

7. Проектирование и внедрение систем для климатического и технологического мониторинга / Л. И. Сучкова, Х. М. Хуссейн, Р. В. Кунц, А. Г. Якунин // Известия АГУ. – 2013. – № 1(1). – С. 210–214.

8. Многоточечная система дистанционного мониторинга пространственно-распределенных динамических процессов / Л. И. Сучкова, Х. М. Хуссейн, Р. В. Кунц, М. А. Якунин, А. Г. Якунин, А. В. Юрченко // Контроль, диагностика. – 2013. – № 13. – С. 95–101.

9. Hubert M., Vandervieren E. An adjusted boxplot for skewed distributions // Comput. Stat. Data Anal. – 2008. – Vol. 52. – Pp. 5186–5201.

10. Shiffler R. E. Maximum Z Scores and Outliers // Am. Stat. – 1988. – Vol. 42. – Pp. 79–80.

11. Сучкова Л. И., Якунин А. Г. Интервальный метод идентификации нештатных ситуаций в системах оперативного контроля // Глобальный научный потенциал. – 2012. – № 2(11). – С. 72–74.

12. Сучкова Л. И., Якунин А. Г. Развитие метода Е-слоя для нахождения интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов // Вестник Самарского ГУ (Естественно-научная серия). – 2013. – № 9/2(110). – С. 25–30.

13. Сучкова Л. И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 88–92.

14. Сучкова Л. И. Алгоритмическое обеспечение мониторинга нештатных состояний объекта контроля на основе многомерных паттернов // Известия АГУ. – 2013. – № 1(2). – С. 118–122.

Получено 08.02.2015

УДК 528.8.04:528.88

М. А. Якунин, аспирант, Алтайский государственный университет, Барнаул

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО ПОДХОДА *

Контроль радиационного баланса ПП и, в частности, поглощенной солнечной энергии ПП в диапазоне 0,3...2,4 мкм, уходящего излучения на ВГА, альbedo ПП являются важными задачами современной физики атмосферы [1, 2]. Для их решения целесообразно использовать данные дистанционного зондирования Земли, имеющие высокое пространственное разрешение и позволяющие вести оперативный мониторинг на обширных территориях.

В работе использовались данные спектрорадиометра MODIS/Terra-Aqua [3] и моделирующий комплекс MODTRAN5.2.1 [4] для решения следующих задач: восстановление альbedo ПП и расчет уходящего излучения на ВГА.

Альbedo ПП, определяющее долю отраженного излучения, зависит от свойств поверхности и имеет высокую временную и пространственную изменчивость. В силу этого готовый продукт MODIS, содержащий альbedo и обновляемый раз в 16 дней, не является информативным для расчета поглощенной энергии ПП, и задача определения альbedo ПП остается актуальной.

Предложенная методика нахождения альbedo при безоблачных условиях наблюдения заключается в следующем. При помощи MODTRAN для каждого из каналов 1-7 спектрорадиометра, являющихся наиболее информативными и покрывающими необходимый спектральный диапазон, моделировались показания интенсивности на ВГА [5]. В качестве необходимых входных данных использовались данные о состоянии атмосферы из продуктов MODIS

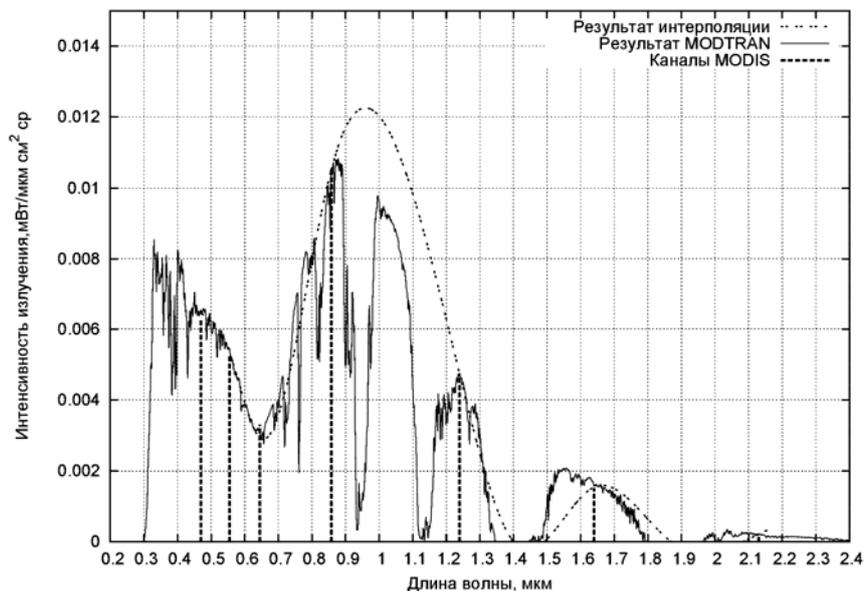
(полное содержание водяного пара в столбе атмосферы, аэрозольная оптическая толщина, геометрия наблюдаемой сцены), а в качестве начальных приближений альbedo ПП использовались значения, близкие к реальным для большинства типов поверхностей. В качестве второй точки a_1 , необходимой для применения метода секущих, выбиралось значение $a_1 = a_0(1 + 1,5k)$, где k – относительная разность между расчетным и измеренным откликом спутникового канала. Если значение a_1 после первой итерации выходило за диапазон возможных значений альbedo [0,1], то оно выбиралось равным соответствующей границе данного интервала. Таким образом, за несколько итераций-запусков MODTRAN (обычно 5-8) восстанавливалось значение альbedo, при котором расчетное значение интенсивности на ВГА совпадало с реально измеренным с заданной точностью.

