

УДК 523.46

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

СЕЗОННЫЕ И ШИРОТНЫЕ ВАРИАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНА НА ДИСКЕ САТУРНА

По спектрофотометрическим наблюдениям Сатурна в 1995-2007 гг обнаружен рост поглощения метана в южном умеренном поясе планеты, связанный с сезонным изменением инсоляции. На основе спектрального сканирования диска Сатурна выявлен ряд особенностей в широтных вариациях разных полос поглощения метана и повышенное поглощение в районе южного полюса планеты.

Планета Сатурн, наклон экватора которой к плоскости эклиптики составляет около 27 градусов, подвержена сезонным изменениям в структуре атмосферы, обусловленным неодинаковым и меняющимся от года к году притоком солнечной энергии к северному и южному полушариям. Характер этих изменений изучен еще далеко не достаточно, тем более, что, как это установлено недавно, немаловажную роль в атмосферных процессах на Сатурне играет

и выделение внутренней тепловой энергии, особенно проявляющееся у полюсов и в затененной (ночной или экранируемой кольцами) части планеты [1-3].

Систематические спектрофотометрические наблюдения Сатурна с применением ПЗС-камер выполняются в АФИФ с 1995 года. Анализ результатов обработки этих наблюдений выявил, в частности, наличие четко выраженного тренда в изменении со временем интенсивности полосы

поглощения метана 725 нм в умеренном поясе южного полушария, которое в это период находилось в условиях максимальной инсоляции после предыдущего периода, когда к Солнцу было обращено северное полушарие. Эти сезонные изменения инсоляции, по-видимому, и были главной причиной наблюдавшейся в 1995 г весьма существенной асимметрии в оптических характеристиках атмосферы и облачного покрова Сатурна, включая интенсивности метанового поглощения, в северном и южном полушариях. Тогда наклон экватора Сатурна к направлению на Солнце был нулевым и оба полушария находились в равных условиях облучения и наблюдения. Однако в южном полушарии на умеренных широтах поглощение метана было значительно меньше, чем в северном. В течение последующих лет оно стало увеличиваться, что иллюстрируется графиком, представленным на рисунке 1, и может быть выражено регрессией $R(Y) = 0.530 + 0.019(Y - 1995)$, где R – центральная глубина полосы поглощения, а Y – год наблюдения [4]. Квазилинейность этого соотношения должна, скорее всего, нарушиться в ближайшие годы с приближением наступающего в 2010 г положения “edge-on”, когда снова экватор Сатурна и кольцо будут ориентированы ребром по отношению к направлениям на Солнце и Землю.

Наши спектральные наблюдения Сатурна последних лет прослеживают довольно четко выраженную закономерность в широтном ходе метанового поглощения в его южном полушарии: наиболее пониженное поглощение в светлом экваториальном поясе, повышенное на низких широтах, почти неизменное в области умеренных широт и усиление поглощения вблизи южного полюса. Большинство измерений относилось к получаемым ПЗС-спектрограммам центрального меридиана планеты. Но при этом, поскольку ширина спектрограммы, записанной на дифракционном спектрографе SGS в 7.5-м фокусе 60-см телескопа Zeiss-600, составляла около 73–75 пикселей, приходилось увеличивать время экспозиции до 120 с, чтобы отсчеты на краевых областях диска не были слишком малы по отношению к темновому фону. Увеличение же экспозиции приводит к ухудшению качества изображения из-за турбулентности земной атмосферы.

Чтобы получить более детальную картину широтных вариаций полос поглощения мы

применили метод последовательного сканирования диска Сатурна за счет его медленного смещения поперец входной щели спектрографа, ориентированной параллельно большой оси кольца (рисунок 2). Ширина 25-микронной щели в проекции на изображение составляет 0.5 угловой секунды. Весь диск проходит через щель за примерно 50–60 минут, так что при 10-секундных экспозициях автоматически записывается на компьютер до 250 и более спектрограмм, последовательно соответствующих разным хордам на диске. Само смещение изображения по склонению происходит благодаря небольшому изменению установки полярной оси телескопа. Таким образом, один полный скан диска состоит из достаточно большого количества спектрограмм, записанных с короткими экспозициями. Общий наблюдательный материал довольно обширен. Только в начале 2007 г. было записано более 2800 спектрограмм, примерно столько же получено в 2006 г и ранее, так что здесь приводятся данные обработки лишь части этого материала.

