

УДК 523.46

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

СЕЗОННЫЕ РАЗЛИЧИЯ В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ САТУРНА ПО ДАННЫМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ 1995 И 2009 гг.

Рассмотрены данные ПЗС-спектрофотометрии Сатурна в полосах поглощения метана, полученные в периоды минимального видимого наклона экватора и колец планеты – в 1995 и 2009 гг Обнаружены различия в широтных вариациях поглощения, отражающие изменения в структуре атмосферы и облачного покрова, которые связаны с сезонными изменениями режима инсоляции северного и южного полушарий.

1. Введение.

Раз в 15 лет экватор Сатурна и его кольца оказываются ориентированными «ребром» по отношению к Земле и Солнцу. В течение периода между этими событиями происходит постепенное изменение видимого угла наклона от нуля до 26.7 градуса и обратно. При этом одно из полушарий, обращенное к Солнцу, получает наибольшее количество лучистой солнечной энергии, тогда как уровень инсоляции другого полушария оказывается значительно ниже не только за счет меньших углов падения радиации, но и из-за экранирования значительной части планеты кольцами. Эксцентриситет орбиты Сатурна равен 0.054 и расстояния планеты от Солнца (радиус-вектор) в перигелии и афелии различаются на целую астрономическую единицу (9.010 а.е. – 10.072 а.е.). Соответственно общий приток солнечной энергии меняется почти на 25 процентов. Существенно и то, что максимальный наклон южного полушария Сатурна приходится на положение планеты как раз вблизи перигелия. Это создает дополнительное различие в суммарном количестве энергии, получаемом каждым из полушарий в его «летний» сезон. Рисунок 1 показывает, как из года в год меняется расстояние Сатурна от Солнца и планетоцентрическое склонение Солнца. Вычисления сделаны для моментов противостояния планеты, поэтому для 2003 и 2004 гг. указана одна точка: противостояние Сатурна приходится на 31 декабря 2003 г.

В какой степени и как проявляются в тепловом режиме полушарий и в структуре облачной атмосферы Сатурна эти различия – задача, требующая для своего решения многолетних однородных наблюдений. Однако специальные исследования такого рода, основанные на измерении оптических характеристик планеты, весьма немногочисленны (например, [1-4]) и пока еще нет

достаточно полной картины происходящих на Сатурне сезонных изменений.

В лаборатории физики Луны и планет Астрофизического института им. В.Г.Фесенкова исследования планет-гигантов Юпитера и Сатурна ведутся уже на протяжении более 50 лет. Начиная с 1995 года, в качестве приемника изображений и спектров планет используются ПЗС-камеры, матрицы которых обеспечивают возможность прямой компьютерной регистрации, а по сравнению с ранее применявшимися фотографическими материалами – значительно более широкий динамический диапазон и строгую линейность светопередачи. В данной статье сравниваются результаты спектральных наблюдений Сатурна, выполненных в периоды минимального наклона экватора планеты – в 1995 и 2009 гг. В оба сезона исследовалось поведение молекулярных полос поглощения метана в диапазоне длин волн 0.6-0.8 мкм в разных зонах северного и южного полушарий Сатурна.

2. Наблюдения 1995 г.

В сезон видимости Сатурна 1995 г. (противостояние 14 сентября 1995 г.) наблюдения проводились на 1-метровом телескопе обсерватории Ассы и на 0.6-м телескопе обсерватории на Каменском плато. Спектральные съемки осуществлялись с помощью призменного спектрографа АСП-9, соединенного с ПЗС-камерой ST-6V. Подробно эти наблюдения, включающие и измерения в непрерывном спектре, описаны в [5,6], поэтому остановимся лишь на основных и важнейших результатах спектрофотометрии Сатурна в полосах поглощения метана. В последние годы для обработки спектральных наблюдений мы применяли иную методику, чем в 1995 г., поэтому часть материалов 1995 года была заново обработана по новой методике для контроля сопоставимости данных. Результаты получились теми

же самыми и подтвердили идентичность старых и новых методов измерений ПЗС-спектрограмм.

