

УДК 523.46

В.Г. ТЕЙФЕЛЬ, А.М. КАРИМОВ, Г.А. ХАРИТОНОВА

ОСОБЕННОСТИ ШИРОТНЫХ РАЗЛИЧИЙ У СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНА НА САТУРНЕ

По спектрофотометрическим наблюдениям Сатурна в 2007 и 2008 гг обнаружено четко выраженное различие в поведении слабых и сильных полос поглощения метана в северном и южном полушариях планеты. Тогда как эквивалентная ширина относительно сильной полосы CH_4 725 нм в обоих полушариях на умеренных широтах остается почти одинаковой, у слабых полос (CH_4 619 нм и другие) в северном полушарии эквивалентные ширины значительно больше наблюдаемых в южном полушарии.

В начале 2008 г. был продолжен многолетний ряд спектрофотометрических наблюдений Сатурна, выполняемых в рамках фундаментальных исследований и в порядке участия в программе наземного астрофизического сопровождения космической миссии «Кассини», сроки которой продлены до 2010 года [1]. Основная задача наблюдений состоит в исследовании поведения молекулярных полос поглощения метана на диске Сатурна на разных широтах и с течением времени.

В 2010 г. экватор и кольца Сатурна будут ориентированы «ребром» по отношению к направлению на Солнце и Землю и соответственно оба полушария планеты будут находиться в одинаковых условиях освещения (при одинаковом режиме инсоляции) и видимости. В течение предыдущих и последующих лет одно из полушарий находится в более суровом режиме инсоляции, получая меньше лучистой энергии Солнца не только из-за наклона экватора, но и из-за экранирования значительной части полушария кольцами [2]. Это определяет сезонный характер изменений в атмосфере и облачном покрове Сатурна, пока еще недостаточно изученных ввиду длительного (около 30 лет) периода обращения планеты вокруг Солнца.

Методика наблюдений Сатурна в основном была описана в предыдущей статье [3], поэтому здесь только отметим, что, как и прошлые годы, использовались два способа получения спектрограмм. Первый состоял в получении спектра диска при ориентации входной щели ПЗС-спектрографа вдоль центрального меридиана Сатурна. Второй способ заключался в последовательном получении зональных спектрограмм (щель ориентирована параллельно большой оси кольца Сатурна) при медленном перемещении изображения планеты на щели спектрографа. Второй спо-

соб обеспечивал получение большого (более 100) количества спектрограмм в течение одного сеанса сканирования.

При относительно коротком (10 с) времени экспозиции каждого спектра обработка зональных спектрограмм лает возможность увеличить точность воспроизведения профилей полос поглощения метана, благодаря тому, что на зональной спектрограмме можно просуммировать несколько пиксельных строк (не менее 20), тем самым увеличить суммарный отсчет интенсивности и сгладить шумовую составляющую.

Спектры центрального меридиана могут использоваться в качестве контроля широтной привязки зональных спектров, хотя и их измерения дают вполне адекватную картину широтного хода поглощения в полосах метана. Как часто делается в астрофизике, лучший результат при этом получается путем сложения 5-10 спектрограмм, что легко осуществляется в стандартной программе SBIG, предназначеннай для получения и предварительной обработки ПЗС-файлов... Она же дает возможность выполнять оцифровку записанных изображений спектра, после чего дальнейшие процедуры обработки выполняются в заранее подготовленном шаблоне вычислительно-графической программы EXCEL.

В феврале 2008 г. наклон экватора и кольца Сатурна к лучу зрения составлял -8.6 градуса (рис.1), так что уже значительная часть северного полушария стала видимой и свободной от затенения кольцом. По полученным спектрограммам были измерены профили и эквивалентные ширины полос поглощения метана, центрированных на длины волн 619, 668, 725 и 798 нм. Две последних полосы мы называем сильными лишь условно, так как профили их не достигают насыщения в своей центральной части.

