



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}

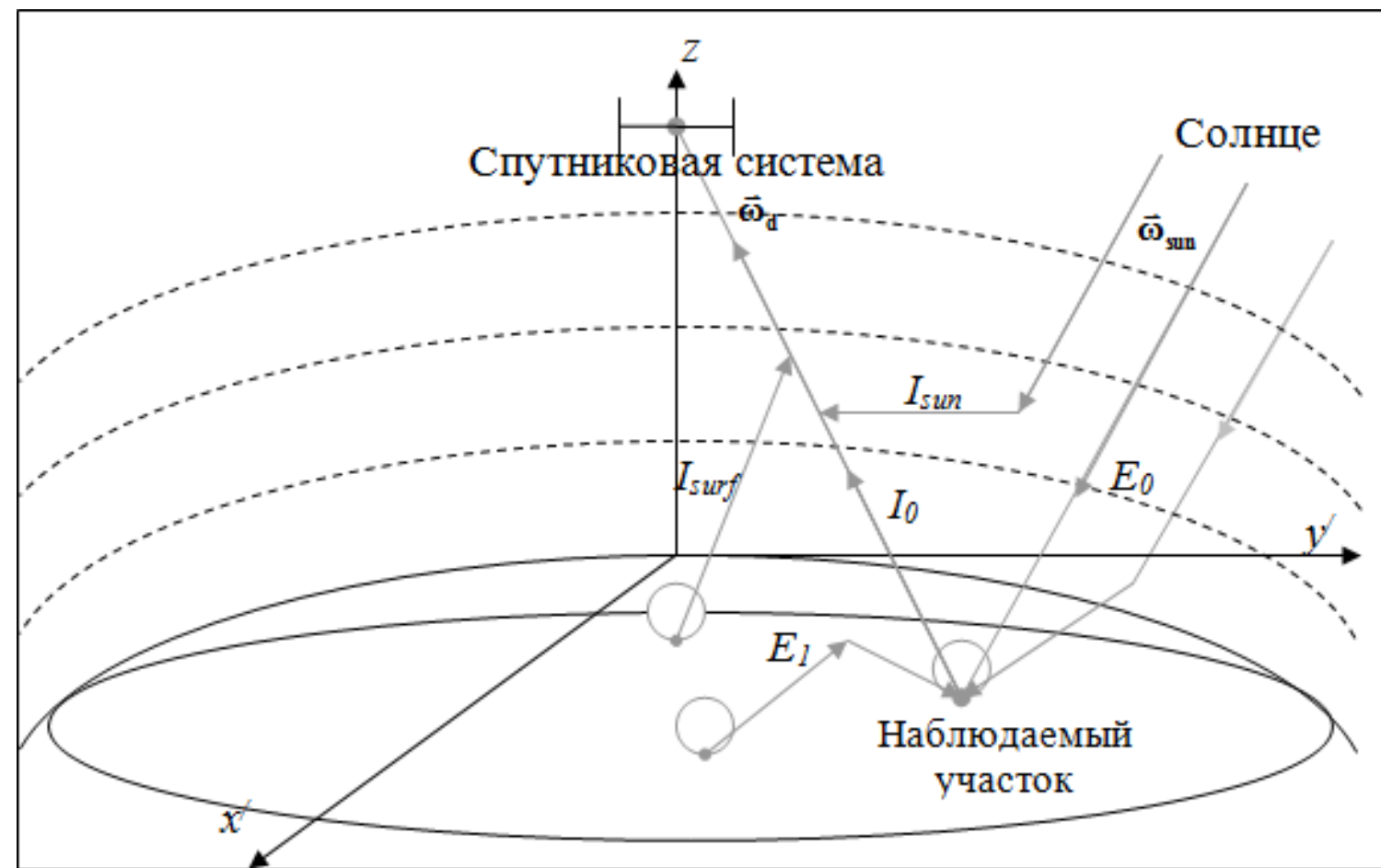


Рисунок 1 – Геометрическая схема постановки задачи.