Что было характерно для Сатурна в 1995 году? Прежде всего – четко выраженная асимметрия в широтном ходе поглощения метана, установленная как по измерениям спектрограмм центрального меридиана планеты, так и по спектрограммам отдельных зон. Преимущества зональной ПЗС-спектрофотометрии состоят в том, что при тех же коротких экспозициях имеется возможность получить несколько лучшее качество фотометрии спектра путем усреднения пиксельных строк, относящихся к середине полосы спектра (соответствующей положению вблизи центрального меридиана), где, как было показано специальными измерениями, поглощение практически не меняется по долготе от ЦМ. При этом снижаются шумы в получаемом профиле полосы поглощения.

На рисунке 2 показаны графики широтных вариаций центральных глубин полос поглощения, построенные по измерениям 16 зональных спектрограмм, полученных в ночь 19-20 сентября 1995 г.. На рисунке 3 приведены такие же данные о широтном ходе поглощения, полученные по измерениям 7 спектрограмм центрального меридиана, записанных в ту же ночь. Как видим, и в качественном и в количественном отношении они дают практически одинаковый результат. Та же самая асимметрия в ходе поглощения подтверждается новой обработкой ПЗС-спектрограмм центрального меридиана, полученных 13-14 сентября 1995 г. Отчетливо видно, что в северном полушарии поглощение существенно выше, чем в южном, по крайней мере, при сравнении поглощения на умеренных широтах 30-45 градусов. Наблюдается увеличение поглощения с широты -50 градусов к южному полюсу, тогда как в северном полушарии почти постоянное поглощение в каждой из полос сохраняется до высоких широт.

Экваториальный пояс Сатурна характеризуется наименьшей величиной поглощения метана, что сохраняется в течение многих лет, о чем свидетельствуют наши наблюдения еще в 60-70-е годы прошлого столетия [7,8].

3. Наблюдения 2009 г.

Сезон видимости Сатурна в новый период минимального наклона экватора и колец пришелся на конец 2008 г. – начало 2009 г. Дата противостояния - 8 марта 2009 г. Спектрофотометричес-

кие наблюдения были проведены в夜里 13-14 декабря 2008 г., 5-6 и 20-21 января, 13-14 и 26-27 марта 2009 г. Использовался дифракционный спектрограф SGS с ПЗС-камерой ST-7XE производства фирмы Santa Barbara Instrument Group (дисперсия 4.3 Å/пиксель, область длин волн 580-900 нм, экспозиции 10-20 секунд) В общей сложности было получено более 2600 ПЗС-спектрограмм - зональных и центрального меридиана Сатурна.

Обработка зональных спектрограмм выполнялась в несколько этапов. Сначала с помощью рабочей программы ПЗС-камеры производилась оцифровка центральной части спектра с усреднением по 21 строке. Измерения хода отношения интенсивностей в центре полосы поглощения 725 нм и в непрерывном спектре на длине волн 675 нм поперек спектра показали, что даже в более широких пределах строк оно остается постоянным (пример показан на рисунке 4 для зоны на широте около +22 градусов), так что усреднение вполне правомерно. Затем после вычисления отношения спектра зоны диска Сатурна к спектру кольца измерялись профили полос поглощения. По этим измерениям строились атласы профилей, которые в дальнейшем могут быть использованы для более детального их анализа. По профилям вычислялись эквивалентные ширины (W) и центральные глубины (R) полос поглощения и в конечном счете строились графики изменения этих характеристик с широтой.. .

На рисунке 5 представлен широтный ход центральных глубин исследованных полос поглощения метана по обработке одной из серий зональных спектрограмм, полученных в ночь с 5 на 6 января 2009 г. Полоса поглощения 725 нм на умеренных широтах ведет себя почти одинаково в южном и северном полушариях, сохраняя почти неизменной величину центральной глубины от 0.72 до 0.75. На этом рисунке показан также для контроля ход глубины теллурической полосы поглощения кислорода 760 нм, не зависящей от объекта исследования. В пределах естественных погрешностей глубина ее остается неизменной по всему диску. Более слабые полосы поглощения метана (619 нм и др.) ведут себя почти одинаково, показывая также минимум в экваториальном поясе, но усиление на умеренных широтах при небольшом спаде на широтах 50-60 градусов в обоих полушариях.

