

УДК 523.46

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

(Астрофизический институт им.В.Г.Фесенкова)

САТУРН – ЗОНАЛЬНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ В 2013 г.

Аннотация. В апреле-июне 2013 г. выполнен большой цикл спектрофотометрических наблюдений Сатурна как продолжение многолетних исследований планеты с целью изучения сезонных изменений в ее атмосфере. Получено более 2500 ПЗС-спектрограмм, в том числе – зональных, на основе которых выведены широтные вариации поглощения в ряде абсорбционных полос метана. Данный период наблюдений является переходным от равноденствия 2009 г к максимуму наклона экватора Сатурна в 2017 г. Показано, что в северном полушарии Сатурна, наклоненном к Солнцу, на умеренных и высоких широтах поглощение сохраняется практически неизменным и не зависящим от широты.

Ключевые слова: Сатурн, спектрофотометрия, атмосфера, метан, молекулярное поглощение, сезонные вариации.

Тірек сөздер: Сатурн, спектрофотометрия, атмосфера, метан, молекулалық жұтылу, кезеңдік вариациялар.

Keywords: Saturn, spectropotometry, atmosphere, methane, molecular absorption, seasonal variations.

Введение. Несмотря на исключительно успешные исследования планеты Сатурн, ведущиеся уже более десятилетия с находящегося на околопланетной орбите космического зонда «Cassini», роль наземных астрофизических наблюдений этой планеты-гиганта остается по-прежнему значимой, поскольку ряд задач, связанных с изучением нестабильности процессов, происходящих в ее атмосфере, не теряет своей актуальности. Применение современных приемников изображения – ПЗС-матриц существенным образом изменило и расширило возможности астрофизических наблюдений, в том числе и исследований планет по их спектрам (например, [1]) и по фильтровым изображениям в узких спектральных диапазонах [2].

В течение многих лет ежегодно в сезоны видимости Сатурна на обсерватории АФИФ выполняются спектрофотометрические наблюдения планеты так же с применением ПЗС-камер, матрицы которых обеспечивают достаточно широкий спектральный диапазон чувствительности и линейность светопередачи (например, [3]). Основная задача этих наблюдений состоит в поиске и изучении сезонных изменений в ее атмосфере. Такие изменения обусловлены, прежде всего, меняющимся в течение планетного года наклоном экватора к направлению на Солнце (рисунок 1а) а также и переменностью расстояния Сатурна от Солнца (рисунок 1б).

В конце 2008 – начале 2009 гг. плоскость экватора и колец Сатурна была ориентирована ребром к Солнцу и Земле. Такая конфигурация предоставляет редкую, повторяющуюся лишь раз в 15 лет возможность наблюдать оба полушария планеты в одинаковых условиях освещения Солнцем и видимости. В настоящее же время планета наклоняется к Солнцу своим Северным полушарием, причем продолжает удаляться от Солнца. Соответственно меняется уровень инсоляции полушарий, причем южное еще и экранируется кольцами. Максимального наклона Северного полушария и наибольшего удаления от Солнца Сатурн достигнет в 2016–2018 годы.

