

МЕТОДИКА УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ИЗ КОСМОСА СПЕКТРАХ И ЕЕ АПРОБАЦИЯ ПО НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

В работе описывается методика устранения влияния атмосферы в зарегистрированных из космоса спектрах восходящего излучения и апробация методики по данным космических и наземных измерений Шацкого полигона.

Работающая на борту Международной космической станции (МКС) фотоспектральная система [1], созданная в НИИПФП им. А.Н.Севченко БГУ, осуществляет измерения спектров высокого разрешения подстилающих поверхностей в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн и цветных изображений высокого пространственного разрешения. Для устранения влияния атмосферы в регистрируемых спектрах разработана методика и соответствующее программное обеспечение.

Методика включает модель безоблачной атмосферы, оптико-физические параметры которой существенны с точки зрения теории переноса излучения, аналитическое представление спектра уходящего излучения на верхней границе атмосферы, решение обратной задачи по нахождению неизвестных параметров и, собственно, атмосферную коррекцию: учет вклада атмосферы и вычисление коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) у поверхности Земли. При построении оптической модели рассматривается простейшая горизонтально однородная атмосфера: используемая полуэмпирическая формула включает лишь интегральные по высоте спектральные оптические толщины атмосферы, а индикатриса рассеяния предполагается независимой от высоты рассеивающего слоя в атмосфере. Считаем, что в молекулярной консервативно рассеивающей атмосфере присутствуют атмосферные аэрозоли, рассеивающие и поглощающие свет [2]. На данном этапе разработки модель не учитывает полосы поглощения основных атмосферных составляющих (водяного пара, кислорода, озона), поэтому для нахождения оптических параметров используются участки спектра вне полос поглощения указанных газов.

Для теоретического представления функции спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) восходящего излучения на верхней границе атмосферы предлагается следующее выражение:

$$B^{теор}(\lambda) = B_{атм}(\lambda) + \frac{1}{\pi} \cdot E(\lambda, \mu_0) \cdot e^{-\frac{\tau_A(\lambda)}{\mu}} \cdot A(\lambda), \quad (1)$$

где λ – длина волны;

μ_0 – косинус зенитного угла Солнца;

μ – косинус угла наблюдения;

$B_{атм}(\lambda)$ – спектральная яркость атмосферной дымки;

$E(\lambda, \mu_0)$ – освещенность поверхности Земли Солнцем (описывается формулой Эддингтона с поправкой на учет вероятности выживания кванта) [3];

$\tau_A(\lambda)$ – вертикальная оптическая толщина атмосферы;

$A(\lambda)$ – альbedo изотропной поверхности (линейная аппроксимация на этапе нахождения параметров атмосферы).

Для расчета спектральной яркости атмосферной дымки, включая помеху бокового подсвета, предлагается следующая полуэмпирическая формула:

$$B_{atm}(\lambda) = \frac{k \cdot \lambda \cdot \tau_A(\lambda) \cdot \Lambda(\lambda)}{4} \cdot S(\lambda) \cdot x(\gamma) \cdot \frac{\mu_0}{\mu + \mu_0} \cdot \left(1 - e^{-\tau_A(\lambda) \left(\frac{1}{\mu_0} + \frac{1}{\mu} \right)} \right), \quad (2)$$

где k – поправочный постоянный коэффициент для улучшения соответствия модельных и измеренных данных;

$\Lambda(\lambda)$ – альbedo однократного рассеяния (вероятность выживания кванта);

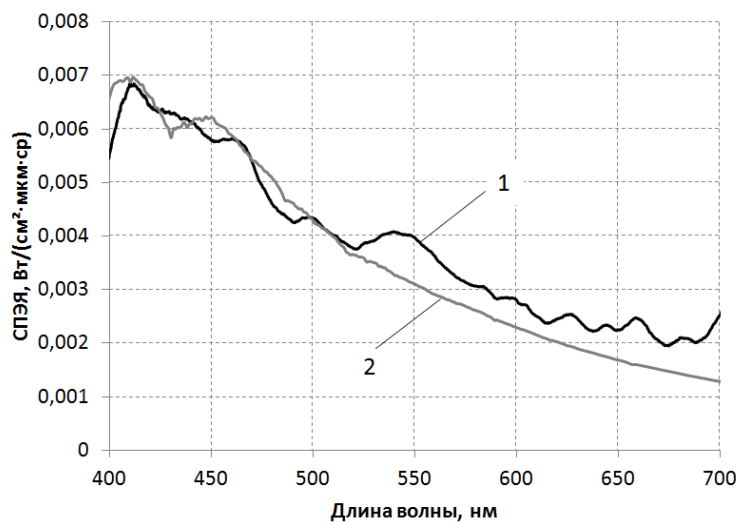
$S(\lambda)$ – солнечная постоянная на верхней границе атмосферы;

$x(\gamma)$ – индикатриса рассеяния (принимается независящей от длины волны в приближении Хензи-Гринштейна [4]), γ – косинус угла рассеяния между направлениями освещающего солнечного излучения и наблюдения).

