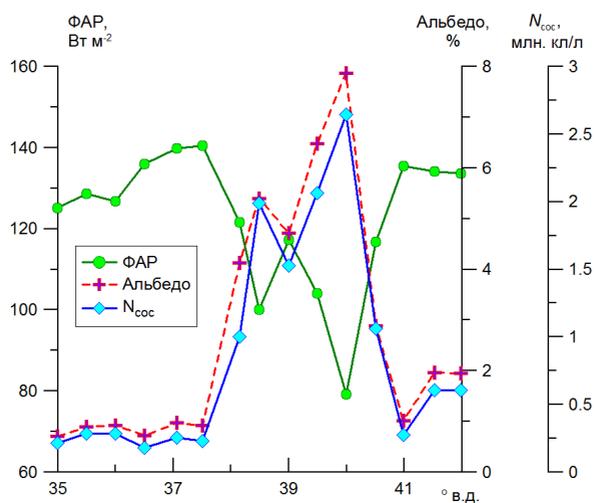


Рис. 2. Изменение величины ФАР на глубине 5 м, концентрации кокколитофорида $N_{\text{сос}}$ и альбедро водной толщи на разрезе по 71° с.ш. по данным MODIS 6.07.2016 г.

На рис. 2 представлены результаты исследования влияния КЦ на величины подводной ФАР и альбедро водной толщи [4] по спутниковым данным MODIS 6 июля 2016 г. для 14 точек на разрезе по 71° с.ш. от 35° до 42° в.д. через область КЦ (см. рис. 5 в [4]). Как видно из рис. 2, КЦ оказывает сильное воздействие на проникновение солнечной радиации в водную толщу: при отсутствии цветения альбедро составляет меньше 1% (на 41° в.д.), при возрастании концентрации кокколитофорида до 2.6 млн. кл/л альбедро возрастает почти до 8% (на 40° в.д.). Величина нисхо-

дящей ФАР на глубине 5 м уменьшается еще более резко – от 135 Вт м⁻² на 41° в.д. до 79 Вт м⁻² на 40° в.д. (более чем на 40%).

Таким образом, представленные алгоритмы позволяют с приемлемой точностью оценивать по спутниковым данным величину ФАР, поступающей на поверхность моря и в подповерхностный слой, а также оценить влияние на эти процессы такого важного фактора, как кокколитофоридные цветения.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 14-50-00095, предоставленного Институту океанологии им. П.П.Ширшова РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копелевич О.В., Буренков В.И., Вазюля С.В. и др. Оценка баланса ФАР в Баренцевом море по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS // *Океанология*. 2003. Т. 43, № 6. С. 834-845.
2. Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И. и др. Оценка объемного поглощения солнечного излучения в водной толще по спутниковым данным // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. Кн. 1./ Под ред. Лаверова Н.П. М.: Наука, 2006. С. 109-126.
3. Vazyulya S.V., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Artemiev V.A. Estimation of sea surface solar radiation at 400-700 nm using satellite ocean color data, and its validation by ship data // *Optics Express*. 2016. V. 24, № 6. P. A604-A611.
4. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Григорьев А.В., и др. Проникновение солнечной радиации видимого диапазона в воды Баренцева моря в зависимости от облачности и кокколитофоридных цветений // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 3. С. 445-453.
5. Ершова С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. и др. Метод оценки проникновения видимого и ультрафиолетового солнечного излучения в воды арктических морей на основе спутниковых данных: случай безоблачной атмосферы // *Океанология*. 2001. Т. 41, № 3. С. 335-343.
6. Ершова С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. Метод оценки проникновения солнечного излучения в воды арктических морей на основе спутниковых данных: случай сплошной облачности // *Океанология*. 2002. Т. 42, № 1. С. 22-31.