

УДК 523.46

В.Г.ТЕЙФЕЛЬ , А.М. КАРИМОВ

## ОСОБЕННОСТИ АММИАЧНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ САТУРНА

При исследованиях широтных вариаций молекулярного поглощения на Сатурне в 2006-2009 гг. обнаружен аномальный рост в северном полушарии эквивалентной ширины полосы поглощения, занимающей интервал длин волн 630-680 нм. Показано, что это связано с наличием поглощения газообразного аммиака, которое также возрастает в северном полушарии, как и поглощение метана.

Вопрос о наличии в спектре Сатурна полос поглощения аммиака в видимой области спектра долгое время оставался предметом дискуссий. Если на спектрограммах Юпитера полосы аммиака выделялись достаточно четко, то у Сатурна они казались лежащими на пределе обнаружения, тем более, что они терялись внутри усиленных по сравнению с юпитерианскими полос поглощения метана. Ситуация усугублялась тем, что из-за более низкой, чем у Юпитера, температуры атмосферы Сатурна значительно большая часть газообразного аммиака должна вымерзнуть, превратившись в кристаллы, образующие видимый облачный покров планеты. По существующим оценкам относительное содержание аммиака в атмосфере Сатурна составляет  $C(NH_3) < 1 \cdot 10^{-4}$ , тогда как у Юпитера оно по крайней мере в 7 раз выше:  $C(NH_3) < 7 \cdot 10^{-4}$  [1]. В надоблачной атмосфере относительное содержание должно быть на несколько порядков меньше [2-4].

Тем не менее, спектральные наблюдения, например [5-7], констатируют наличие в спектре Сатурна слабой полосы поглощения аммиака, центрированной на длину волны 647 нм, хотя никаких данных о ее поведении в разных участках диска Сатурна получено не было. Есть указания на то, что в экваториальной области Сатурна линии поглощения аммиака в ИК-области спектра – вблизи длины волны 5 мкм – слабее, чем наблюдавшиеся на средних широтах южного полушария [8,9], обращенного к Солнцу вperi-

од наблюдений, выполнявшихся на инфракрасном телескопе NASA.

При исследованиях широтных вариаций молекулярных полос поглощения на диске Сатурна в 2007-2009 гг., когда с уменьшением наклона экватора и кольца Сатурна становилось доступным обзору северное полушарие планеты, мы обратили внимание на несколько необычный ход поглощения в полосе, условно обозначаемой как полоса метана 670 нм. Тогда как изменение с широтой глубины полосы  $R_v = 1 - I_v / I_c$  (где  $I_v$  – интенсивность в полосе, а  $I_c$  – интенсивность в непрерывном спектре) в этой длине волн проходит аналогично ходу глубин других относительно слабых полос 702 нм и 619 нм (рис.1), эквивалентная ширина полосы 670 нм в северном полушарии возрастает сильнее, чем у других полос (рис.2). Резонно было предположить, что кроме метанового поглощения здесь заметно сказывается поглощение аммиака, поскольку полоса 670 нм фактически состоит из двух смыкающихся полос: коротковолновая часть полосы в интервале длин волн 630-655 нм, центрированная на 647 нм, принадлежит аммиаку, а длинноволновая часть в интервале 650-680 нм с максимальным поглощением на 670 нм – метану. Конечно, такое разделение несколько произвольно, так как полоса поглощения метана частично перекрываеться с аммиачной в своем коротковолновом крыле.