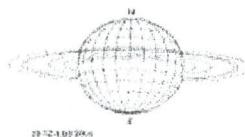


Рис.1

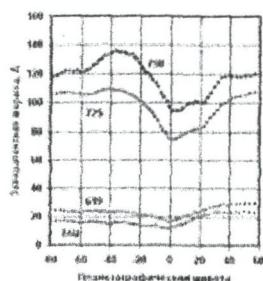


Рис.2а

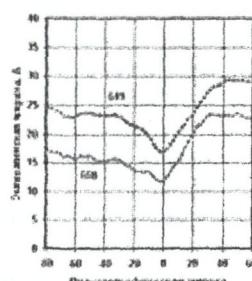


Рис.2б

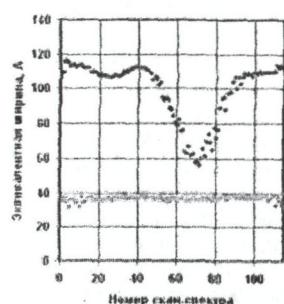


Рис.3а

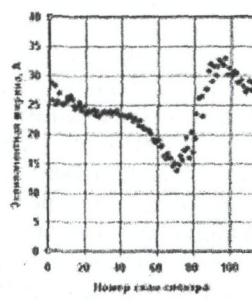


Рис.3б

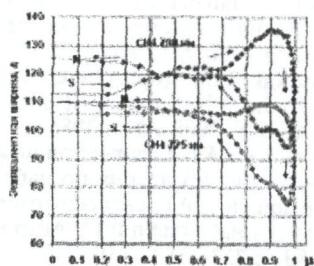


Рис.4а

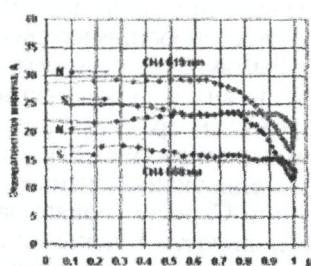


Рис.4б

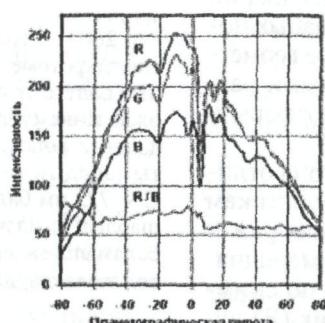


Рис.5

Рис.1 Ориентация экватора и кольца Сатурна в феврале 2008 г.

Рис.2а Широтный ход эквивалентных ширин полос поглощения на Сатурне по спектрам центрального меридиана, полученным в феврале 2008 г.

Рис.2б То же, что и на рис.2а, но для полос 619 и 668 нм в увеличенном масштабе

Рис.3а Меридиональный ход эквивалентных ширин полосы поглощения 725 нм на Сатурне по зональным скан-спектрам, полученным в феврале 2008 г. Для сравнения показан ход теллурической полосы 760 нм.

Рис.3б То же, что и на рис.3а, но для полосы 619 нм в увеличенном масштабе

Рис.4а График зависимости эквивалентных ширин сильных полос от косинуса угла отражения

Рис.4б График зависимости эквивалентных ширин слабых полос от косинуса угла отражения

Рис.5 Фотометрические профили центрального меридиана Сатурна в по снимкам в системе RGB и широтный ход цветового отношения R / B.

На рисунке 2а показано изменение эквивалентных ширин по широте для всех полос по измерениям спектrogramмы суммированной по 10 отдельным спектрам центрального меридиана Сатурна. На рисунке 2б представлен широтный ход эквивалентных ширин относительно слабых полос 619 и 668 нм в увеличенном виде. Для сравнения на рисунках 3а и 3б показаны результаты измерения зональных скан-спектров. На рисунке 3а нанесен для контроля точности ход эквивалентной ширины теллурической полосы поглощения O_2 , центрированной на 760 нм.

И те и другие измерения приводят к одному и тому же заключению: широтный ход слабых и сильных полос в северном полушарии не одинаков. На высоких широтах (60-80 градусов) у сильных полос эквивалентные ширины почти точно совпадают в обоих полушариях. Иначе ведут себя слабые полосы: в северном полушарии: поглощение в них оказывается существенно выше, чем в южном. Эта особенность была отмечена и в 2007 г., но теперь она подтверждается новыми наблюдениями.

