

Краткие сообщения

01 Моделирование откликов каналов спектрорадиометра MODIS в инструментальной среде MODTRAN5

© М.А. Якунин,¹ А.В. Юрченко²

¹ Алтайский государственный университет,
656049 Барнаул, Россия
e-mail: m.yakunin89@gmail.com

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050 Томск, Россия
e-mail: niirp@imbox.ru

(Поступило в Редакцию 30 апреля 2014 г.)

Представлены результаты компьютерного моделирования показаний каналов 1–7 ($0.46\text{--}2.1\ \mu\text{m}$) спектрорадиометра MODIS/Terra, полученные с использованием вычислительного комплекса MODTRAN5. Проведена оценка точности описания показаний MODIS при использовании измеренных спектрорадиометром характеристик системы для рассмотренных спутниковых сцен.

Введение

При решении ряда современных задач дистанционного зондирования Земли и физики атмосферы, таких как атмосферная коррекция, мониторинг аэрозолей и загрязнений атмосферы, радиационный форсинг, используются данные спутниковых приборов с различными пространственными и спектральными разрешениями [1–5].

Одной из таких задач является расчет количества поглощенной солнечной энергии на уровне подстилающей поверхности (ПП) как составляющей части радиационного баланса Земли на базе данных каналов 1–7 ($0.46\text{--}2.1\ \mu\text{m}$) спектрорадиометра MODIS [2,6]. Важным этапом при решении задач восстановления геофизических параметров атмосферы и ПП является компьютерное моделирование показаний спектрорадиометра и исследование чувствительности откликов в каналах MODIS к вариациям свойств характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. Используемый программный комплекс должен корректно описывать взаимодействие излучения с системой „атмосфера–ПП“.

Целью настоящей работы является проведение вычислительных экспериментов по исследованию чувствительности показаний спектрорадиометра MODIS к вариациям таких параметров атмосферы и подстилающей поверхности, как аэрозольная оптическая толщина (АОТ), альbedo ПП, концентрация атмосферных газов и оценка точности моделируемых показаний MODIS на конкретно выбранных спутниковых сценах.

Информационная база и программные средства вычислительных экспериментов

Вычислительные эксперименты проводились с помощью программного комплекса MODTRAN 5.2.1, позволяющего моделировать и производить расчет характеристик солнечного излучения, распространяющегося в атмосфере Земли, с рабочим спектральным диапазоном $0.2\text{--}100\ \mu\text{m}$ с разрешением $0.1\ \text{cm}^{-1}$, а также рассчитывать показания различных приборов дистанционного зондирования [7]. MODTRAN имеет порядка 150 входных параметров, характеризующих атмосферу, под-

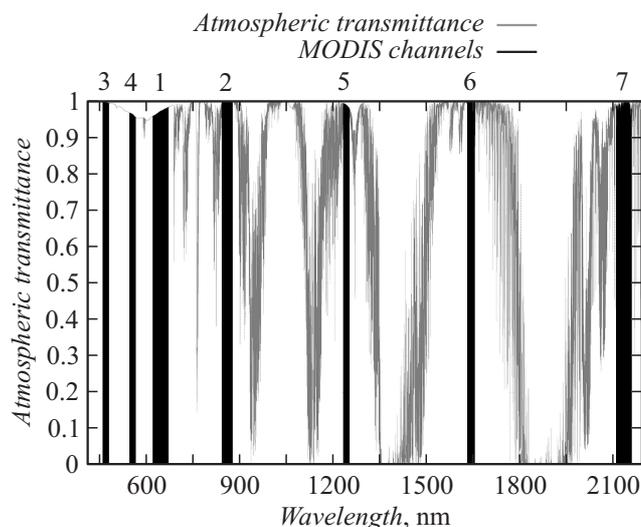


Рис. 1. Функция пропускания атмосферы и каналы 1–7 MODIS.