На каждой спектрограмме измерялись профили 5 полос поглощения метана (рисунок 3) и теллурической полосы кислорода 760 нм. Последняя служит контролем точности измерений, поскольку ее интенсивность должна быть одинаковой для всех точек диска планеты. Наблюдения проводились вблизи верхней кульминации Сатурна на угловой высоте около 63 градусов, так что за время съемки эта полоса не менялась. Измерялись центральные глубины полос R и эквивалентные ширины W . На рисунке 4 показаны меридиональные профили яркости и эквивалентных ширин полос поглощения по сканам, полученным 6–7 марта 2007 г. В каждой ПЗС-спектрограмме вырезалась и обрабатывалась срединная ее часть шириной в 20 пикселей и соответственно таких же размеров вырезки из фона выше и ниже спектрограммы. Ранее было показано [5], что в долготном направлении на диске Сатурна поглощение остается неизменным почти до краев диска, поэтому вполне корректно было делать суммирование по эти 20 пикселям, увеличив тем самым суммарную яркость в спектрах и отношение сигнал/шум. Кроме того, поскольку щель спектрографа по ширине соответствует примерно 5 соседним разрезам, а реальное

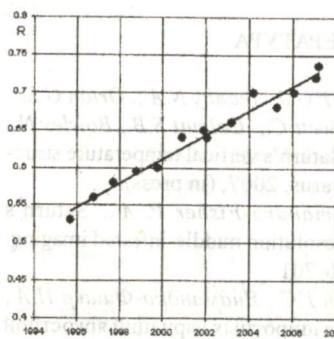


Рис1

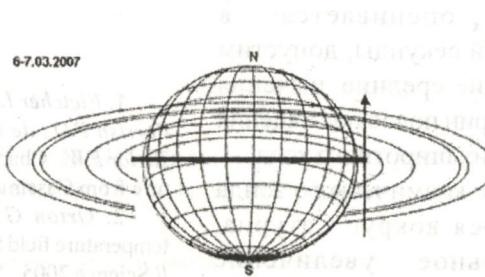


Рис2

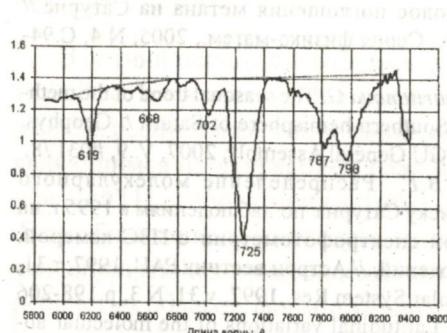


Рис3



Рис6

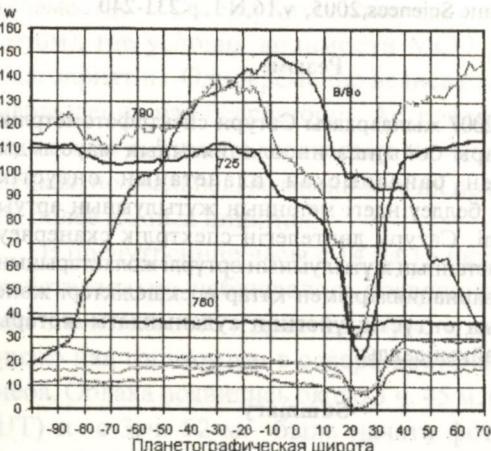


Рис4а

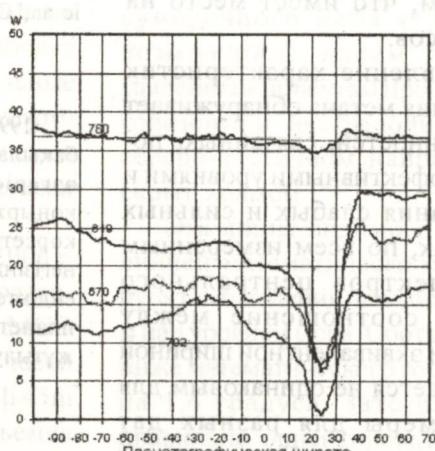


Рис4б

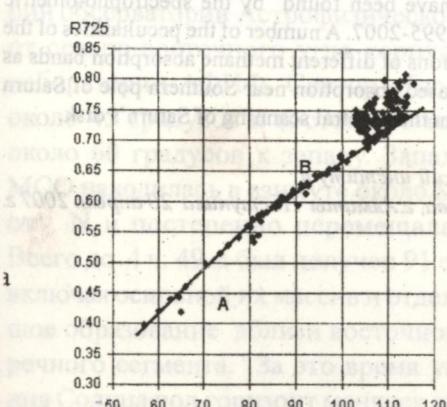


Рис. 5 а

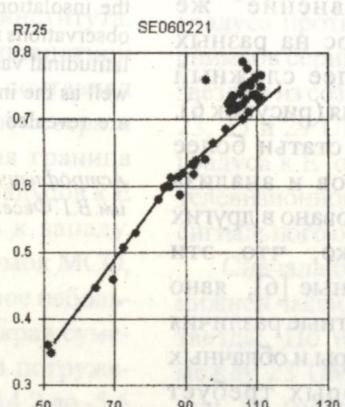


Рис. 5 б

Рис. 1. Изменение центральной глубины полосы поглощения CH_4 725 нм в южном умеренном поясе Сатурна за период с 1995 по 2007 гг.

Рис.2. Размер щели спектрографа в сравнении с диском Сатурна и направление сканирования при последовательной съемке ПЗС-спектрограмм.