В южном полушарии в области умеренных широт (-20 - -40 градусов) сильные полосы обнаруживают заметное увеличение эквивалентных ширин, чего не наблюдается у слабых полос. Рассмотрим, не играет ли здесь роли чисто геометрический эффект, определяемый углами падения и отражения радиации, соответствующими радиальному расстоянию измеряемой области диска от его центра. Были вычислены для всех измеренных точек значения косинуса угла отражения $\mu = \cos \epsilon$. В соответствии с этими значениями на графики (рисунки 4а и 4б) нанесены эквивалентные ширины полос поглощения. Стрелки показывают направление последовательности точек с юга на север. Графики показывают, что и при равных углах отражения в северном и южном полушарии различия в эквивалентных ширинах у слабых полос сохраняются, т.е. они обусловлены не геометрией освещения и отражения, а реальными различиями в вертикальной структуре атмосферы и облачного слоя в каждом из полушарий.

Северное и южное полушария Сатурна отличаются и по своим оптическим характеристикам в непрерывном спектре. На рисунке 5 изображены яркостные профили центрального меридиана Сатурна в относительных единицах по снимкам в красных (R), зеленых (G) и синих (B) лучах, а также широтный ход цвета, вычисленный как отношение интенсивностей R / B. Легко видеть, что северное полушарие заметно синее южного. Это можно объяснить тем, что там надоблачная атмосфера, обладающая релеевским рассеянием, или фотохимическая стратосферная дымка [4, 5] в северном полушарии, содержит меньше крупного аэрозоля или, что более вероятно, там понижена высота верхней границы облачного покрова с соответственным увеличением толщины надоблачной релеевской атмосферы.

Однако даже для качественного объяснения наблюдавшихся различий у слабых и сильных полос требуется рассмотрение иных моделей формирования поглощения в облачном слое и в надоблачной атмосфере, так как увеличение толщины надоблачной атмосферы должно было бы в большей степени отразиться на увеличении поглощения в сильных полосах. Слабые полосы формируются в основном внутри облачного слоя и их интенсивность определяется процессами многократного рассеяния в нем.

Для окончательного анализа и интерпретации наблюдавшихся особенностей важно провести аналогичные измерения в 2010 г., при нулевом наклоне экватора и отсутствии помех от кольца Сатурна, как это было в 1995 г. [6]

ЛИТЕРАТУРА

1. The CASSINI mission. // Jet Propulsion Laboratory Internet-site, 2005
2. Perez-Hoyos S., Sanchez-Lavega A. Solar flux in Saturn's atmosphere: penetration and heating rates in the aerosol and cloud layers. // Icarus, 2006, v.180, p.368-378.
3. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонова Г.А. Сезонные и широтные вариации поглощения метана на диске Сатурна // Известия НАН РК, серия физико-математическая, 2007, №4, с.99-102.
4. Baines K.H., Momary T.W., et al. The atmospheres of Saturn and Titan in the near-infrared: first results of Cassini/VIMS. // Earth, Moon and Planets, 2005, v.96, p.119-147
5. D'Aversa E., Bellucci G., et al. Vertical aerosol distribution in the troposphere and stratosphere of Saturn from Cassini/VIMS data. // Lunar and Planetary Science Conf. XXXIX, 2008, Abstr.1985
6. Тейфель В.Г. Распределение молекулярного поглощения по диску Сатурна по наблюдениям в 1995 г. на основе зональной спектрофотометрии с ПЗС-камерой. Результаты наблюдений. // Астрон.вестник РАН, 1997, т.31, №3, с.222-231

Резюме

2007 және 2008 жылдарда Сатурнның спектрофотометрлік бакылаулары бойынша осы планетаның солтүстік пен онтүстік жарты шарларында метанның өлсіз және күшті жұтылу жолақтарының жүргіс-тұрысында анық көрсетілген айырмашылығы табылған. Екі жарты шардың орташа ендіктеріндегі күшті жолақтың CH_4 725 нм баламалы ендері бірдей, ал солтүстік жарты шардың өлсіз жолақтарының (CH_4 619 нм және басқалар) баламалы ендері онтүстік жарты шардағыда бакыланған соң жолақтардың баламалы ендерінен біраз үлкенірек.

Summary

Spectrophotometric observations of Saturn in 2007 and 2008 have detected clearly expressed difference in the behavior of weak and strong methane absorption bands in the northern and southern hemispheres of the planet. The equivalent widths of relatively strong band CH_4 725 nm are nearly the same in both hemispheres at the temperate latitudes but for weaker bands (CH_4 619 nm and others) equivalent widths in the northern hemisphere are significantly more than the observed ones in the southern hemisphere.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова.
г. Алматы

Поступила 14.05.2008 г.