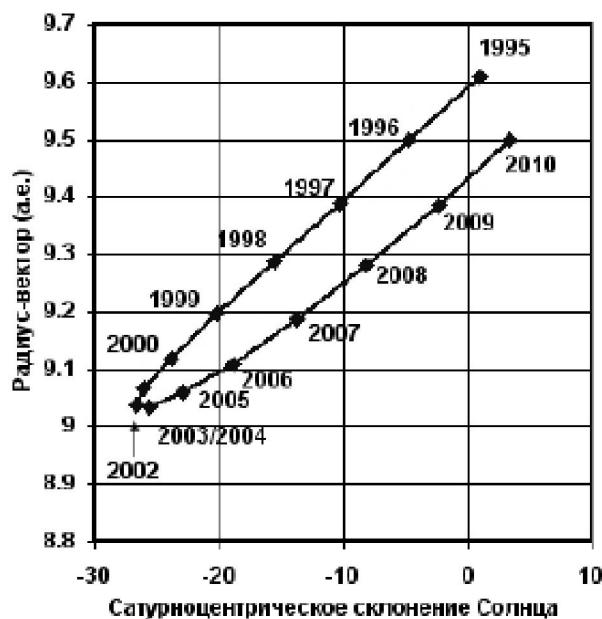


Рис.1. Соотношение между наклоном экватора Сатурна к направлению на Солнце и расстоянием планеты от Солнца в период с 1995 по 2010 годы.

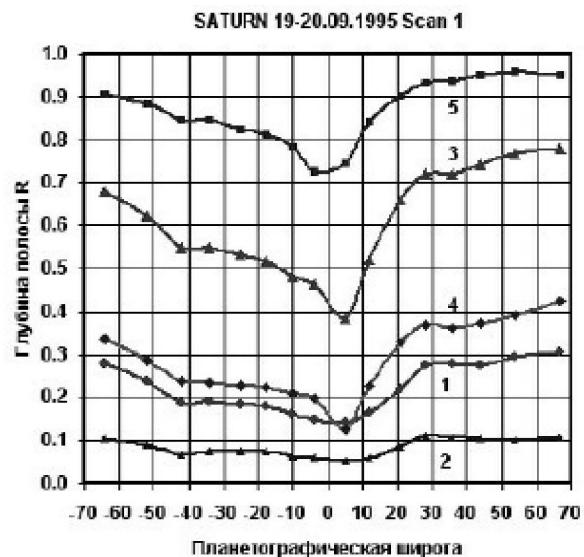


Рис.2. Широтные вариации глубин полос поглощения метана по зональным ПЗС-спектрограммам в 1995 г. Полосы: 1 – 619 нм, 2- 678 нм, 3- 725 нм, 4- 787 нм, 5 – 887 нм