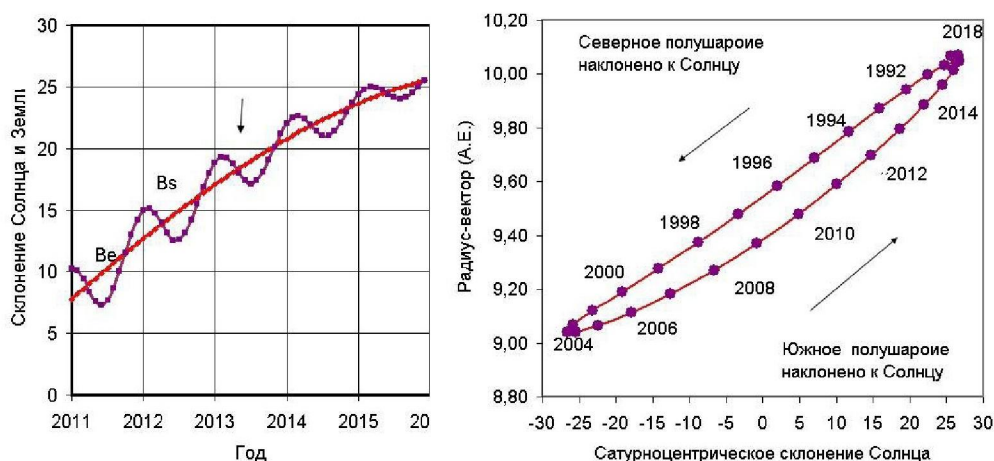


Рисунок 1 – а – Изменение сатурноцентрического склонения Солнца (Bs) и Земли (Be), б – Изменение наклона экватора Сатурна к направлению на Солнце и гелиоцентрическоно расстояния в течение одного орбитального периода

Наблюдения 2013 года – методика и аппаратура. В апреле-июне 2013 г. был проведен большой цикл спектральных наблюдений Сатурна с помощью дифракционного спектрографа с ПЗС-камерой ST-7XE на 0.6-м телескопе. В этот период было получено более 2500 спектрограмм, в том числе спектров отдельных зон планеты при сканировании диска Сатурна от южного лимба до северного. Щель спектрографа при этом была ориентирована параллельно большой оси кольца.

По измерениям этих спектрограмм построены атласы профилей молекулярных полос поглощения метана, и оценены значения их центральных глубин и эквивалентных ширин для разных широт.

Таблица 1 - Данные о спектрофотометрических наблюдениях Сатурна в 2013 г.

N	Дата	Время Tw = Tзимн	Эксп, сек	De''	Dp''	Be	Phase Angle	Число файлов
1	07.04.2013	17.09 - 2.24	20	18.8	16.8	18.6	-2.148	204
2	10.04.2013	0.44 - 2.44	20	18.8	16.8	18.6	-1.94	148
3	11.04.2013	0.27 - 2.12	20	18.8	16.8	18.6	-1.847	132
4	12.04.2013	0.0 - 1.22	20	18.8	16.8	18.5	-1.747	126
5	21.04.2013	23.30 - 1.01	20	18.9	16.9	18.3	-0.832	127
6	22.04.2013	23.49 - 1.23	20	18.9	16.9	18.3	-0.732	129
7	04.05.2013	23.17 - 0.12	20	18.9	16.9	18.0	0.665	72
8	05.05.2013	22.15 - 22.41	20	18.9	16.9	18.0	0.764	26
9	06.05.2013	22.05 - 0.16	20	18.9	16.9	18.0	0.864	208
10	14.05.2013	23.22 - 0.55	20	18.8	16.8	17.8	1.678	136
11	15.05.2013	22.16 - 23.48	20	18.8	16.8	17.8	1.779	145
12	17.05.2013	23.23 - 23.59	20	18.8	16.8	17.7	1.979	60
13	22.05.2013	21.31 - 23.09	20	18.7	16.8	17.6	2.468	142
14	27.05.2013	23.07 - 23.59	20	18.6	16.7	17.5	2.937	77
15	28.05.2013	21.20 - 23.01	20	18.6	16.7	17.5	3.028	179
16	29.05.2013	21.31 - 23.00	20	18.6	16.7	17.5	3.118	142
17	30.05.2013	21.34 - 23.00	20	18.6	16.6	17.5	3.206	136
18	31.05.2013	21.21 - 23.10	20	18.6	16.6	17.5	3.294	153
19	07.06.2013	21.19 - 20.50	20	18.4	16.5	17.3	3.876	158
20	08.06.2013	21.26 - 22.50	20	18.4	16.5	17.3	3.954	129
21	09.06.2013	21.15 - 23.09	20	18.4	16.5	17.3	4.031	163

Каждый скан состоял из приблизительно из 80-90 спектрограмм, о положении которых на диске можно судить по относительной интенсивности в построенном по величинам максимальной яркости в длине волны 670 нм профиле центрального меридиана Сатурна.