Рис.3. Профиль спектра диска Сатурна, отнесенного к спектру кольца, и положение измерявшихся полос поглощения метана

Рис.4. Широтные вариации эквивалентных ширин полос поглощения на Сатурне по наблюдениям 6-7.03.2007. На правом рисунке показан в увеличенном масштабе широтный ход для слабых полос поглощения.

Рис.5. Характерные различия в соотношении между центральной глубиной и эквивалентной шириной полосы поглощения метана CH_4 725 нм для разных широтных зон. А - область, экранируемая кольцом, В - область низких широт в южном полушарии, С - умеренные и высокие широты. Представлены данные для 6-7.03.2007 (слева) и для 21-22.02.2006 (справа).

Рис.6. Соотношение между эквивалентными ширинами полос поглощения CH_4 725 и 619 нм в южном полушарии Сатурна по наблюдениям 2007 г. Отмечены широты отдельных точек, что бы проследить направление хода кривой.

угловое разрешение оценивается в приблизительно 0.8 угловой секунды, допустим было вычислять скользящие средние значения глубин и эквивалентных ширин полос поглощения на построенных профилях их широтного хода.

Недавние наблюдения с космического зонда "Cassini", обращающегося вокруг Сатурна, обнаружили значительное увеличение инфракрасной яркостной температуры и мощный вихрь на южном полюсе. Поскольку пока южный полюс Сатурна наблюдается и с Земли, особый интерес представляют исследования поведения полос молекулярного поглощения в этой зоне. Как уже упоминалось выше, наши наблюдения последних лет, в том числе и данные спектрального сканирования, определенно свидетельствуют об усилении поглощения вблизи южного полюса. Эквивалентная ширина полосы 725 нм на широтах -80-90 градусов увеличена примерно на 8 процентов по сравнению с наблюданной на широтах -70- -40 градусов и почти совпадает с тем, что имеет место на широте около -30 градусов.

Анализ и сопоставление характеристик разных полос поглощения метана обнаруживает ряд интересных особенностей, связанных, по-видимому, с разными эффективными уровнями и условиями формирования слабых и сильных полос поглощения. Так, по всем измеренным сериям сканов и спектров центрального меридиана Сатурна соотношение между центральной глубиной и эквивалентной шириной полосы 725 нм оказывается не одинаковым для разных широт (примеры для разных дат наблюдений показаны на рисунке 5) и отличается от того, что получается для более слабых абсорбционных полос. Сравнение же эквивалентных ширин этих полос на разных широтах обнаруживает еще более сложный характер их взаимного соответствия (рисунок 6).

Из-за ограничения на объем статьи более подробное изложение результатов и анализа полученных данных будет опубликовано в других изданиях. Здесь отметим только, что эти данные, как и ранее опубликованные [6], явно указывают на существенные широтные различия в вертикальной структуре атмосферы и облачных слоев Сатурна, изучение которых требует дальнейших систематических комплексных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fletcher L.N., Irwin P.G.J., Teanby N.A., Orton G.S., Parrish P.D., de Kok R., Howett C., Calcutt S.B., Bowles N., Taylor F.W. Characterising Saturn's vertical temperature structure from Cassini/CIRS // Icarus, 2007, (in press).
2. Orton G. S. , Yanamandra-Fisher P. A... Saturn's temperature field from high-resolution middle-infrared imaging. // Science 2005, V.307, P.696-701.
3. Тейфель В.Г., Ортон Г.С., Янамандра-Фишер П.А., Харитонова Г.А. Сравнение широтных вариаций яркостной температуры и полос поглощения метана на Сатурне.// Известия НАН РК, Серия физико-матем., 2005, N 4, С.94-99
4. Teijzel V., Kharitonova G. The seasonal trend of the methane absorption in Southern hemisphere of Saturn // Geophys. Research Abstr., EGU General Assembly, 2007, V.9, #03178.
5. 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, N 3, с.222-231; Solar System Res.,1997, v.31, N 3, p.198-206
6. Teijzel V.G. Latitudinal variations of the molecular absorption bands on Saturn and seasonal changes of the atmospheric state at S- and N-hemisphere // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences,2005, v.16,N 1, p.231-240

Резюме

1995–2007 жылдардағы Сатурн спектротометрлік бақылаулары бойынша инсоляциясының маусымды өзгерісімен байланысқан планетаның онтүстік коныржай белдеуіндегі метанның жұтылуының артуы көрсетіледі. Сатурн дәңгелегін спектрлік сканерлеу негізінде метанның жұтылуының өртүрлі жолактарының ендіктері вариацияларымен катар ерекшеліктері жөне планетаның онтүстік үйегінің ауданындағы жоғары жұтылуы айқындалды.

Summary

The increasing of the methane absorption in Southern temperate belt of Saturn, connected with the seasonal changes of the insolation, have been found by the spectrophotometric observations in 1995-2007. A number of the peculiarities of the latitudinal variations of different methane absorption bands as well as the increased absorption near Southern pole of Saturn are revealed from the spectral scanning of Saturn's disk.

Астрофизический институт
им. В.Г. Фесенкова, г. Алматы Поступила 20 апреля 2007 г.