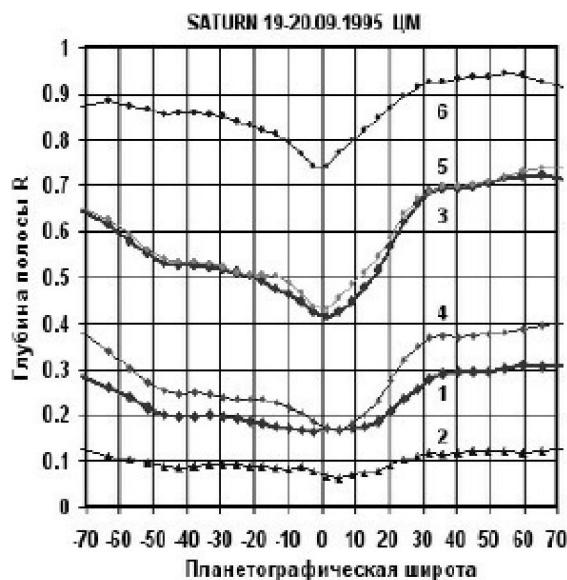


Рис.3. Широтные вариации глубин полос поглощения метана по спектрам центрального меридиана Сатурна (средние по 7 спектрограммам). Полосы: 1-619 нм, 2- 670 нм, 3- 725 нм, 4 – 785 нм, 5 – 840 нм, 6-887 нм.

Несколько иначе выражен широтный ход эквивалентных ширин полос поглощения, показанный на рисунках 6 и 7. Здесь проявляется наличие максимального поглощения у полосы 725 нм на широтах около 35-40 градусов в обоих полу-

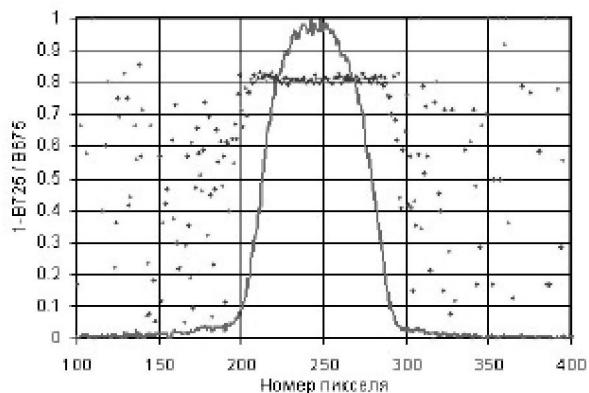


Рис.4. Отношение интенсивностей в центре полосы поглощения 725 нм и в непрерывном спектре (675 нм) на поперечном разрезе одной из зональных спектрограмм Сатурна, соответствующей широте около +22 градусов.

шариях со спадом к широтам около 60 градусов. На рисунке 7 в увеличенном виде представлен ход относительно слабых полос 619, 670 и 702 нм. У них максимумы поглощения приходятся на широты около 30 градусов, причем в северном полушарии полное поглощение в полосе, выражаемое значением эквивалентной ширины, заметно выше, чем в южном. Выделяется на этом графике, как и на всех других, относящихся к наблюдениям 2007-2009 гг, аномальный ход поглощения в полосе 670 нм – слишком крутой рост

