

В.Е. Павлов, С.В. Пятелина, У.М. Султангазин

О ВЛИЯНИИ ОПТИЧЕСКИХ ТОЛЩ РАССЕЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ОБЛАЧНЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА КОНТУР ТЕЛЛУРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ КИСЛОРОДА

Вычислены контуры теллурической линии кислорода в спектре облачного неба. В расчетах интенсивности излучения использован модифицированный метод сферических гармоник. Исследовано влияние поглощения света облачными частицами на глубину линии при разных оптических толщах рассеяния облака.

Внедрение в практику измерений слабых световых потоков приемников света типа ПЗС-матриц позволяет существенно улучшить спектральное разрешение аппаратуры, применяемой в спектроскопии дневного неба. Появляются возможности экспериментального определения контуров теллурических линий в разумном временном интервале накопления сигнала и, следовательно, исключения ряда неопределенностей при интерпретации наблюдений яркости в неразрешенных полосах. Это, в частности, относится к ненасыщенным кислородным линиям в спектре облачного неба, исследование которых важно для решения многих задач климатологии и атмосферной оптики. Напомним, к примеру, что измерения интенсивности уходящей радиации в полосах поглощения кислорода с ИСЗ использовались для определения высоты верхней границы облачности [1].

Естественно, что интерпретация экспериментальных данных должна базироваться на численных результатах решения уравнения переноса излучения для различных моделей атмосферы. В настоящей статье обсуждаются результаты вычислений контура линии кислорода в районе длины волны 0,57 мкм в спектре рассеянного света дневного неба в условиях сплошной облачности. Цель такого исследования состояла в изучении влияния оптических толщ рассеяния τ_0 и слабого континуального поглощения τ_n радиации облачными частицами на контур теллурической линии. Для решения уравнения переноса излучения использован модифицированный метод сферических гармоник [2].

Атмосфера представлялась в виде плоско стратифицированных слоев, характеризуемых определенными оптическими параметрами. Высотные профили аэрозольных коэффициентов ослабления $\sigma_a(h)$ и индикатрис рассеяния $\mu_a(h, \varphi)$ для безоблачной атмосферы задавались в соответствии с моделью [3]. Облако располагалось на высоте от 1 до 2 км и характеризовалось так называемым «узким» распределением капель по размерам [4]. Коэффициент асимметрии индикатрисы рассеяния света такими частицами для случая чистого рассеяния в области спектра 0,57 мкм равен 16,1. Альbedo подстилающей поверх-

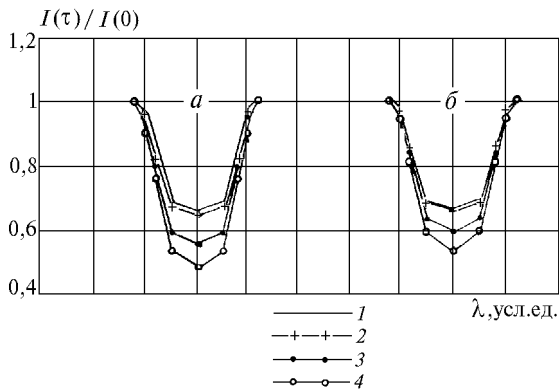
ности $q = 0,12$ соответствовало отражательной способности летнего травяного покрова.

Спектральный ход оптической толщи поглощения τ в нескольких точках контура ненасыщенной линии кислорода задавался следующим образом. По атласу Миннарта [5], в котором приведены результаты регистрации фототока при измерениях потоков прямой солнечной радиации, в качестве образца (или, скорее, примера) была выбрана теллурическая линия $\lambda = 0,5694$ мкм. Поглощение света в крыльях этой линии на расстоянии более 1 нм от центра считалось пренебрежимо малым, т.е. полагалось, что $F = F_0$ (F_0 – поток солнечного излучения вне линии поглощения). Тогда оптическая толщина поглощения τ в любой точке контура линии может быть определена как $\tau = \ln F_0/F$. В центре линии эта величина оказалась равной 0,318. В расчетах интенсивности рассеянного излучения использовалось еще несколько меньших значений τ , что позволило получить представление о формировании контура теллурической линии в спектре неба. Высотные профили коэффициентов поглощения света кислородом при заданных значениях τ рассчитывались в соответствии со стандартной моделью атмосферы [6].