Согласно лабораторным измерениям полоса поглощения  $NH_3$  647 нм состоит из множества

Таблица. Сравнение эквивалентных ширин полосы поглощения 670 нм  
в северном и южном полушариях Сатурна

Область	W(S)	W(N)	W(N)/W(S)
Вся полоса 6332-6777 А	34.5	52.70	1.53
NH <sub>3</sub> 6332-6542 А	4.50	7.38	1.64
CH <sub>4</sub> 6589-6777 А	8.74	11.08	1.27

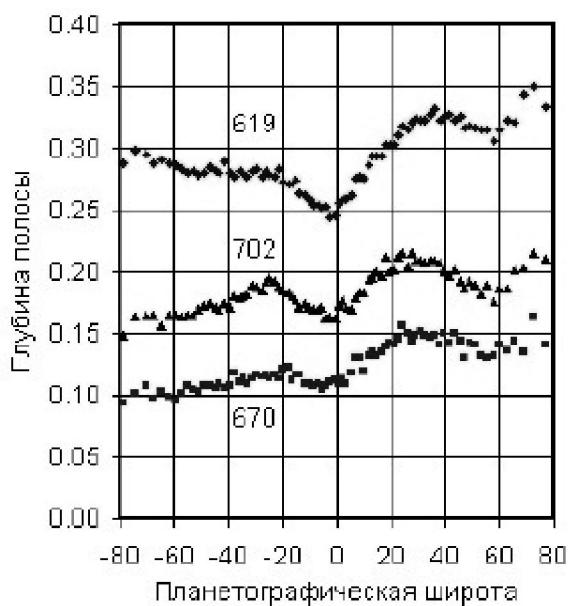


Рис. 1. Широтные вариации центральных глубин полос поглощения 619, 670 и 702 нм

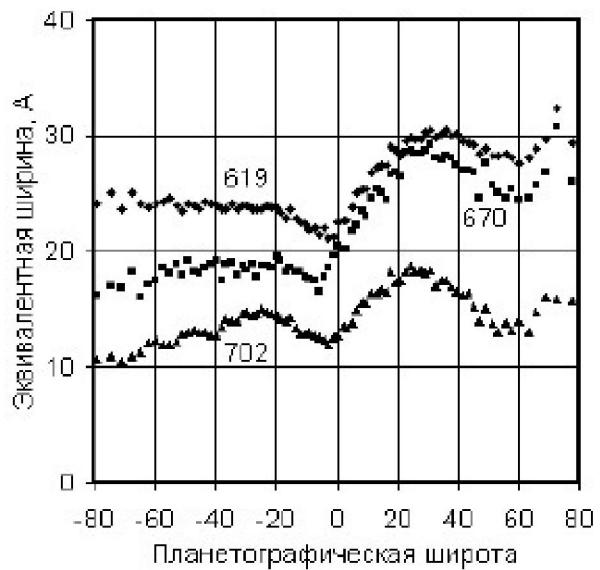


Рис.2. Широтные вариации эквивалентных ширин полос поглощения 619, 670 и 702 нм

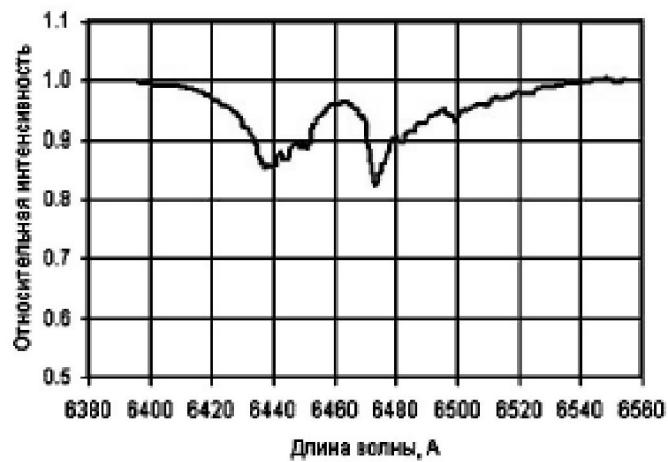
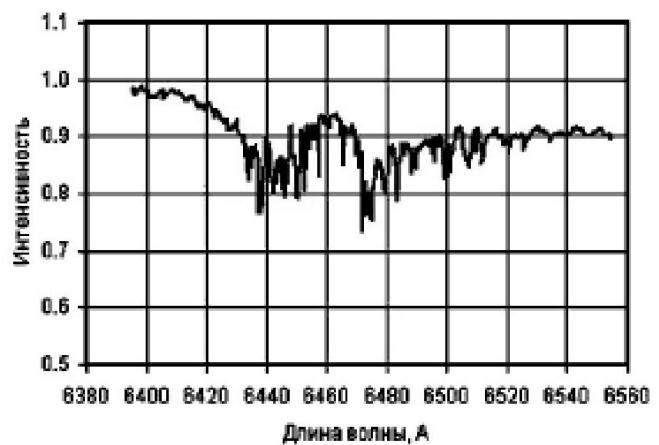