С учетом параметризации спектральной оптической толщины модель содержит восемь неизвестных параметров, которые находятся с помощью метода наименьших квадратов, в качестве измеренных значений используются фактические значения СПЭЯ, зарегистрированные ФСС из космоса. После нахождения всех параметров модели для расчета альbedo поверхности используется формула (1).

Для апробации методики данные ФСС, измеренные с борта МКС, сопоставлялись с данными наземных измерений КСЯ растительности Шацкого полигона (Украина, Польша) из базы данных Научного центра аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины [5]. Измерения из космоса проводились 15 июля 2010 г., а наземные измерения осуществлены в период с 25 по 30 июня 2010 г. Для анализа были отобраны участки схожей растительности, зарегистрированные ФСС и спектрорадиометром для наземных измерений FieldSpec®3 FR на расстоянии не более 30 км друг от друга.

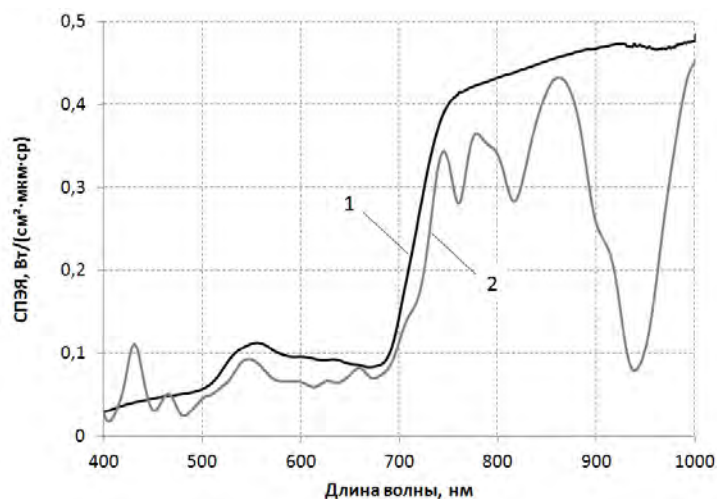
На рисунке 1 представлено сравнение результата моделирования СПЭЯ на верхней границе атмосферы с использованием (1) и спектра, измеренного из космоса ФСС.



1 – экспериментальные данные; 2 – данные по модели

Рисунок 1 – Моделирование СПЭЯ восходящего излучения на верхней границе атмосферы

На рисунке 2 сопоставляются кривая альbedo луговой растительности, полученная в ходе наземных измерений, и кривая альbedo, восстановленная по данным ФСС с помощью представленной методики. Следующим этапом развития методики станет устранение полос поглощения озона, кислорода и водяного пара атмосферы в восстанавливаемых функциях альbedo поверхностей (рисунок 2). Следует иметь в виду определенное временное и пространственное несовпадение используемых наземных и космических данных.



1 – наземные измерения; 2 – космические измерения
Рисунок 2 – Альbedo луговой растительности

Таким образом, в результате визуального анализа ряда кривых растительности, полученных в ходе космических и наземных измерений, произведена качественная оценка и подтверждена корректность работы методики устранения влияния атмосферы в зарегистрированных из космоса спектрах. Определение точности восстанавливаемых спектральных кривых станет возможным после накопления достаточного объема данных многоуровневых квазисинхронных экспериментов.

Список литературы

1. Фотоспектральная система для космического эксперимента «Ураган» / Б.И. Беляев [и др.] // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 41 – 48.
2. Беляев, Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И.Беляев, Л.В.Катковский. – Минск: БГУ, 2006. – 455 с.
3. Васильев, В.А. Коротковолновое солнечное излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация / В.А. Васильев, И.Н.Мельникова. – Санкт-Петербург: НИИХ СПбГУ, 2002. – 388 с.
4. Zege, E.P. Image Transfer through a Scattering Medium / E.P. Zege, A.P. Ivanov, I.L. Katsev. – Springer Verlag, 1991. – 349 p.
5. Создание спектральной базы данных полигонов ДЗЗ Беларуси и Украины / Б.И. Беляев [и др.] // 11th Ukrainian Conference on Space Research: Abstracts, August 29 – September 2, 2011, Yevpatoria, Crimea, Ukraine. – Kyiv, 2011. – P. 86.

The paper describes a techniques to eliminate the atmosphere influence on outgoing radiation spectra measured from space and techniques approbation using space and ground measurements of Shatsky test site.

Катковский Л.В., г.н.с. НИИПФП им. А.Н.Севченко БГУ, д.ф.-м.н., доцент, Минск, Беларусь, e-mail: katkovskyl@bsu.by.

Козлова А.А., с.н.с. Научного центра аэрокосмических исследований Земли (НЦАКИЗ) ИГН НАН Украины, к.т.н., Киев, Украина, e-mail: ak.koann@gmail.com.

Попов М.А., заместитель директора НЦАКИЗ, д.т.н., профессор, Киев, Украина, e-mail: mpopov@casre.kiev.ua.