Обозначим через $I(\tau)$ интенсивность рассеянного света в линии поглощения, а через $I(0)$ – интенсивность вне линии. Тогда ее контур в спектре неба определится как отношение $I(\tau)/I(0)$ в функции длины волны λ . Вычисления $I(\tau)$ и $I(0)$ были осуществлены путем решения уравнения переноса излучения в неоднородной атмосфере. Результаты расчетов считались достоверными, если значения интенсивности в пределах 1% не зависели от увеличения числа гармоник, использованных в решении уравнения переноса. Обычно это число превышало 56.

На рисунке (а) представлены рассчитанные контуры $I(\tau)/I(0)$ в зените для модели облака с чистым рассеянием. Зенитное расстояние Солнца равно 53° . Отчетливо видно, что с ростом оптической толщи облака от 0 (случай безоблачной атмосферы) до 150 глубина кислородной линии увеличивается. Причина эффекта известна: облачные капли играют роль «многоходовой кюветы». На первый взгляд такая

деформация контура линии могла бы быть использована для определения оптической толщи рассеяния облака, если бы не два обстоятельства, существенно усложняющие решение данной задачи: поглощение света облачными каплями и Раман-эффект.



Контур линии кислорода в спектре облачного неба без поглощения (а) и с поглощением (б) для оптических толщин рассеяния облака: 0 (1), 20(2), 80(3) и 150(4)

Зафиксировав все оптические параметры, использованные для расчетов контура линии в облаке без поглощения, добавим к ним оптическую толщину поглощения света облачными каплями $\tau_n = 0,1$, не зависящую в пределах контура линии от длины волны. Ее введение соответствует заданию вероятности выживания кванта для облачных частиц $\omega = 0,995$ при $\tau_0 = 20$ и $\omega = 0,9993$ при $\tau_0 = 150$. В физическом аспекте это эквивалентно замене показателя преломления на комплексный с очень малым коэффициентом при мнимой части, что практически не влияет на

форму индикатрисы рассеяния. Результаты расчетов контуров линии в облаке с поглощением представлены на рисунке (б).

Из рисунка видно, что поглощение радиации облачными каплями играет определенную роль в формировании контура линии поглощения в спектре облачного неба: линия становится менее глубокой. Аналогичный результат получается и для контура линии в потоке нисходящей диффузной радиации от всего небосвода.

Второй причиной, приводящей к заметной деформации контура линии в диффузном свете неба, является сброс континуального излучения в линию за счет эффекта рамановского рассеяния [7,8]. Этот эффект еще недостаточно хорошо изучен как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах. Все вышесказанное существенно усложняет возможность определения оптической толщи рассеяния света облаками из наблюдений контуров теллурических линий.

1. Малкевич М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников. М.: Наука, 1973. 303 с.
2. Мулдашев Т.З., Султангазин У.М. // ЖВМ и МФ. 1986. Т. 26. N 6. С. 888–893.
3. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 256 с.
4. Фейгельсон Е.М., Краснокутская Л.Д. Потoki солнечного излучения и облака. Л.: Гидрометеониздат, 1978. 158 с.
5. Moore C.E., Minnaert M.G., Houtgast J. The Solar Spectrum from 2935 Å to 8770 Å. Washington, UNESCO, 1966. 340 p.
6. Атмосфера: Справочник. М.: Гидрометеониздат, 1991. 509 с.
7. Kattawar G.W., Young A.T., Humphreys T.J. // Ap. J. 1981. V. 243. N. 3. P. 1049–1057.
8. Павлов В.Е. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1990. Т. 26. N 2. С. 141–142.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул
Институт космических исследований МН-АН Республики Казахстан, г. Алматы

Поступила в редакцию
4 февраля 1998 г.

V.E. Pavlov, S.V. Pyatelina, U.M. Sultangazin. On Influence of Optical Thickness of Scattering and Absorption of Light by Cloud Particles on the Oxygen Tellure Line.

The outlines of the telluric oxygen line in the spectrum of cloudy sky are calculated. The modified method of spherical harmonics is used for computations of radiation intensity. The influence of the cloud absorption on the oxygen line shape at different cloud optical depths is investigated.