Рис.3. Лабораторный профиль полосы поглощения аммиака NH<sub>3</sub> 643 нм .  
Вверху –оригинал, внизу – сглаженный скользящим усреднением.

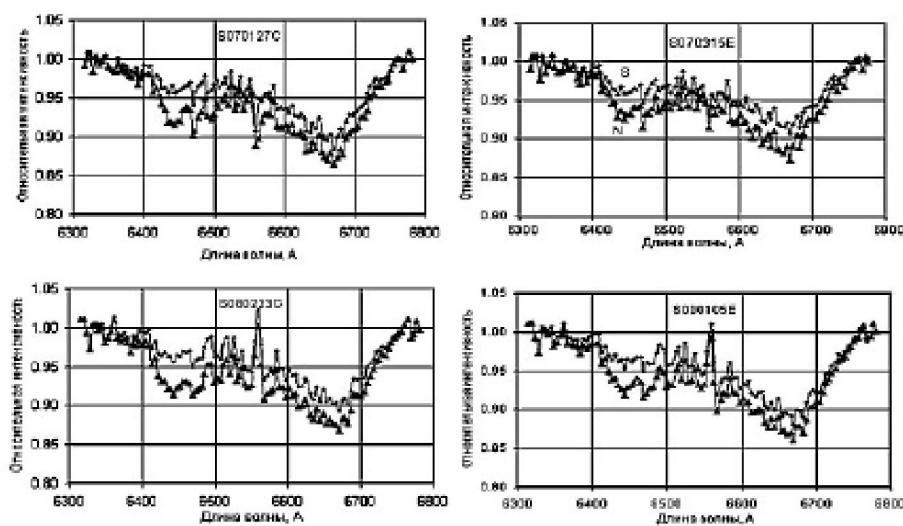


Рис.4. Профили комбинированной полосы 670 нм ( $\text{NH}_3 + \text{CH}_4$ ) 670) в южном и северном полушариях Сатурна по наблюдениям в 2007, 2008 и 2009 гг.

вращательных линий, которые не разрешаются полностью на полученных спектрограммах. На рисунке 3 показаны нормированные к уровню непрерывного спектра лабораторный профиль полосы (а) и сглаженный скользящим усреднением профиль (б). Лабораторный спектр этой полосы [10] был получен при следующих условиях: длина оптического пути 36 м, давление 1 атм и температура 294 К.

Полоса занимает область длин волн 638–656 нм, так что именно этот участок спектра ответственен за наблюдавшееся дополнительное поглощение.

Исследование профиля всей комбинированной полосы  $\text{NH}_3 + \text{CH}_4$  показало, что действительно в северном полушарии она усиlena по сравнению с южным полушарием, что иллюстрируется рисунком 4, где изображены профили полосы по наблюдениям в 2007, 2008 и 2009 гг. Наблюдения были выполнены на 0.6-м телескопе с помощью дифракционного спектрографа SGS с ПЗС-камерой ST-7XE (разрешение 4.3 Å/пиксель). Профили показывают, что в области поглощения аммиака полоса в северном полушарии увеличена сильнее, чем в области поглощения метана, как видно также из рисунка 5, где даны усредненные по нескольким сериям измерений профили и их отношение. Последнее изображено на графике с аддитивным сдвигом вниз на 0.3, чтобы избежать перекрытия с профилями. Видно, что отношение N/S( $\text{NH}_3$ ) меньше отношения N/S ( $\text{CH}_4$ ), указывая на дополнительное усиление

поглощения, вызванное аммиаком, в северном полушарии. Это же иллюстрируется таблицей, где приведены значения эквивалентных ширин и их отношения отдельно для коротковолновой и длинноволновой частей полосы, т.е. для ее аммиачной и метановой составляющих.