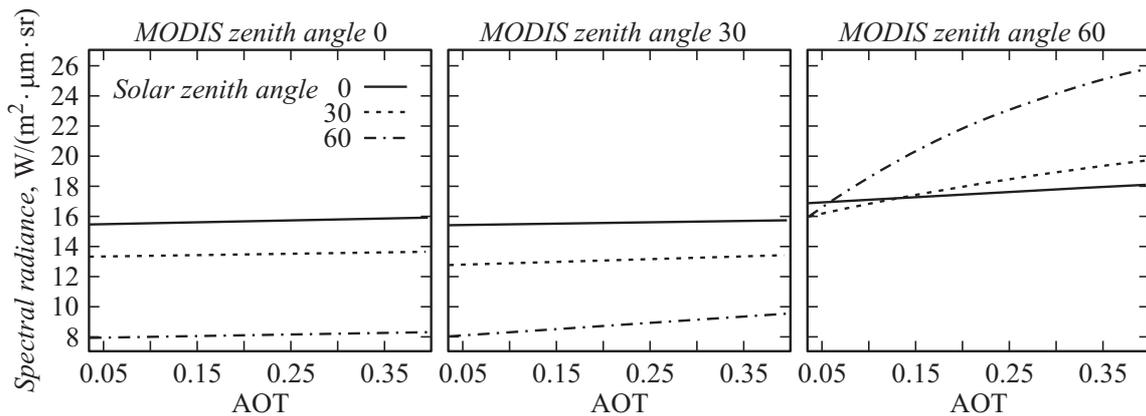


Рис. 2. Зависимость показаний спектро радиометра от AOT при разных значениях зенитных углов Солнца и сенсора.

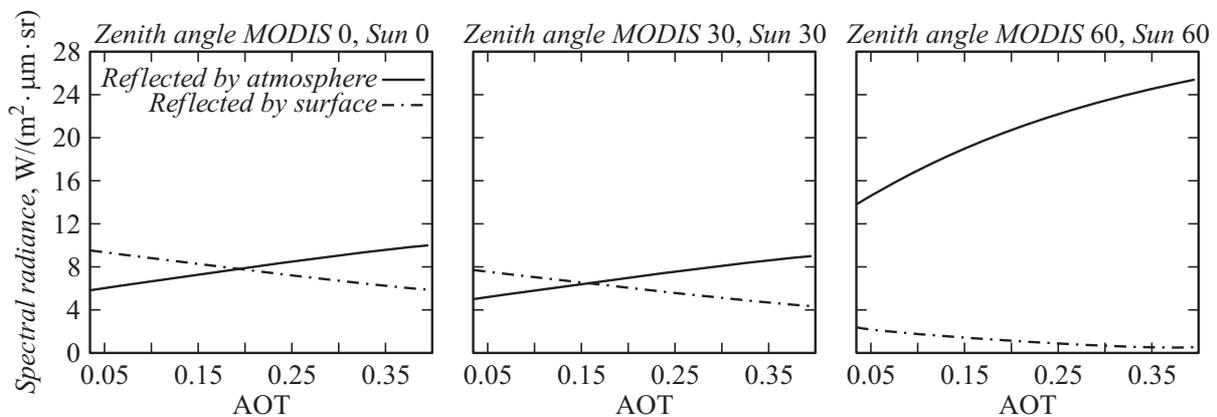


Рис. 3. Зависимость составляющих (интенсивности излучения, отраженного от атмосферы и от ПП) показаний спектро радиометра от AOT и углов.

стилающую поверхность, геометрию сцены, параметры источника и приемника излучения и др. В качестве входных данных MODTRAN были использованы следующие продукты спектро радиометра MODIS: MOD021km (интенсивность в спектральных каналах), MOD03 (геометрия сцены), MOD04 (AOT), MOD05 (количество водяного пара), MOD07 (параметры атмосферы), MOD35_L2 (маска облачности), MOD43B3 (альbedo подстилающей поверхности для каждого из каналов). Все эти продукты, за исключением MOD43B3, были получены в Центре космического мониторинга АлтГУ.

Результаты вычислительных экспериментов

Первые 7 каналов MODIS расположены в „окнах прозрачности“ атмосферы, поэтому изменение концентрации атмосферных газов (CO_2 , O_3 , H_2O , NH_4 и т.д.) является несущественным для показаний в этих каналах. На рис. 1 приведен график функции пропускания атмосферы стандартного типа по результатам моделирования на

MODTRAN с наложенными на него участками каналов MODIS.

