

О связи радиационной температуры облака в ИК-каналах MODIS с облачными характеристиками

С.В. Афонин^{1,2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 4.08.2011 г.

На основе результатов обработки спутниковых данных MODIS исследована связь радиационных температур, измеряемых в ИК-каналах MODIS, с характеристиками облака (оптическая толщина, эффективный радиус частиц, фазовый состав). В частности, полученные данные подтверждают сделанные нами ранее выводы о том, что рассеяние солнечного излучения на оптически тонких краях жидкокапельных облаков может приводить к высоким значениям радиационных температур (свыше 305 К) в спектральном диапазоне 3,5–4 мкм.

Ключевые слова: ИК-диапазон, MODIS, радиационные температуры, характеристики облака, атмосферные блики; IR range, MODIS, radiation temperatures, cloud characteristics, atmospheric glints.

Введение

Одним из физических явлений, снижающих эффективность применения пассивных спутниковых методов для решения задач зондирования атмосферы и земной поверхности, являются солнечные блики, возникающие на водных поверхностях, на аэрозольных и облачных образованиях в атмосфере. Фильтрация солнечных бликов на спутниковых снимках стала обычной процедурой, например при спутниковых измерениях аэрозольных характеристик, влажностержения атмосферы, при детектировании очагов горения.

Для фильтрации ложных тревог при обработке спутниковых данных применяются простые пороговые тесты с использованием углов наблюдений и спутниковых измерений в различных спектральных каналах. Однако авторы этих тестов [1] признают, что они не гарантируют их высокую эффективность. Особенно это касается случая бликов на краях облаков, когда их можно принять за реальные пожары, тепловое излучение которых проходит через полупрозрачную облачность. Важность указанных проблем наглядно отражена в работах [2, 3], в которых представлен анализ данных спутниковой системы TRMM/VISR за 1998–2001 гг. в Сахеле (Африка) и получен аномальный пик пожарной активности в весенний период (рис. 1), что противоречило данным наземных наблюдений и других спутниковых систем. Причиной этой аномалии

оказались солнечные блики от водоемов и на краях облаков, которые не были классифицированы и учтены при детектировании пожаров.

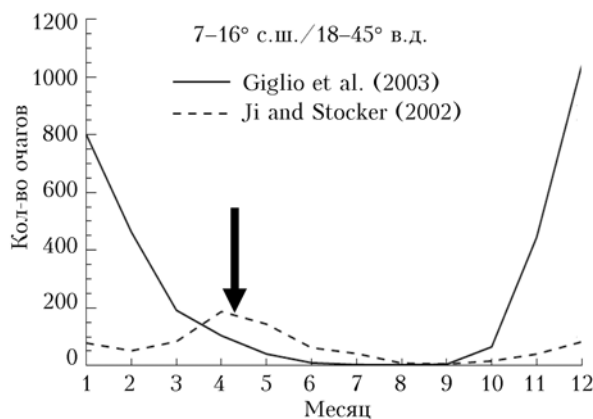


Рис. 1. Проявление солнечных бликов: стрелкой указан ложный пик пожарной активности [2]

Подобная ситуация требует разработки более надежных и физически обоснованных алгоритмов идентификации и фильтрации атмосферных бликов в спектральной области 3,5–4 мкм. Для этого необходим анализ физических причин и оптико-геометрических условий их возникновения. В наших более ранних публикациях [4–6] на примере спутниковой системы NOAA/AVHRR уже рассматривался ряд аспектов данной проблемы. В настоящей статье с учетом полученных ранее результатов дан анализ спутниковых данных MODIS.

* Сергей Васильевич Афонин (afonin@iao.ru).

1. Анализ спутниковых данных NOAA/AVHRR

Вначале проведем дополнительный анализ данных, представленных в работах [4–6], в которых рассмотрены условия возникновения солнечных бликов на изображениях облаков при дневных спутниковых измерениях. Для этого был использован фрагмент изображения Томской области (рис. 2, а), полученный из космоса со спутника NOAA-12 по данным прибора AVHRR 2 августа 2000 г. в 15:53 по местному времени для участка поверхности с координатами 59–61° с.ш. и 80–86° в.д. Зенитный угол солнца составил около 50°, относительный азимут – около 15°, зенитный угол спутника – от 19 до 42°.