Если бы аммиачное поглощение не увеличивалось в северном полушарии, эквивалентная ширина полосы возрастала бы так же, как и другие. Из таблицы же видно, что в области аммиачной полосы поглощение в северном полушарии больше южного примерно на 60 процентов, тогда как поглощение метана увеличивается лишь на 25–30 процентов. То, что для глубины полосы аномального роста не наблюдается, объясняется тем, что глубина вычислялась для длины волны 670 нм, т.е. для максимума поглощения метана вне аммиачной полосы. Обнаруживаются еще две особенности в ходе поглощения аммиака (рисунок 6) по сравнению с поглощением метана.. Усиление поглощения  $\text{NH}_3$  в северном полушарии происходит круче, чем в метановой составляющей полосы, а минимумы поглощения  $\text{CH}_4$  и  $\text{NH}_3$  смешены относительно друг друга.

Описанные особенности – различие хода аммиачного и метанового поглощения в двух полушариях Сатурна – отмечаются, по-видимому, впервые, хотя измерения долготных и широтных вариаций аммиачных линий выполнялись и ранее [11,12], но не в период, когда оба полушария были одинаково доступны наблюдениям. Причина широтной зависимости интенсивности полос

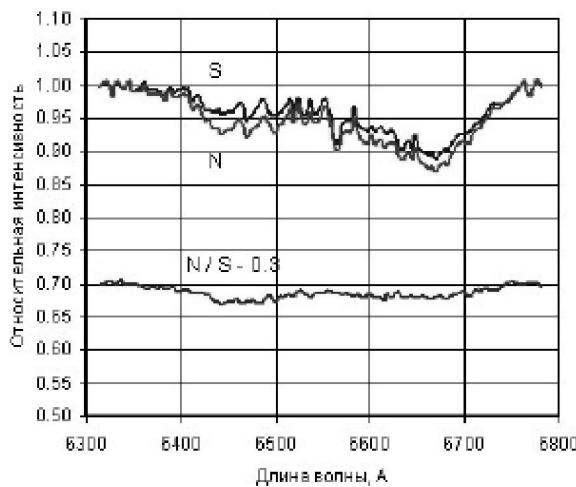


Рис.5. Средние профили комбинированной полосы 670 нм в южном и северном полушариях Сатурна и их отношение (показано со сдвигом вниз на 0.3 по шкале интенсивностей)

молекулярного поглощения для метана и аммиака, вообще говоря, может быть различной. Метан не конденсируется в атмосфере Сатурна, поэтому относительная концентрация  $\text{CH}_4$  и ее высотное распределение не должны существенно зависеть от широты и долготы. Наблюдаемые вариации поглощения метана связаны с вариациями структуры (высоты, объемной плотности, размеров частиц) облачных слоев планеты. Верхний облачный покров Сатурна состоит из кристаллов замерзшего аммиака, так что соотношение между концентрациями твердого и газообразного  $\text{NH}_3$  должно определяться температурным режимом соответствующего широтного пояса планеты. Поэтому для дальнейшей интерпретации наблюдаемых особенностей необходимо иметь данные измерений широтных вариаций теплового инфракрасного излучения, выполненных в этот же период.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tholen D.J., Teijel V.G., Cox A.N.. Planets and satellites. // Chapter 12 in Handbook "Allen's Astrophysical Quantities", A.Cox ed., Springer, 1999, P.293-313.
2. Atreya S. K., Kuhn W. R., Donahue T. M. Saturn-tropospheric ammonia and nitrogen //Geophysical Research Letters, 1980, V. 7, P. 474-476
3. Woodman J.H., Trafton L., Owen T. . The abundances of ammonia in the atmospheres of Jupiter, Saturn and Titan.// Icarus, 1977, V.32, N3, P.314-320.

