



# Алгоритм восстановления спектральных коэффициентов отражения земной поверхности по данным MODIS в видимом и ближнем ИК-диапазоне

Белов В.В., Тарасенков М.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е Зуева СО РАН

Информация о коэффициенте отражения земной поверхности в видимом и ближнем ИК-диапазоне имеет широкий круг применений. Для получения качественной спутниковой информации необходима атмосферная коррекция спутниковых изображений. Задача атмосферной коррекции спутниковых изображений решается на протяжении нескольких десятилетий. В настоящий момент существует несколько подходов к решению этой задачи, например [1-5]. Однако каждый из существующих подходов имеет свои ограничения. Для учета всех необходимых факторов, влияющих на формирование изображения в видимом и УФ-диапазонах, был разработан алгоритм атмосферной коррекции, описанный в [6-8]. Отличительными особенностями разработанного алгоритма является определение коэффициента отражения сразу для целых областей снимка, использование приближенной формулы для интенсивности принимаемого излучения Солнца не взаимодействовавшего с земной поверхностью, использование критерия выделения изопланарных зон, критериев задания радиусов бокового подсвета и формирования дополнительной освещенности отраженным излучением. На стенде рассматривается предложенный алгоритм и результаты сравнения с алгоритмом MOD09 NASA для участка Юга Томской области и участка пустыни Такла-Макан.

## Алгоритм атмосферной коррекции

Алгоритм распадается на два этапа:

1. Определение  $Q = r_{surf} E_{sun}$ , 2. Определение  $r_{surf}$

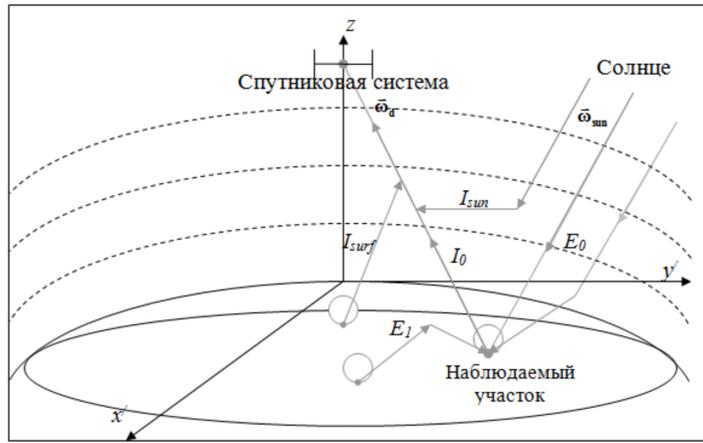


Рисунок 1 – Геометрическая схема постановки задачи.

Этап 1. Линейная система уравнений

$$\begin{cases} I_{sun,1} = I_{sun,1} + \sum_{j=1}^N A_{1,j} Q_j + A_{out,1} Q_1 \\ \dots \\ I_{sun,N} = I_{sun,N} + \sum_{j=1}^N A_{N,j} Q_j + A_{out,N} Q_N \end{cases} \quad (1)$$

Этап 2. Нелинейная система уравнений

$$\begin{cases} \frac{Q_1}{E_0} = r_{surf,1} \left( 1 + \sum_{j=1}^N C_{1,j} r_{surf,j} + C_{out,1} \bar{r}_{surf,1} + \frac{(\bar{r}_{surf,1} \gamma_1)^2}{1 - \bar{r}_{surf,1} \gamma_1} \right) \\ \dots \\ \frac{Q_N}{E_0} = r_{surf,N} \left( 1 + \sum_{j=1}^N C_{N,j} r_{surf,j} + C_{out,N} \bar{r}_{surf,N} + \frac{(\bar{r}_{surf,N} \gamma_N)^2}{1 - \bar{r}_{surf,N} \gamma_N} \right) \end{cases} \quad (2)$$

Для ускорения расчета предлагается ряд приемов при определении величин, входящих в системы (1)-(2):

1. Аппроксимационная формула для  $I_{sun}$
2. Критерий выделения зон изопланарности при определении  $A_{ij}$  и  $A_{out,i}$ .
3. Использование радиусов бокового подсвета и формирования переотражений при определении  $A_{ij}$ ,  $A_{out,i}$ ,  $C_{ij}$ ,  $C_{out,i}$

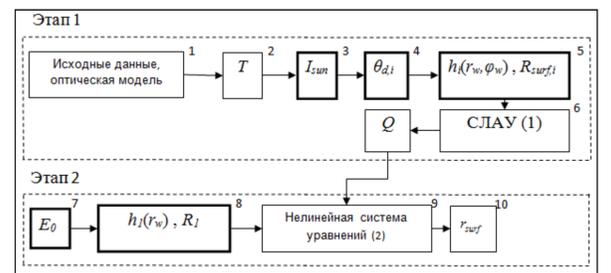


Рисунок 2 – Блок-схема комплекса программ

## Сравнение с результатами алгоритма MOD09

1. Сравнения для участка Юга Томской области:

- 55.95–56.85° с.ш. и 84.05–84.95° в.д.;
- с 13.07.2013 г. по 17.07.2013 г.;
- 5 каналов MODIS (0.65, 0.47, 0.55, 1.24 и 0.41 мкм);
- Аэрозольная оптическая толщина из данных Aeronet [10];
- Температура и давление из данных MODIS;
- Доля облачных пикселей менее 20%.

