

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ SEVIRI НА ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКАХ METEOSAT

© 2010 г. А. В. Поляков*, Ю. М. Тимофеев

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет

**E-mail: polyakov@troll.phys.spbu.ru*

Поступила в редакцию 10.08.2009 г.

Описана новая усовершенствованная методика определения общего содержания озона с высоким пространственным ($3 \times 3 \text{ км}^2$ в подспутниковой точке) и временным (15 мин) разрешением на основе измерений прибора SEVIRI с геостационарных спутников Meteosat и использования информации с полярных спутников о температурном состоянии атмосферы (приборы AIRS и AMSU-A) и общем содержании озона (ОСО) с использованием прибора OMI. Методика определения ОСО была использована для интерпретации данных SEVIRI для различных дней 2008 г. Для анализа погрешностей методики были проведены сопоставления восстановленных ОСО с данными наземных измерений WOUDC. Для рассмотренного ансамбля сопоставлений (12 дней и 58 сопоставлений) среднее и среднеквадратичное отклонения от наземных данных составили -1.4% и 5% соответственно, причем коэффициент корреляции составил 0.95.

Ключевые слова: геостационарные ИСЗ, полярные ИСЗ, общее содержание озона, атмосфера

ВВЕДЕНИЕ

Приборы геостационарных ИСЗ позволяют определять важные параметры атмосферы и поверхности с высоким пространственным и временным разрешением. Так, например, аппарат SEVIRI на геостационарных спутниках Meteosat-8 и -9 позволяет определять характеристики облачности, температуру поверхности, тропосферную влажность, поле ветра в тропосфере и т.д. с периодичностью 15 мин и пространственным разрешением 3–5 км (Aminou et al., 1997). Напомним, что прибор SEVIRI имеет 11 каналов измерений уходящего излучения в видимой, ближней ИК- и ИК-областях спектра (Aminou et al., 1999). Важной задачей является повышение информативности и точности измерений с геостационарных ИСЗ, в том числе с помощью прибора SEVIRI. В работе (Поляков, Тимофеев, 2007) изучены возможности использования измерений прибора для получения информации об общем содержании озона (ОСО). В ней показано, что без привлечения дополнительной информации погрешности определения ОСО с помощью многоканальных ИК-измерений прибором SEVIRI составляют 14–15% в зависимости от погрешности радиационных измерений. Привлечение дополнительной информации о температурном профиле позволяет уменьшить погрешность определения ОСО до 9–10%. Существенное сужение выборки (локализация воздушной массы) позволяет уменьшить погрешность определения ОСО до

2.3–7.0%. Однако использование локальной статистики озона имеет и отрицательные последствия – малый вклад самих измерений в решение обратной задачи.

В работе (Поляков, Тимофеев, 2008) предложен, проанализирован и проиллюстрирован метод определения ОСО с помощью интерпретации измерений уходящего излучения в восьми ИК-каналах прибора SEVIRI (Meteosat-8) и привлечения данных зондирования атмосферы с помощью полярного спутника Aqua (приборы AIRS и AMSU-A). В цитируемой работе построены и обучены нейронные сети, решающие обратную задачу определения ОСО по результатам измерения уходящего излучения аппаратурой SEVIRI и полученной по независимым данным (прибор AIRS) информации о термическом состоянии атмосферы и подстилающей поверхности. Показано, что среднее и среднеквадратичное отклонения результатов восстановления ОСО по разработанной методике от данных измерений наземной международной озонметрической сети составляют 1.5 и 6.5% соответственно. При этом из-за неполного покрытия земной поверхности данными AIRS получаемые поля ОСО в высокой степени фрагментарны.

Для определения характеристик поля ветра в стратосфере по смещениям “облаков озона”, как показывает опыт подобной задачи для водяного пара, желательно определять ОСО с большей точностью и с лучшим покрытием поверхности.

Таблица 1. Сопоставление спутниковых и наземных измерений ОСО

Сенсор	Среднее спутник/земля, ЕД	СКО, ЕД	Разность спутник – WOUDC, ЕД (%)		Коэффициент корреляции
			средняя	среднеквадратичная	
AIRS	298/300	53/48	-1.7 (0.6%)	19(6.4%)	0.934
OMI	293/296	45/48	-3.0 (1%)	12(4.1%)	0.968

В настоящей работе излагается усовершенствованная методика определения ОСО с помощью измерений спутника Meteosat и привлечения дополнительной информации.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Точность методики, предложенной в работе (Поляков, Тимофеев, 2008), определяется информативностью измерений самого прибора SEVIRI, а также объемом и качеством привлекаемой дополнительной информации. Повышение качества озонного зондирования может быть достигнуто за счет оптимизации привлекаемой дополнительной информации. В усовершенствованной методике для определения ОСО использовались следующие входные данные:

- измерения SEVIRI во всех 11-ти каналах;
- пространственные поля температуры на 22-х уровнях в атмосфере (за три дня измерений) по данным интерпретации измерений приборов AIRS и AMSU-A;
- данные измерений ОСО с помощью прибора OMI на полярном спутнике AURA (Ziemke et al., 2006).