Для восстановления спектра альbedo ПП полученные значения в диапазонах каналов интерполировались сплайном. Сопоставление с базой данных альbedo ASTER [6] показало, что интерполяция дает погрешность порядка 3-5 % для большинства естественных типов ПП (трава, лес, почвы и т. д.).

Методика восстановления спектра уходящего излучения на ВГА заключается в следующем. Зарегистрированные значения интенсивности уходящего излучения в каналах спектрорадиометра 1-7 при определенном состоянии атмосферы и условиях наблюдения интерполируются сплайном с учетом двух

зон поглощения: 1,4 мкм и 1,9 мкм. На рисунке изображен результат интерполяции, расположение использованных каналов спектрорадиометра MODIS,

а также спектр уходящего излучения при том же состоянии атмосферы и условиях наблюдения, рассчитанный на MODTRAN.



Результаты интерполяции интенсивности излучения на ВГА

Интегрирование полученного спектра по всему необходимому диапазону длин волн дает величину полной уходящей коротковолновой энергии излучения. Как видно из приведенного рисунка, интерполированная кривая на большей части коротковолнового диапазона достаточно точно ложится на спектр излучения, полученный в результате расчетов в моделирующей среде, за исключением участка в области 1 мкм. К сожалению, в связи с отсутствием на спектрорадиометре канала на данном участке спектра возможность дальнейшего сближения модельного спектра и спектра, восстановленного путем сплайн-интерполяции, представляется проблематичной.

Тем не менее сравнение интенсивности восходящего потока излучения, полученного в моделирующей среде MODTRAN, со значением, полученным путем интегрирования интерполированного спектра, показало погрешность в пределах 5,5...6,5 %, что позволяет утверждать, что предложенная методика приемлема для оперативных расчетов. Использование большего числа каналов спутникового прибора для расчета альбедо или восстановления спектра уходящего излучения, а также доопределение значения интенсивности на участке 1 мкм при проведении сплайн-

на (аналогично тому, как были доопределены его значения в полосах поглощения) может дополнительно повысить точность приближенных вычислений.

Библиографические ссылки

1. Tang B., Li Z.-L., Zhang R. A direct method for estimating net surface shortwave radiation from MODIS data // Remote Sensing of Environment. – 2006. – No. 113. – Pp. 115–126.
2. Kim H.-Y., Liang S. Development of a hybrid method for estimating land surface shortwave net radiation from MODIS data // Remote Sensing of Environment. – 2010. – No. 114. – Pp. 2393–2402.
3. MODIS: Advanced facility instrument for studies of the Earth as a system IEEE / V. V. Salomonson, W. L. Barnes, P. W. Maymon [et al.] // Trans. Geosci. Remote Sens. – 1989. – No. 27. – Pp. 145–153.
4. MODTRAN5: 2006 Update / A. Berk, G. P. Anderson, P. K. Acharya [et al.] // Proc. SPIE. – 2006. – No. 6233.
5. Yakunin M. A., Yurchenko A. V. MODTRAN5 Simulations of Responses from MODIS Spectroradiometer Channels // Technical Physics. – 2015. – No. 60(1). – Pp. 141–144.
6. The ASTER Spectral Library Version 2.0 / A. M. Baldridge, S. J. Hook, C. I. Grove, G. Rivera // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – Pp. 711–715.