2. Сравнения для участка Пустыни Такла-Макан:

- 38.55–39.45° с.ш. и 84.55–85.45° в.д.;
- с 12.07.2013 г. по 24.07.2013 г.;
- 5 каналов MODIS (0.65, 0.47, 0.55, 1.24 и 0.41 мкм);
- Аэрозольная оптическая толщина для 0.55 мкм из данных MODIS. Для остальных длин волн подбирались из моделей на основе LOWTRAN-7 [9];
- Молекулярное рассеяние из моделей на основе LOWTRAN-7 [9];
- Доля облачных пикселей для всех снимков кроме 1 менее 27% (для одного из снимков доля облачности 65%).

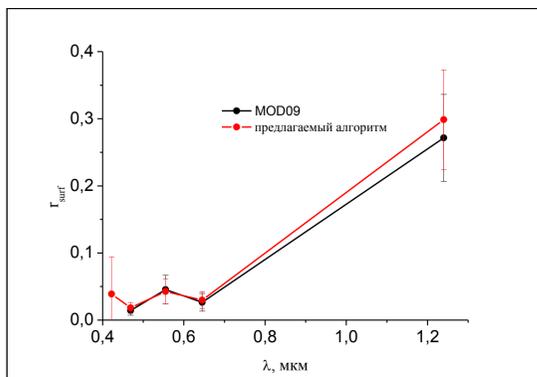


Рисунок 3 – Сравнение средних коэффициентов отражения  $r_{surf}$  и средних погрешностей по всему тестовому участку Юга Томской области за период от 13.07.2013 г. до 17.07.2013 г. полученных двумя алгоритмами

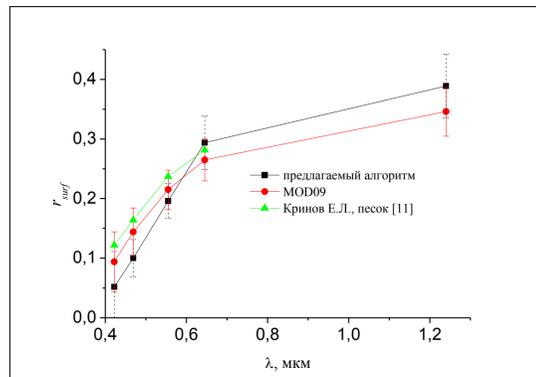


Рисунок 6 – Сравнение средних коэффициентов отражения  $r_{surf}$  и средних погрешностей по всему тестовому участку пустыни Такла-Макан за период от 12.07.2013 г. до 24.07.2013 г. полученных двумя алгоритмами и данные о коэффициенте отражения песка