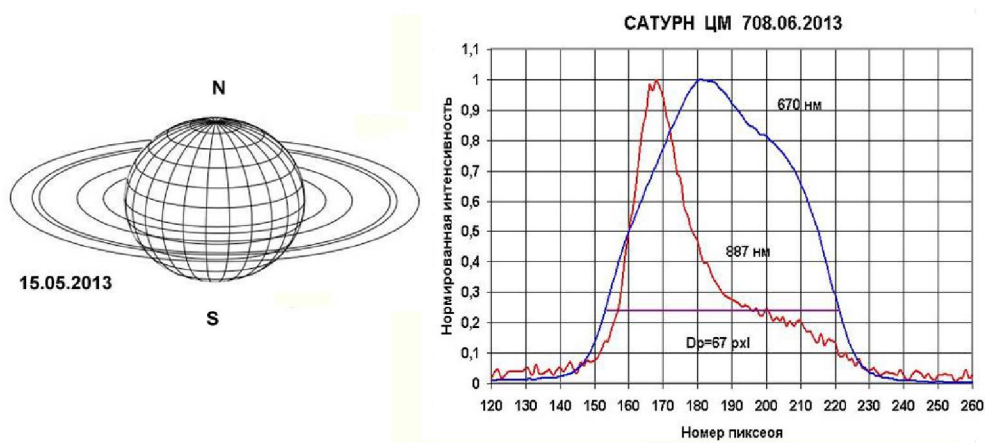


Рисунок 2 – а - Конфигурация диска и колец Сатурна в мае 2013 г. б - Профили яркости центрального меридиана Сатурна в 2013 г. в непрерывном спектре нВ 670 нм и в полосе поглощения СН4 887 нм

На рисунке 2 показан вид Сатурна и ориентация его кольца в период наблюдений. на правом графике представлено сравнение профилей центрального меридиана Сатурна в непрерывном спектре (670 нм) и в центре сильной полосы поглощения метана 887 нм. По нему можно видеть, насколько ослаблена яркость диска планеты по сравнению с кольцом.

Обработка спектрограмм и предварительные результаты. Спектрограммы измерялись вдоль дисперсии во всем интервале длин волн 580-900 нм. Объектом сравнения и привязки для исключения теллурических поглощений служило кольцо на спектрах, где щель пересекала его по большой оси. По измерениям зональных спектрограмм строились профили полос поглощения в виде атласов профилей и вычислялись эквивалентные ширины и центральные глубины полос поглощения метана после их нормирования к непрерывному спектру, интерполированному в области полосы поглощения.

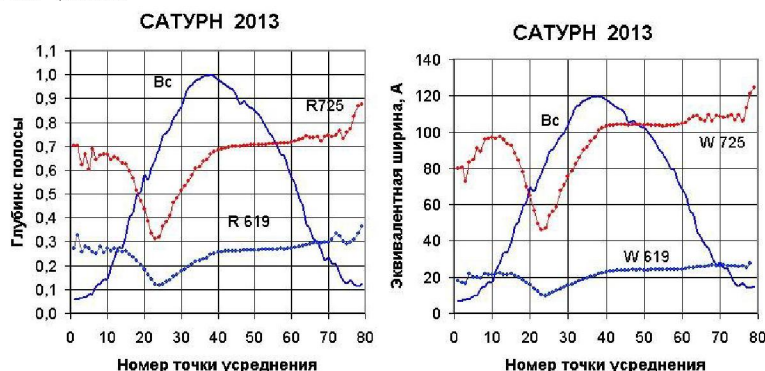


Рисунок 3 – Меридиональный ход (S – N) центральных глубин и эквивалентных ширин полос поглощения CH₄ 619 и 725 нм на Сатурне в 2013 г. по спектральным сканам