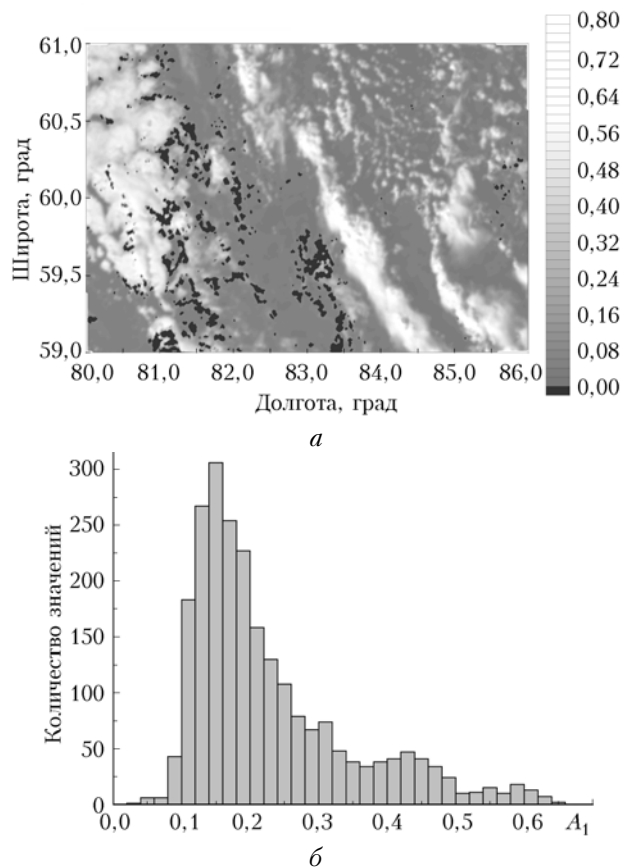


Рис. 2. Спутниковое изображение AVHRR в канале $\lambda = 0,63$ мкм (а), темные участки – пиксели со значениями $T_3 > 305$ К. Гистограмма значений A_1 для радиационных температур $T_3 > 305$ К (б)

На выбранном участке изображения, наряду с безоблачными участками земной поверхности, присутствует облачность различных ярусов и наблюдается значительное количество высокотемпературных аномалий при фактическом отсутствии солнечных бликов от водной поверхности. В спектральном канале 1 ($\lambda = 0,63$ мкм) наблюдается ситуация, когда высокие значения альбедо $A_1 > 0,3$

соответствуют плотной облачности, а на краях облака значения A_1 составляют примерно 0,1–0,2. В спектральном канале 3 ($\lambda = 3,75$ мкм) картина становится более сложной – высокие значения радиационной температуры $T_3 > 305$ К наблюдаются в основном для оптически тонких участков облака. Так, согласно гистограмме значений A_1 (рис. 2, б), полученной для условия $T_3 > 305$ К, максимум статистического распределения приходится на значения $A_1 = 0,1 \div 0,2$, составляя более 50% из 2340 «горячих» пикселей. При этом радиационная температура безоблачных участков изображения равна примерно (293 ± 3) К.

На основе результатов имитационного моделирования спутниковых измерений AVHRR для облачности нижнего яруса [5, 6] нами были получены следующие данные. С уменьшением эффективного радиуса частиц (капель) $r_{ef} < 8 \div 10$ мкм происходит заметный рост значений радиационных температур T_3 для всех рассмотренных геометрий наблюдений. Зависимость T_3 от оптической толщи облака τ_{cld} так же, как и в первом канале AVHRR, является монотонно возрастающей. Для условно «больших» частиц ($r_{ef} > 10 \div 12$ мкм) зависимость радиационной температуры T_3 от τ_{cld} становится монотонно убывающей.

2. Анализ спутниковых данных EOS/MODIS

С целью дополнительной проверки полученных в [4, 6] выводов нами был выполнен совместный анализ спутниковых измерений радиационных температур в ИК-каналах EOS/MODIS, а также данных об оптических и микрофизических параметрах облачности, восстановленных с помощью прибора MODIS. Эти данные были получены со спутника Terra 2 августа 2000 г. в 13:45 местного времени в географическом районе с координатами 59–61° с.ш. и 80–86° в.д., но на 2 ч раньше, чем со спутника NOAA.

Анализировались значения радиационных температур T_{20} и T_{31} , полученные в спектральных каналах 20 ($\lambda = 3,66 \div 3,84$ мкм) и 31 ($\lambda = 10,78 \div 11,28$ мкм), в зависимости от следующих параметров облака: оптическая толщина τ_{cld} , эффективный радиус частиц r_{ef} , давление P_{cld} и температура T_{cld} верхней границы облачности (ВГО), фазовый состав облака. Для анализа отбирались спутниковые данные при условии, что ошибки восстановления τ_{cld} были меньше 30%, а погрешность восстановления r_{ef} не превышала 50%. В среднем ошибки восстановления τ_{cld} и r_{ef} составили около 10–11%.

В таблице для двух фазовых состояний облака (капли, ледяные кристаллы) представлены средние значения (первая строка) и максимальные значения (вторая строка) облачных характеристик (P_{cld} и T_{cld} , τ_{cld} и r_{ef}), а также радиационных температур T_{20} и T_{31} .