Основными же параметрами, влияющими на показания спектро радиометра, являются AOT и альbedo ПП. Для оценки этого влияния было проведено 2570 расчетов на MODTRAN. Для установления зависимости показаний спектро радиометра от изменения AOT был поставлен следующий вычислительный эксперимент: AOT варьировала от 0.03 до 0.4 с шагом 0.005, тип аэрозоля был выбран стандартный сельский, параметры атмосферы — лето средних широт, разные наборы солнечно-зенитного угла и зенитного угла детектора (0° , 30° , 60°), относительный азимутальный угол Солнца и сенсора — 180° , фиксированное альbedo ПП 0.2.

На рис. 2 представлены графики зависимостей показаний спектро радиометра от аэрозольной оптической толщины для разных наборов углов, а на рис. 3 — графики зависимостей составляющих показаний спектро радиометра от AOT и углов.

В показания спектро радиометра вносят вклад две составляющие: излучение, отраженное от атмосферы, и излучение, отраженное от ПП. Они, в свою очередь, зависят от зенитных углов (наблюдения и Солнца) и AOT,

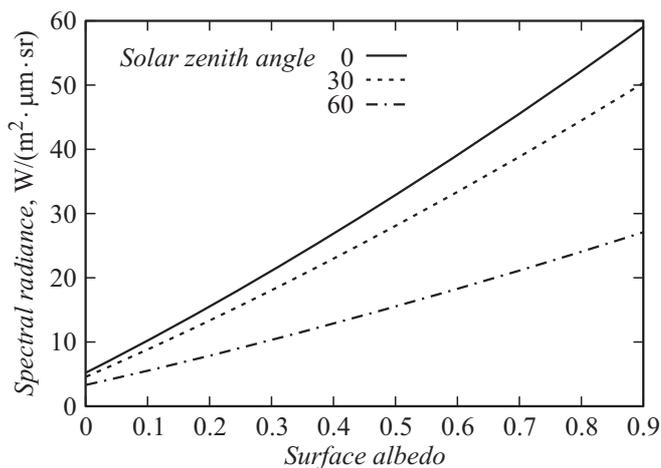


Рис. 4. Зависимость показаний спектро радиометра от альbedo ПП при разных солнечнозенитных углах.

альbedo ПП и т.д. Из приведенных графиков видно, что при малых зенитных углах Солнца и сенсора интенсивность излучения, регистрируемая спектро радиометром на верхней границе атмосферы, изменяется незначительно с ростом АОТ. Уменьшающаяся интенсивность излучения, отраженного от ПП, компенсируется растущей интенсивностью излучения, отраженного атмосферой. При больших зенитных углах (больше 50°) основной вклад в показания спектро радиометра вносит интенсивность излучения, отраженного в слоях аэрозоля, за счет увеличения АОТ и многократного переотражения.

Для установления зависимости показаний спектро радиометра от альbedo ПП (рис. 4) были взяты аналогичные с предыдущим экспериментом параметры атмосферы, фиксированная величина АОТ (0.15), фиксированный зенитный угол наблюдения (спутника) 0° , зенитный угол Солнца 0° , 30° , 60° , значения альbedo варьировались от 0 до 1 с шагом 0.005.

Компьютерные эксперименты, описанные выше, проводились для диапазона 459–479 nm, что соответствует каналу 3 спектро радиометра MODIS, для диапазонов других каналов были получены схожие результаты.

Оценка точности вычислительных экспериментов

Корректность и точность проводимых вычислительных экспериментов были оценены по модельным (расчет на MODTRAN5.2.1) и измеренным непосредственно спектро радиометром показаниям для конкретно выбранных спутниковых сцен. В качестве исходных данных использовались продукты MODIS, описанные ранее (MOD021km, MOD03, MOD04, MOD05, MOD07, MOD12Q1, MOD35_L2, MOD43B3), восстановленные для каждого пикселя выбранных сцен. Всего было выбрано 40 безоблачных точек со спутниковых сцен на территории Западной Сибири за период июнь-август