На рисунке 4 сравнивается построенный в логарифмическом масштабе широтный ход эквивалентных ширин двух полос поглощения CH₄ 619 и 725 нм, полученный по индивидуальному скану (левый график) и усредненный по всем сканам за сезон наблюдений. Можно видеть, что различия не велики, что подтверждается и величинами стандартных отклонений (среднеквадратические погрешности), показанными на правом графике. Южное полушарие Сатурна в значительной степени экранируется кольцом, поэтому сейчас сравнение полушарий оказывается невозможным – резкий спад поглощения создается именно за счет этого экранирования, хотя в экваториальном поясе Сатурна все годы наблюдается пониженное поглощение метана, обусловленное повышенной плотностью облачного слоя или повышением его верхней границы. Интересно, что в северном полушарии не наблюдается значительных изменений поглощения с широтой, несмотря на меняющиеся с широтой значения углов падения и отражения. Это, скорее всего, должно быть связано с особенностями формирования полос поглощения метана в рассеивающей облачной среде и в надоблачном чисто газовом слое.

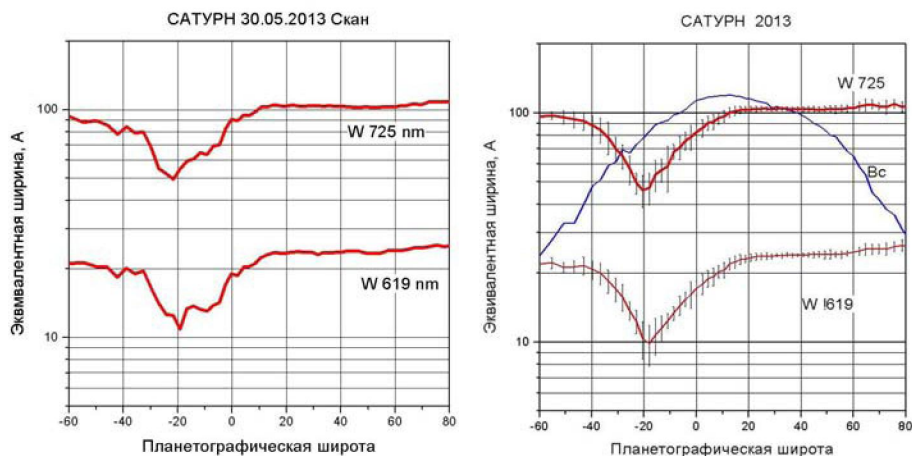


Рисунок 4 – Сравнение широтных вариаций эквивалентных ширин полос поглощения CH₄ 619 и 725 нм по индивидуальному сканированию 30–31 мая 2013 г. и по сканам за весь сезон наблюдений 2013 г.

Основное внимание привлекает сейчас северное полушарие Сатурна, обращенное к Солнцу. Полярные области Сатурна обнаруживают необычные свойства в динамике атмосферной циркуляции: на обоих полюсах наблюдаются мощные вихри, причем в южном полушарии вихрь имеет обычную круговую форму, в Северном же полушарии очертания вихря имеют форму шестиугольника [4]. С другой стороны, наблюдения вблизи равноденствия на Сатурне в 1995 г., когда оба полушария были одинаково освещены, наблюдалась хорошо выраженная асимметрия в величинах интенсивности полос поглощения метана – значительными различиями между Южным и Северным полушариями [5]. В равноденствие 2009 г. такие различия отсутствовали, но отношение эквивалентных ширин относительно слабой полосы CH4 619 нм умеренной полосы CH4 725 нм было меньше в Южном полушарии, чем в Северном ([6] и рисунок 5а). Сейчас же Южное полушарие почти недоступно наблюдению, так что об этом же отношении можно судить только для Северного полушария (рисунок 5б).