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} , $C_{out,i}$

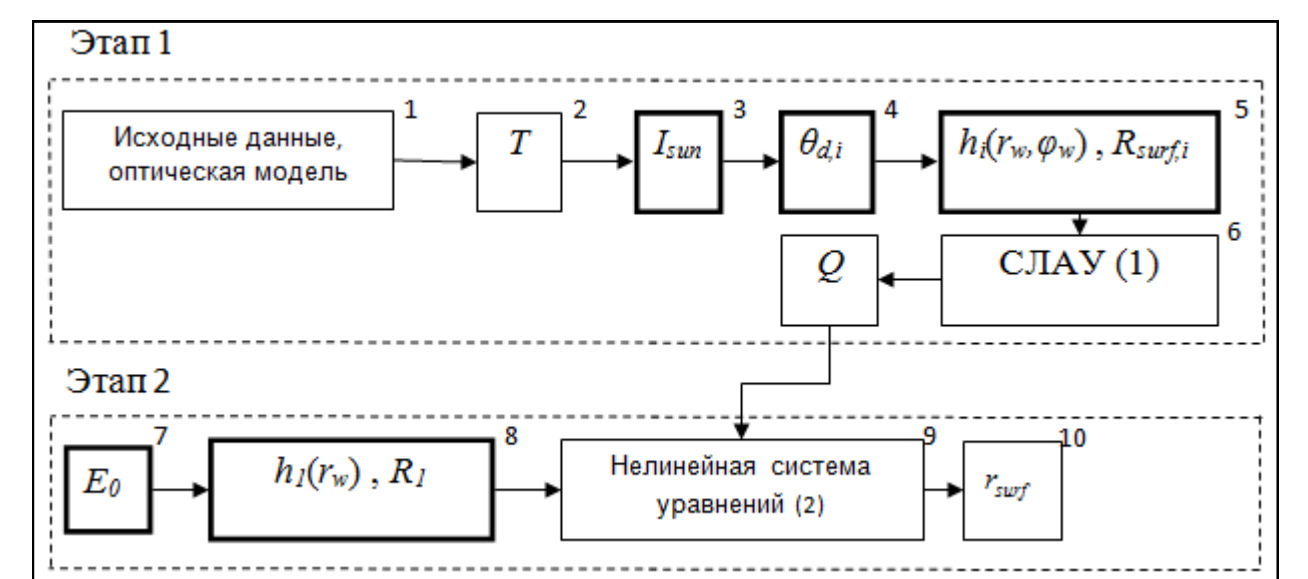


Рисунок 2 – Блок-схема комплекса программ

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%).