Отличительной особенностью новой методики является:

- использование для обучения нейронной сети более точных данных об ОСО, получаемых с помощью прибора OMI (вместо прибора AIRS);
- отказ от использования данных AIRS о температуре поверхности, т.к. сами измерения SEVIRI позволяют с высокой точностью определять эту характеристику с высоким пространственно-временным разрешением;
- использование измерений в каналах прибора SEVIRI в видимой области спектра, что позволяет учесть облачное состояние атмосферы в момент измерений;
- использование трехдневных измерений температуры приборов AIRS и AMSU-A, что позволило существенно расширить пространственные области определения ОСО за счет наличия информации о трехмерном поле температуры при незначительной потере точности и уменьшить пространственную фрагментарность восстанавливаемых полей ОСО.

Для контроля качества различных данных об ОСО, как и ранее, использовались измерения

**Рис. 1.** Основные потоки данных при обучении сети и решении обратной задачи определения ОСО.

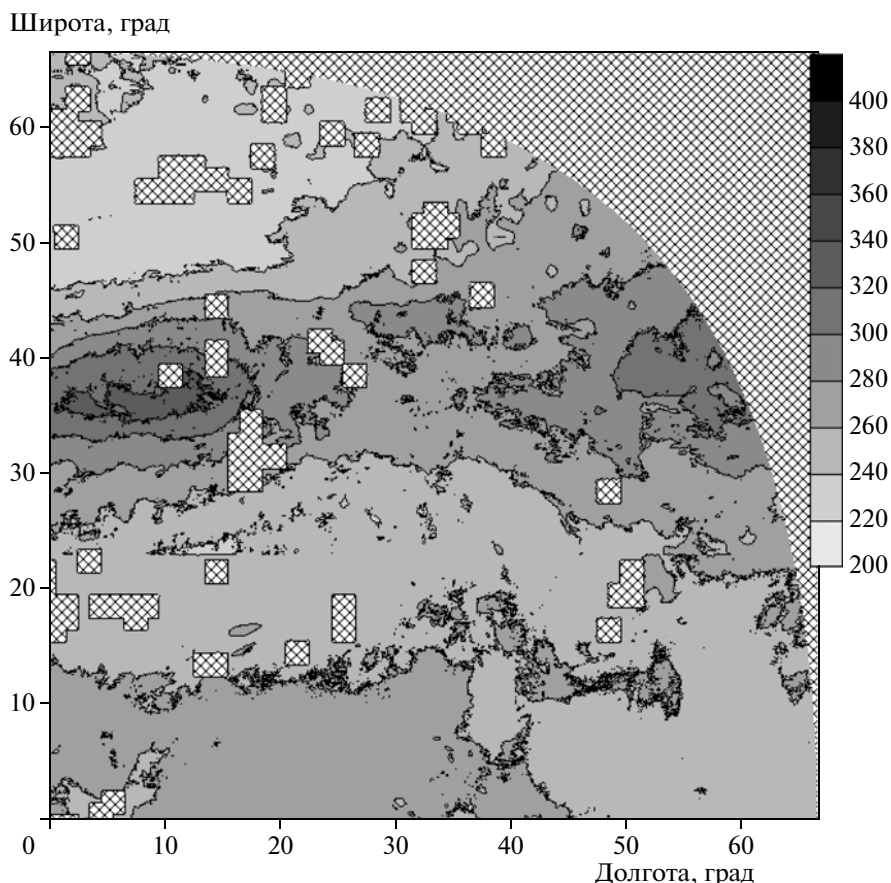


Рис. 2. Поле распределения ОСО, ЕД в первом квадранте области наблюдений 15 ноября 2008 г. в 11 ч. 30 м. Заштрихованные области соответствуют отсутствию информации.

ОСО наземной международной сетью наблюдений (данные WOUDC (Hare et al., 2004)).

Для иллюстрации более высокого качества данных ОМИ об ОСО по сравнению с данными

Таблица 2. Погрешности аппроксимации нейронной сети

Дата	Средняя разность, ЕД/%	Среднеквадратичная разность, ЕД/%
14.11.2007	-0.1/0.0	4.89/1.76
15.12.2007	0.1/0.0	5.1/1.9
15.01.2008	0.0/0.0	5.6/2.1
15.02.2008	-0.1/0.0	4.6/1.7
15.03.2008	0.0/0.0	5.4/2.0
16.04.2008	0.0/0.0	6.0/2.1
15.05.2008	0.0/0.0	5.7/2.0
16.06.2008	0.0/0.0	5.0/1.8
15.07.2008	0.0/0.0	4.9/1.8
15.09.2008	0.0/0.0	5.1/1.9
12.11.2008	0.1/0.0	4.5/1.7
15.11.2008	0.1/0.0	4.44/1.64
среднее	0.0/0.0	4.9/1/8

Примечание. ЕД – единицы Добсона.

AIRS приведем табл. 1, где даны результаты сравнений измерений двух приборов с данными WOUDC. Сравнения были проведены за 15 дней 2007–2008 гг.