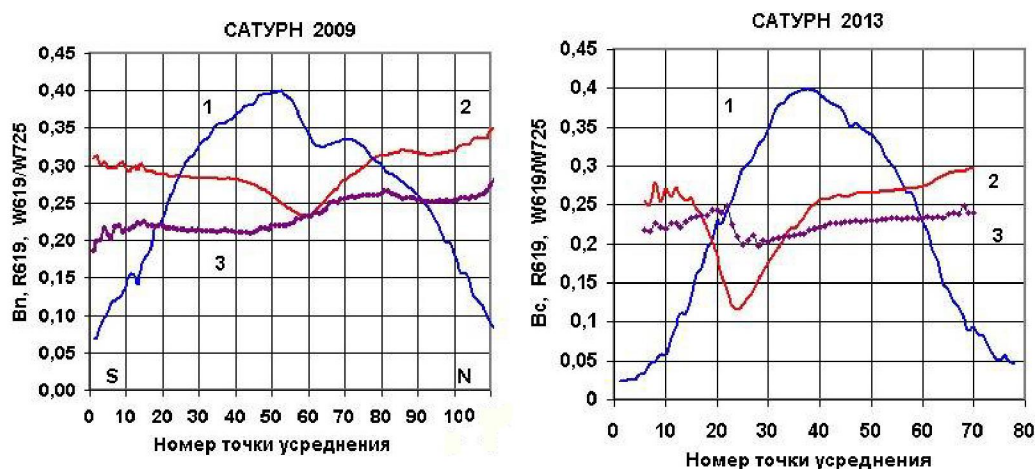


Рисунок 5 – Изменение отношения эквивалентных ширин полос поглощения CH4 619 и 725 нм вдоль центрального меридиана Сатурна в 2009 г и в 2013 г.
1 – ход яркости в непрерывном спектре, 2 – ход глубины полосы CH4 619 нм, 3 – ход отношения W619 /W725

Заключение. В предыдущие годы, когда угол склонения Солнца был меньше в области умеренных широт северного полушария наблюдалась заметная депрессия поглощения. Наблюдаемые изменения в широтном ходе поглощения могут быть связаны с увеличением притока солнечной радиации к северному полушарию, которое, однако, в определенной степени компенсируется увеличением гелиоцентрического расстояния. Предстоящие сезоны видимости Сатурна в 2014-2017 гг. представляют особый интерес для дальнейших исследований, поскольку придется на максимум наклона экватора планеты, достигающего 27 градусов. Это достаточно редкое событие, – для каждого полушария оно повторяется лишь раз в 30 лет.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Moreno F., Molina A., Ortiz J. L. CCD spectroscopic Observations of Saturn, Uranus, Titan during the 1990 apparitions // Icarus. – 1991. – V.93. – P.88-95.
- 2 Karkoschka, E., Tomasko, M., Saturn's vertical and latitudinal cloud structure 1991–2004 from HST imaging in 30 filters.// Icarus. – 2005. – V.179. – P.195–221.
- 3 Teifel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A. Spectrophotometric study of Saturn's atmosphere during a 16-year period (1995–2010) // Astronomical and Astrophysical Transactions – 2013. – V. 28. – P.121-134.
- 4 Godfrey A. [A hexagonal feature around Satum's north pole](#) // Icarus. – 1988. – V. 76. – P. 335-356.

5 Tejfel' V.G. Распределение молекулярного поглощения по диску Сатурна по наблюдениям в 1995 г. на основе зональной спектрофотометрии с ПЗС-камерой. Результаты наблюдений // *Астроном. вестник РАН* – 1997. – Т.31. – N 3. – С.222-231, *Solar System Res.* – 1997. – V.31. – N 3. – P.198-206.