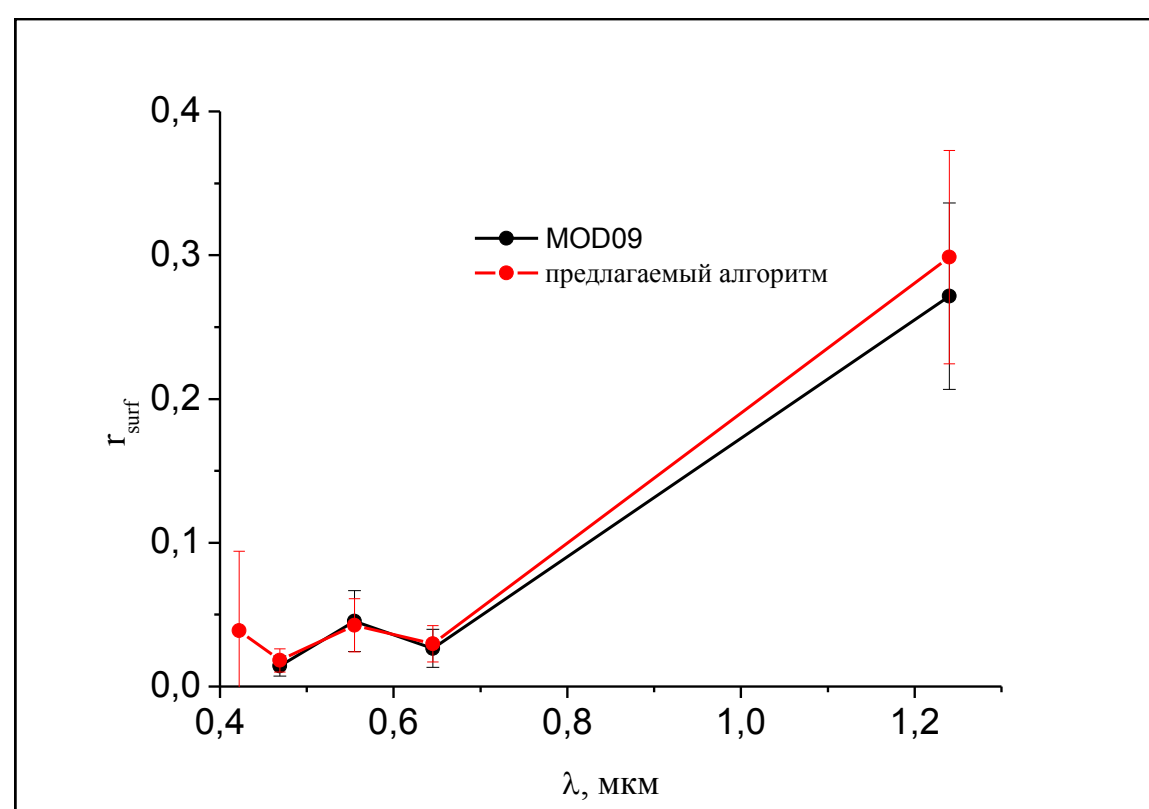


Рисунок 3 – Сравнение средних коэффициентов отражения r_{surf} и средних погрешностей по всему тестовому участку Юга Томской области за период от 13.07.2013 г. до 17.07.2013 г. полученных двумя алгоритмами

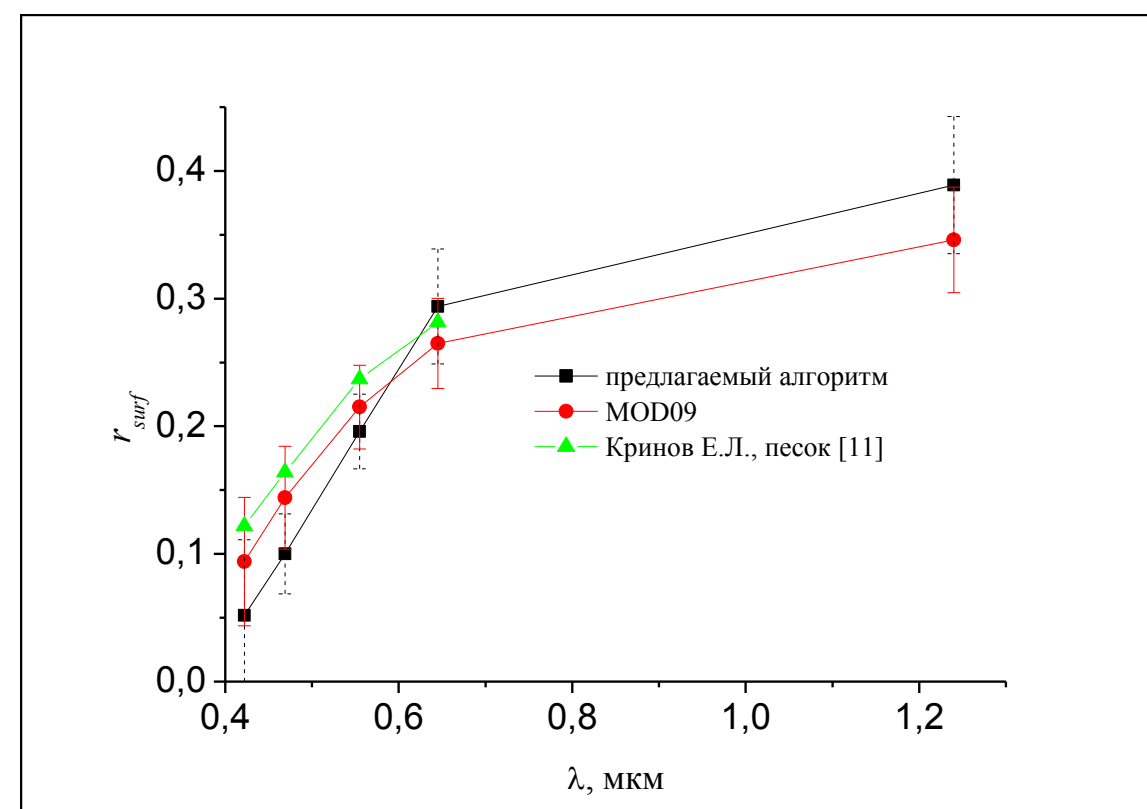


Рисунок 6 – Сравнение средних коэффициентов отражения r_{surf} и средних погрешностей по всему тестовому участку пустыни Такла-Макан за период от 12.07.2013 г. до 24.07.2013 г. полученных двумя алгоритмами и данные о коэффициенте отражения песка