**Статистические характеристики облачности
и спутниковых ИК-измерений**

Фазовое состояние	P_{cld} , мбар	T_{cld} , К	τ_{cld}	r_{ef} , мкм	T_{20} , К	T_{31} , К
Капли (85%)	561,3 960,0	259,5 291,0	14,4 63,2	12,1 30,0	297,7 313,8	264,8 289,4
Лед (15%)	421,6 930,0	244,5 288,8	10,8 49,0	22,91 80,6	278,4 303,9	251,6 281,8

Сравнение данных таблицы для двух фазовых состояний облака дало вполне объяснимые результаты:

- давление ВГО для жидкокапельных облаков на 130 мбар выше, чем для кристаллических;
- для кристаллов среднее значение эффективного радиуса частиц r_{ef} равно 23 мкм, а его максимальное значение – 81 мкм, в то время как для капель аналогичные значения в 2–2,5 раза меньше;
- значения температур T_{cld} , T_{20} и T_{31} для жидкокапельных облаков почти на 15–20 К выше, чем для кристаллических.

Максимальные значения $T_{20} > 313$ К соответствуют параметрам $\tau_{cld} \sim 10$ и $r_{ef} \sim 5$ мкм.

Данные таблицы дополняет рис. 3, где для значений оптической толщи облака $\tau_{cld} < 3$ приведена зависимость радиационной температуры T_{20} от эффективного радиуса частиц r_{ef} .

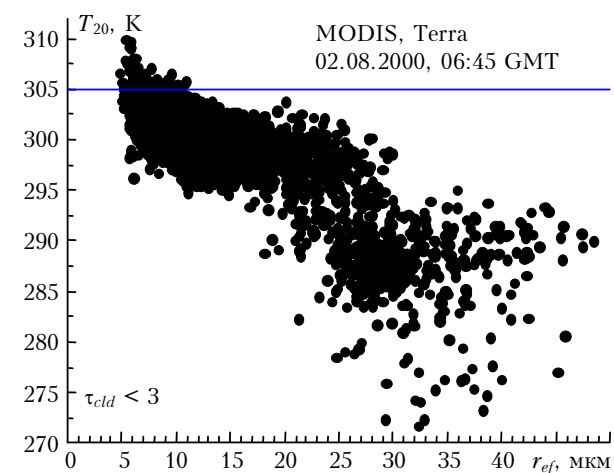


Рис. 3. Зависимость значений радиационной температуры в канале 20 MODIS от эффективного радиуса частиц

Данные рис. 3 наглядно демонстрируют тот факт, что величина T_{20} растает с уменьшением эф-

фективного радиуса частиц, а условие $T_{20} > 305$ К соответствует при $\tau_{cld} < 3$ значениям r_{ef} менее 10 мкм.

Заключение

Полученные данные позволяют сделать вывод, что при относительно малых значениях эффективного радиуса частиц порядка 10 мкм и менее радиационная температура оптически тонких жидкокапельных облаков ($\tau_{cld} < 3$) может достигать величин, превышающих 305–310 К в каналах спектрального диапазона 3,5–4 мкм. В результате возникают атмосферные блики, мешающие обнаружению из космоса высокотемпературных объектов при сложных метеоусловиях.

Автор выражает признательность руководству и сотрудникам NASA, благодаря которым с сайта LAADS Web были получены спутниковые данные MODIS (уровни L1b и L2), использованные в настоящей статье.

Исследования проводились при поддержке государственных контрактов № 14.740.11.0204 (от 15.09.2010) и 02.740.11.0674 (от 29.03.2010).

1. Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS // Remote Sens. Environ. 2003. V. 83, N 2–3. P. 273–282.
2. Giglio L., Kendall J.D. Commentary on “Improving the seasonal cycle and interannual variations of biomass burning aerosol sources” by Generoso et al. // Atmos. Chem. Phys. 2004. V. 4, N 3. P. 584–587.
3. Ji Y., Stocker E. An overview of the TRMM/TSDIS fire algorithm and product // Int. J. Remote Sens. 2002. V. 23, N 16. P. 3285–3303.
4. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Ершов Д.В., Корovin Г.Н., Королева Н.В., Абушенко Н.А., Тацлин С.А., Сухинин А.И., Афонин С.В., Белов В.В., Гришин А.М., Соловьев В.С. Спутниковый мониторинг лесов России // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 443–447.
5. Афонин С.В., Белов В.В. Причины и условия возникновения ложных тревог при обнаружении пожаров из космоса // Избранные докл. 7-й Междунар. конф. «Сопряженные задачи механики, информатики и экологии». Томск: Изд-во Том. госун-та, 2007. С. 32–45.
6. Афонин С.В., Белов В.В. Физические причины появления атмосферных бликов на спутниковых ИК-изображениях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 217–224.

S.V. Afonin. On the relation between radiation temperatures of cloud in MODIS IR channels and cloud characteristics.

Based on results of MODIS satellite data processing, we studied the relation between the radiation temperatures, measured in MODIS IR channels, and cloud characteristics (optical depth, effective particle radius, and phase composition). In particular, these data confirm our earlier conclusions that the scattering of solar radiation on optically thin edges of liquid water clouds may lead to high (higher than 305 K) values of the radiation temperatures in the wavelength range 3.5–4 mm.