6. Tejfel V.G. , Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A Saturn CCD-spectrophotometry in 2009 and 2010 – a comparison of near and post-equinox latitudinal distribution of molecular absorption // *European Planetary Science Congress-2010.* – Abstr. # EPSC. – 2010. – 322. – P.34-35.

REFERENCES

- 1 Moreno F., Molina A., Ortiz J. L. *Icarus* , **1991.** – 93, 88-95.
- 2 Karkoschka, E., Tomasko, M., *Icaru*, **2005.** – 179, 195–221.
- 3 Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A...*Astronomical and Astrophysical Transactions* , **2013.** – 28, 121-134.
- 4 Godfrey A. *Icarus*, **1988.** – 76, 335-356.
- 5 Tejfel' V.G. *Astron. Vestnik RAN*, **1997.** – 31, N3, 222-231 (in Russian), *Solar System Res.*, **1997.** – 31. – N 3. –198-206.
- 6 Tejfel V.G. , Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A Saturn CCD-. *European Planetary Science Congress*, **2010.** – Abstr. # EPSC 2010. – 322, 34-35.

Резюме

А. М. Каримов, П. Г. Лысенко, В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова

(«В.Г.Фесенков Астрофизический институт» ЕЖШС, Алматы)

САТУРН – ЗОННАЛЬНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ В 2013 г.

В апреле-июне 2013 г. выполнен большой цикл спектрофотометрических наблюдений Сатурна как продолжение многолетних исследований планеты с целью изучения сезонных изменений в ее атмосфере. Получено более 2500 ПЗС-спектрограмм, в том числе – зональных, на основе которых выведены широтные вариации поглощения в ряде абсорбционных полос метана. Данный период наблюдений является переходным от равноденствия 2009 г к максимуму наклона экватора Сатурна в 2017 г. Показано, что в Северном полушарии Сатурна, наклоненном к Солнцу, на умеренных и высоких широтах поглощение сохраняется практически неизменным и не зависящим от широты.

Резюме

А. М. Каримов, П. Г. Лысенко, В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова

(«В.Г.Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы қ.)

2013 ж. – САТУРН АЙМАҚТЫҚ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯСЫ

2013 ж – сәуір – маусым айларында Сатурнға спектрофотометрлік бақылау жүргізудің үлкен бір кезеңі орындалды, бұл оның атмосферадағы мерзімдік өзгерістерін зерттеу мақсатындағы көпжылдық зерттеулердің жалғасы болып табылады. 2500-ден аса ПЗС-спектрограмма алынды,оның ішінде метан жолағын сіңіру қатарындағы ендік жұтылу вариациясы негізінде шығарылған зоналық спектрограмма да бар. Бұл бақылған кезең 2009 ж. Күн мен түннің теңесуінен 2017 ж. Сатурн экваторы көлбеу максимумы арасындағы өтпелі кезең болып табылады.Күнге қарай көлбеуленген Сатурнның солтүстік жартышарында біркелкі және жоғарғы ендікте жұтылу өзгеріссіз және ендікке тәуелсіз сақталатыны көрсетілген.

Тірек сөздер: Сатурн, спектрофотометрия, атмосфера, метан, молекулалық жұтылу, кезеңдік вариациялар.

Summary

A. M. Karimov P. G. Lyssenko, V. G. Tejfel, G. A. Kharitonova

SATURN – ZONAL SPECTROPHOTOMETRY IN 2013

In April-June 2013 a large series of spectrophotometric observations of Saturn were carried out as a continuation of long-term researches of the planet in order to study the seasonal changes in its atmosphere. There were recorded more than 2500 CCD- spectrograms, including zonal spectra, which are derived on the study of latitudinal variations in the intensity of some methane absorption bands. This observation period is a transition from the equinox of 2009 to a maximum inclination of Saturn's equator in 2017 and it shows that Saturn's northern hemisphere tilted toward the Sun. The latitudinal variations of the methane absorption in the northern hemisphere were insignificant during this period.

Поступила 2014 г.