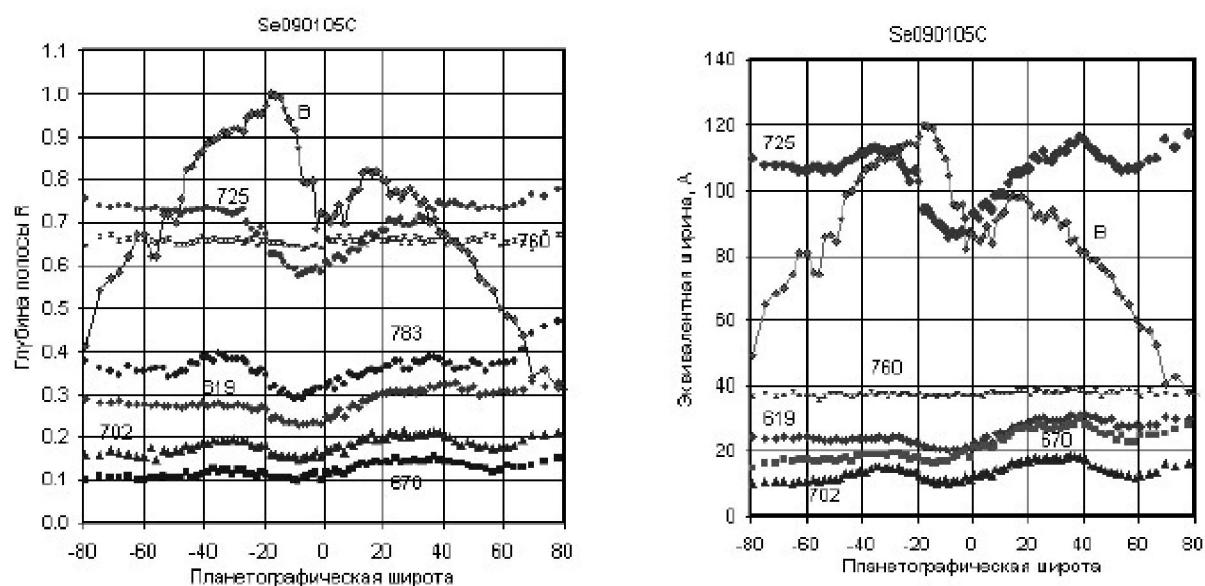


Рис. 5. Широтные вариации глубин полос поглощения метана по зональным спектрам Сатурна, полученным в 2009 г.

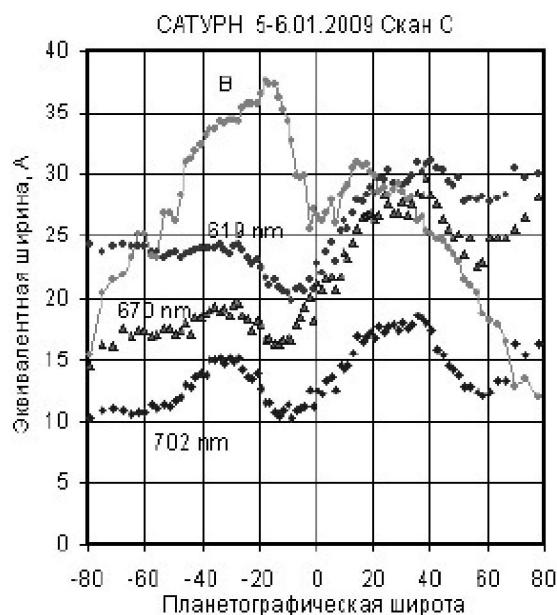


Рис. 7. Увеличения часть рисунка 6 со слабыми полосами поглощения 619, 706 и 702 нм

его в северном полушарии. Поведение этой полосы рассматривается в отдельной статье [9] и связано с наличием поглощения аммиака перекрывающегося с метановым поглощением.

4. Сравнительный анализ наблюдательных данных.

Как видим, за исключением экваториального минимума поглощения картина 2009 года не об-

наруживает ни сходства, ни зеркального повторения той, что наблюдалась в 1995 году. На умеренных широтах северного полушария глубины полос почти такие же в оба периода наблюдений – около 0.7 для полосы 725 нм и около 0.3 для полосы 619 нм. Но в южном полушарии различие получается достаточно серьезным: глубина полосы поглощения 725 нм увеличилась с 0.5 до 0.7, а у полосы 619 – с 0.20 до 0.28. Постепенное возрастание глубины R полосы поглощения 725 нм в южном полушарии с 1995 по 2007 г было уже прослежено нами ранее [10], причем оно оказалось почти линейным со временем и представляемым регрессией $R(Y)=0.530+0.019(Y-1995)$, где Y- номер года.

В общем из такого сравнения можно заключить, что наибольшие изменения в наблюдаемых величинах поглощения метана произошли в южном полушарии, тогда как северное не обнаруживает существенного различия поглощения в 1995 и 2009 гг. Есть различие и в экваториальном пояссе, где поглощение в 1005 г. тоже оказалось меньшим, чем в 2009 г. Можно отметить и то, что на высоких широтах поглощение увеличивалось в 1995 г в южном полушарии, а в 2009 небольшой подъем наблюдается в северном полушарии.