Заметим, что среднее для наземных измерений различно для двух наборов спутниковых данных, т.к. используются различные – соответствующие различным спутниковым наблюдениям – наземные измерения. Хотя измерения ОМИ имеют несколько большие систематические отличия от наземных измерений (1% по сравнению с 0.6%), их случайные отличия существенно меньше – 4.1% по сравнению с 6.4%, что говорит об их лучшем взаимном согласовании. Об этом же свидетельствует и большее значение коэффициента корреляции.

Основные потоки данных при обучении сети и решении обратной задачи определения ОСО в рассматриваемой методике приведены на рис. 1.

Сопоставления восстановленных по предлагаемой методике ОСО и их отличия от данных ОМИ в замкнутом численном эксперименте (погрешность аппроксимации нейронной сети) приведены в табл. 2 для различных дней наблюдений. Из приведенных данных следует, что средние по-

грешности аппроксимации практически отсутствуют, а среднеквадратичная погрешность не превышает 2.1%. Отметим, что при обучении нейронной сети на данных ОСО AIRS погрешность параметризации в 2–3 раза больше, чем для ОСО OMI. Таким образом, очевидно, что данные OMI содержат меньший шум и лучше связаны с используемыми предикторами (измерениями SEVIRI и физическими параметрами состояния атмосферы).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Усовершенствованная методика определения ОСО была использована для интерпретации данных SEVIRI для различных дней 2008 г. Для анализа погрешностей методики были проведены сопоставления восстановленных ОСО с данными наземных измерений WOUDC. Отметим, что для рассмотренного ансамбля сопоставлений (12 дней и 58 сопоставлений) среднее и среднеквадратичное отклонения от наземных данных составили –1.4% и 5% соответственно, причем коэффициент корреляции составил 0.95.

На рис. 2 приведен пример поля содержания озона, полученного с помощью описанной методики. Как следует из приведенного рисунка, предложенный подход позволяет получать информацию с геостационарного спутника об ОСО на более чем 90% территории обзора (по сравнению с 20–50% для методики приведенной в (Поляков, Тимофеев, 2008)).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Предложена новая усовершенствованная методика определения ОСО с высоким пространственным ($3 \times 3 \text{ км}^2$ в подспутниковой точке) и временным (15 мин) разрешением на основе измерений прибора SEVIRI геостационарных спутников Meteosat и использования информации с

полярных спутников о температурном состоянии атмосферы и ОСО.

Сравнения данных об ОСО, восстановленных с помощью разработанной усовершенствованной методики, и данных наземных измерений показывают согласие в пределах 5.0% и 1.5% (среднеквадратические и средние отклонения). Отметим, что эти величины близки к отклонениям от наземных данных, достигнутым при использовании высокоинформативного спутникового прибора OMI (4.1% и 1%).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-00885-а, и РНП № 2.1.1/1138 и РНП № 2.2.1.1/3846.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.* О точности определения общего содержания озона с помощью аппаратуры SEVIRI на геостационарном спутнике Meteosat-8 // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 2. С. 3–9.
- Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.* Определение общего содержания озона с геостационарных спутников Земли // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т 44. № 6. С. 804–811.
- Aminou D.M.A., Jacquet B., Pasternak F.* Characteristics of the Meteosat Second Generation (MSG) Radiometer/Imager: SEVIRI / Proc. SPIE, EUROPTO series. 1997. V. 3221. P. 19–31.
- Aminou D.M.A., Ottenbacher A., Jacquet B., Kassighian A.* Meteosat Second Generation: On-ground Calibration, Characterisation and Sensitivity Analysis of the SEVIRI Imaging Radiometer / Proc. SPIE "Earth Observing Systems IV". 1999. V. 3750. P. 419–430.
- Hare E.W., Carty E.J., Fioletov V.E.* Recent advancements and Challenges at the WOUDC from a Historical Perspective / Proc. Quadrennial Ozone Symp. 1–8 June 2004. Kos, Greece. 2004. P. 346–347.
- Ziemke J.R., Chandra S. et al.* Tropospheric ozone determined from Aura OMI and MLS: Evaluation of measurements and comparison with the Global Modeling Initiative's Chemical Tracer Model // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. № D19303. doi:10.1029/2006JD007089.

Refined Method for Retrieving the Total Ozone from SEVIRI Measurements on Board Meteosat Geostationary Satellites

A. V. Polyakov, Yu. M. Timofeev

Saint-Petersburg State University, Physical Faculty

A new refined method for retrieving the total ozone (TO) with a high spatial ($3 \times 3 \text{ км}^2$ in the under satellite point) and temporal (15 min) resolution using SEVIRI measurements from Meteosat geostationary satellites and the information on atmospheric temperature (AIRS and AMSU-A data) and the total ozone (OMI data) from polar satellites is described. This method for the TO retrieval was used for interpreting the SEVIRI data obtained for a number of days in 2008. To analyze errors of the method, the retrieved TO data were compared with WOUDC ground-based measurements. For the considered comparison ensemble (12 days and 58 cases of the comparison), the mean and RMS differences between retrieved and ground-based data are –1.4% and 5%, respectively, and the correlation coefficient is 0.95.

Key words: geostationary satellites, polar satellites, total ozone data, atmosphere