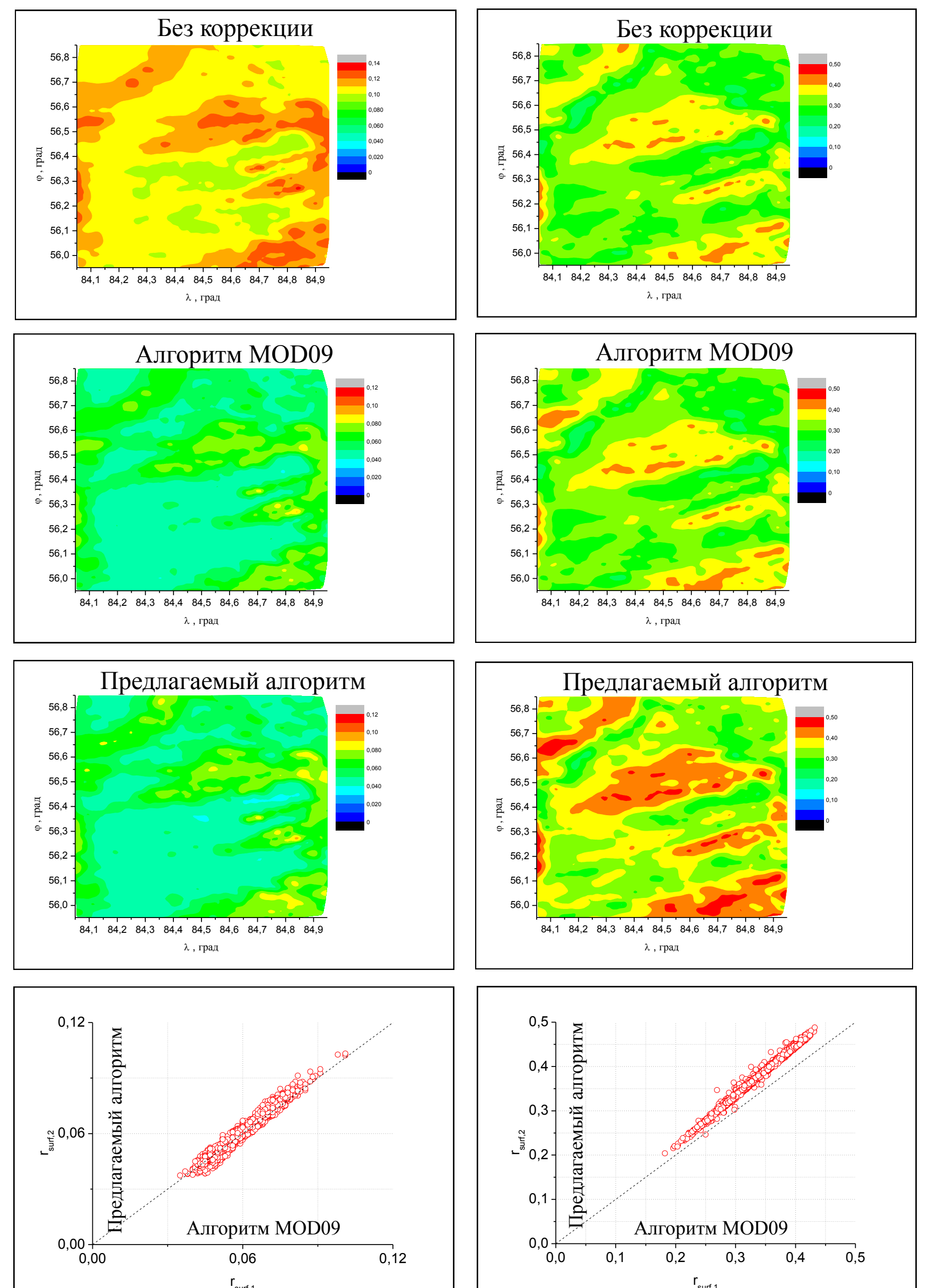


Рисунок 4 — Пример сравнения коэффициентов отражения полученных без коррекции, алгоритмом MOD09 и предлагаемым алгоритмом. Юг Томской области, дата измерений 14.07.2013 г. Длина волны $\lambda=0.55$ мкм

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.
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.