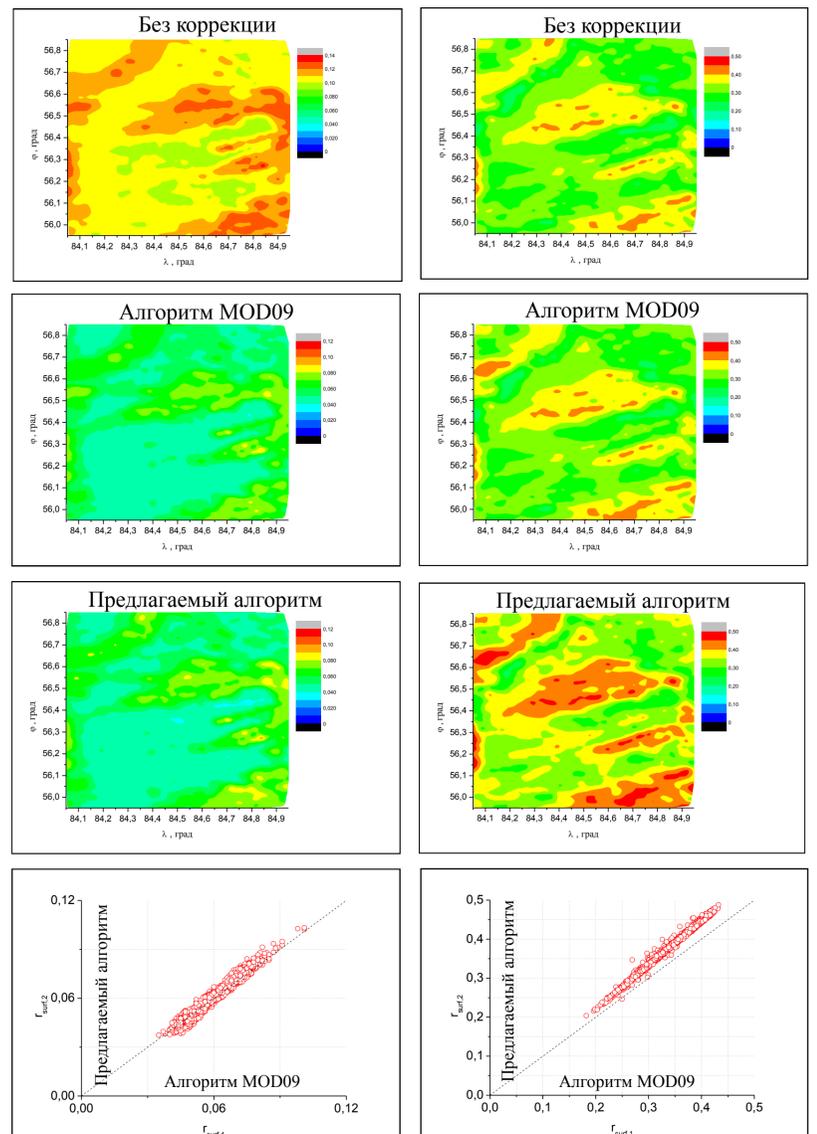


Рисунок 4 — Пример сравнения коэффициентов отражения полученных без коррекции, алгоритмом MOD09 и предлагаемым алгоритмом. Юг Томской области, дата измерений 14.07.2013 г. Длина волны  $\lambda=0.55$  мкм

Рисунок 5 — Пример сравнение коэффициентов отражения полученных без коррекции, алгоритмом MOD09 и предлагаемым алгоритмом. Юг Томской области, дата измерений 14.07.2013 г. Длина волны  $\lambda=1.24$  мкм

**Выводы:** 1) Сравнения для Юга Томской области показывают согласованность результатов алгоритма MOD09 и предлагаемого алгоритма для условий низкой мутности атмосферы.

2) Результаты для участка Такла-Макан получились несогласованными, вследствие необходимости более полной информации об оптическом состоянии атмосферы.

3) Для выполнения качественной атмосферной коррекции необходимы качественные данные об оптическом состоянии атмосферы.

### Литература

1. Vermote E.F., Vermeulen A. Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). Algorithm Theoretical Background document, version 4.0. 1999. [электронный ресурс]: [http://modis.gsfc.nasa.gov/atbd/atbd\\_nod08.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/atbd/atbd_nod08.pdf).
2. Breon F.-M., Vermote E. Correction of MODIS surface reflectance time series for BRDF effects // Remote Sensing of Environment. Vol. 125. 2012. pp. 1-9
3. Luapustin A., Martonchik J., Wang Y., Laszlo I., Korokin S. Multiangle Implementation of atmospheric correction (MAIAC): 3. Atmospheric correction // Remote Sens. Environ. 2012. V. 127. P. 385-393.
4. Reinersman P.N., Carder K.L. Monte Carlo simulation of the atmospheric point-spread function with an application to correction for the adjacency effect // Applied optics. vol. 34, №21, 1995. pp. 4453-4471.
5. Катковский Л.В. Параметризация уходящего излучения для быстрой атмосферной коррекции гиперспектральных изображений. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 09. С. 778–784.
6. Belov V.V., Tarasenkova M.V. On the accuracy and operation speed of RTM algorithms for atmospheric correction of satellite images in the visible and UV ranges // Atmospheric and Oceanic Optics. vol. 27, issue 1, 2014. pp. 54-61.
7. Tarasenkova M.V., Belov V.V. Software package for reconstructing reflective properties of the Earth's surface in the visible and UV ranges // Atmospheric and Oceanic Optics. vol. 28, issue 1, 2015. pp. 89-94.
8. Belov V.V., Tarasenkova M.V. Estimation of the error of the algorithm for reconstructing the reflection coefficient of the Earth surface on the example of images with the low atmospheric turbidity // Proceedings of SPIE. 2015. V.9680. CID: 9680 1Q. [9680-157]
9. Kneizys, F.X., Shettle, E.P., Anderson, G.P., Abreu, L.W., Chetwynd, J.H., Selby, J.E.A., Clough, S.A., Gallery, W.O. User guide to LOWTRAN-7, ARGL-TR-86-0177.—ERP, MA 01731, Hanscom AFB, 2010.—137 p.
10. Сайт Aeronet <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
11. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований.—М: из-во Академии наук, 1947 г.—273 с.