За период с 1995 по 2009 гг. мы могли проследить сезонные изменения на Сатурне только

для одной половины 30-летнего цикла. В течение этой половины Сатурн приближался к Солнцу до минимального расстояния в перигелии (смена наклона от нулевого в 1995 г до максимального в 2002 г., когда к Солнцу оказалось обращенным южное полушарие) и затем удалялся, открывая постепенно северное полушарие. Так что все это время приток солнечной энергии к южному полушарию оставался больше, чем к северному. Северное же полушарие в течение предыдущей половины цикла, когда Сатурн находился в фазе наибольшего удаления от Солнца, могло при той же геометрии облучения накопить меньше тепловой энергии. Скорее всего, именно поэтому мы и не наблюдаем полной зеркальной симметрии в широтном ходе поглощения метана, которого следовало бы ожидать, если бы соотношение между фазами наклона экватора планеты и орбитального положения было бы иным.

5. Заключение

Систематические и в достаточной мере однородные по методике наблюдений и обработки исследования характера широтных вариаций молекулярного поглощения в атмосфере Сатурна на протяжении 15 лет были выполнены впервые. Здесь кратко описаны только результаты сопоставления данных для двух «экстремальных» положений Сатурна, когда наклон экватора был близок к нулю и оба полушария планеты находились в одинаковых условиях их видимости. Описание хода поглощения в другие годы также опубликовалось регулярно, но полный анализ всех данных за этот период с привлечением и других оптических характеристик атмосферы Сатурна еще предстоит выполнить в дальнейшем. Следующий полуцикл представляет неменьший интерес для постановки спектральных и других наблюдений, поскольку будет возможность проследить изменения более детально в северном полушарии, которое будет обращено к Солнцу.

Работа выполнена в рамках ПФИ. , шифр Ф.0351-1

ЛИТЕРАТУРА

1. Trafton L.. Saturn: long-term variation of H₂ and CH₄ absorptions.// Icarus, 1977, V.31, N3, P.369-384.

2. Видьмаченко А.П. Сезонные вариации поглощения метана в атмосфере Сатурна.// Астрон.циркуляр АН СССР, 1984, №1331

3. Trafton L.. Long-term changes in Saturn's troposphere./ / Icarus, 1985, V.63, N3, P.374-405.

4. Видьмаченко А.П. Сезонные изменения в атмосфере Сатурна, // Кинематика и физика небесных тел, 1987, №6, С.10-12

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. Teijfel V.G., Kharitonova G.A. Zonal differences of the atmospheric structure on Saturn from the CCD-photometry and spectrophotometry in 1995 and 1996.// European Geophysical Society General Assembly Vienna, 21-25 April 1997, Ann.Geophys.Supp., P. 773

7. Teijfel V.G. Molecular absorption and the possible structure of the cloud layers of Jupiter and Saturn. // J.Atmos.Sci. v.26, N5, 1969, 854-859.

8. Тейфель В.Г., Харитонова Г.А. Исследование распределения поглощения в полосе CH₄ 6190 Å на диске Сатурна. //Астрон.циркуляр АН СССР 1970, №549, С.5-8.

9. Тейфель В.Г., Каримов А.М. Особенности аммиачного поглощения в атмосфере Сатурна. // Известия НАН РК, серия физико-математическая, 2009, №4, С.

10. 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.

Резюме

1995 және 2009 жылдарда Сатурнның экватор мен сақиналар аралығында минималды көрінетін ылдай болғанда метанның жұтылу жолақтарында алынған ПЗС-спектрофотометрия мәліметтері қарастырылды. Жұтылудың ендікті вариацияларында байқалған айырмашылықтар атмосфераның және бүлтты жамылғының құрылымында өзгерістерді шағыласады, олар солтүстік пен онтүстік жарты шарлардың инсоляциясының режимінде маусымды өзгерістермен байланысты.

Summary

The results of CCD-spectrophotometry of Saturn at the methane absorption bands obtained in 1995 and 2009 at minimal tilt of Saturn's equator and rings are briefly described. There were find the significant differences of the latitudinal variations of the absorption bands intensities. They are connected with the changes of the atmosphere and clouds structure due to seasonal variations of the insolation regime in northern and southern hemispheres.

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

Поступила 4.08.2009 г.