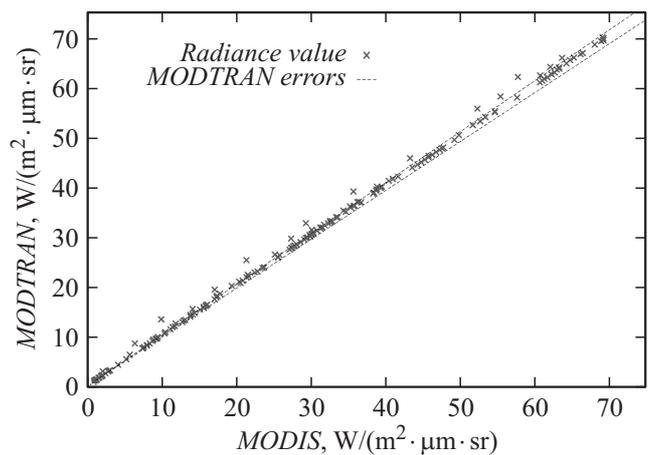


Рис. 5. Интенсивность излучения, измеренная MODIS (каналы 1–7) и рассчитанная на MODTRAN.

2012 г. Выбранные точки были категоризированы по типам ПП согласно маске из 16 типов по данным MOD12Q1.

Последовательность действия для получения входных данных для расчета была следующей. Сначала выбиралась определенная спутниковая сцена и необходимые продукты MODIS для нее. Затем по данным маски облачности MOD35_L2 выбиралась безоблачная точка, по ее географическим координатам определялись тип (MOD12Q1) и альbedo (MOD43B3) ПП. Далее из остальных продуктов MODIS забирались значения АОТ, высоты над уровнем моря, геометрии сцены, параметры профилей атмосферы и т.д., после чего эти данные преобразовывались во входные данные MODTRAN. При этом в качестве ряда входных параметров, таких как тип атмосферы (лето средних широт), тип аэрозоля (тропосферный) и некоторых других были использованы значения, заданные в MODTRAN по умолчанию.

Заявленная погрешность MODTRAN5.2.1 составляет $\pm 2\%$. Полученные результаты (рис. 5) попадают в этот диапазон, за исключением нескольких точек (разница в модельных и измеренных значениях интенсивности для которых составляет 10–15%). Данные точки расположены вблизи городских территорий, где свойства подстилающей поверхности и аэрозоля могут быть крайне неоднородными. Поэтому можно предположить, что такое различие обусловлено априорной погрешностью данных продуктов MODIS по альbedo ПП и АОТ для моделируемых показаний спектро радиометра. Данные по альbedo обновляются каждые 16 дней, а продукт по аэрозолю имеет низкое пространственное разрешение (10×10 km), из-за чего нельзя учесть неоднородности в пространственном распределении АОТ. Увеличить точность компьютерного моделирования позволят наличие оперативных данных по альbedo ПП и наличие более детального продукта по аэрозолю.

Заключение

В настоящей работе были проведены следующие вычислительные эксперименты: для ряда спутниковых сцен, покрывающих различные типы ПП юга Западной Сибири, были рассчитаны показания каналов 1–7 спектрорадиометра MODIS/Terra, исследовано влияние на них таких характеристик системы „атмосфера–ПП“, как концентрация атмосферных газов, альbedo, тип и толщина аэрозолей.

Результаты вычислительных экспериментов показали, что программный комплекс MODTRAN успешно справляется с задачей восстановления показаний спектрорадиометра MODIS по заданным условиям (тип и оптическая толщина аэрозоля, альbedo ПП, геометрии), а различия между модельными и измеренными показаниями спектрорадиометра не превышают нескольких процентов, что позволяет использовать его для следующих этапов моделирования расчета поглощенной солнечной энергии на уровне ПП как составляющей радиационного баланса Земли.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

Список литературы

- [1] Masuda K., Lieghton H.G., Li Z. // J. Climate. 1995. Vol. 8. P. 1615–1629.
- [2] Tang B., Li Z.-L., Zhang R. // Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 103. N. 1. P. 115–126.
- [3] Masters T. // Earth Syst. Dynam. 2012. Vol. 3. P. 97–107.
- [4] Лагутин А.А., Никулин Ю.А., Жуков А.П. и др. // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12. № 2. С. 67–77.
- [5] Лагутин А.А., Никулин Ю.А., Шмаков И.А. и др. // Вычисл. технологии. 2006. Т. 11. № 1. С. 61–71.
- [6] Salomonson V.V., Barnes W.L., Maymon P.W. et al. // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1989. Vol. 27. P. 145–153.
- [7] Berk A., Anderson G.P., Acharya P.K., Shettle E.P. MODTRAN5.2.1 USER'S MANUAL, May 2011.