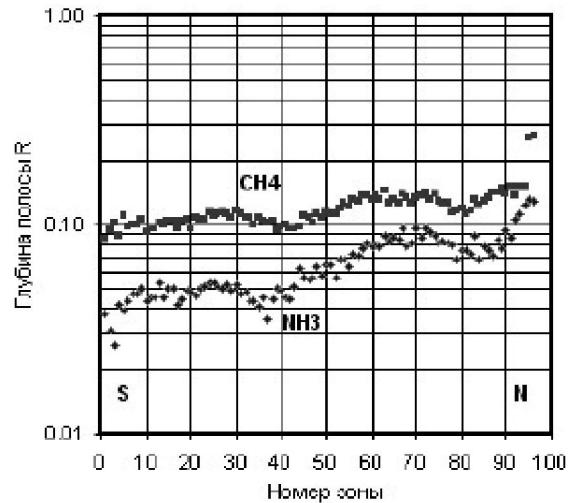


Рис.6. Широтный ход глубин в полосе поглощения в длинах волн 643 нм ( $\text{NH}_3$ ) и 668 нм ( $\text{CH}_4$ )

4. Тейфель В.Г. О содержании метана и аммиака в атмосфере Сатурна.// Письма в АЖ, 1976, Т.2, № 12, С.584-588..

5. Бугаенко Л.А., Галкин Л.С., Мороженко А.В. Спектрофотометрические исследования планет-гигантов.// Астрон. журнал, 1971, Т.48, №3, С.602-606.

6. Dlugach, J. M., Morozhenko, A. V., Vid'Machenko, A. P., Yanovitskij, E. G. Investigations of the optical properties of Saturn's atmosphere carried out at the Main Astronomical Observatory of the Ukrainian Academy of Sciences // Icarus, 1983 ,V. 54, P. 319-336.

7. Smith W.H., Macy W., Cochran W. Ammonia in the atmospheres of Saturn and Jupiter.// Icarus, 1980, V.42, N1, P.93-101.

8. Bjoraker, G., Chanover, N., Glenar, D., Hewagama, T. Ammonia, Phosphine, and Cloud Structure On Saturn Derived From 5-micron Spectra // Bulletin of the American Astronomical Society, 2006, V. 38, P.488

9. Fink, U., Larson, H. P., Bjoraker, G. L., Johnson, J. R. The  $\text{NH}_3$  spectrum in Saturn's 5 micron window.// Astroph. J., 1983, Part 1, V. 268, P. 880-888.

10. Giver L.P., Miller J.H., Boese R.W. A laboratory atlas of the  $5\nu_1 \text{NH}_3$  absorption band at 6475 Å with applications to Jupiter and Saturn.// Icarus, 1975, V.25, P.34-48.

11. Cochran A.L., Cochran W.D.. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Saturn. // Icarus, 1981, V.48, N3, P.488-495.

12. Moreno, F., Molina, A. Simultaneous high and moderate spectroscopic observations of Saturn at selected locations on the disk in the 6000-6825 Å region //Astron. and Astrophys., 1990,V. 230, N. 2, P. 479-488.

#### Резюме

Сатурндағы молекулалық жұтылудың ендікті вариацияларын зерттеумен осы планетаның солтүстік жарты шарында 630-680 нм толқын ұзындықтың аралығында орын алғынған жұтылу жолақтың баламалы енінің ано-

маль өсуін байқалды. Осы газ тәрізді аммиактың жұтылуын бар болуымен байланысты, сонымен қатар солтүстік жарты шарында метан жұтылу секілді ол да оседі деп көрсетілген.

### **Summary**

During the research of the molecular absorption latitudinal variations on Saturn in 2006-2009 the unusual growth of

equivalent width of the absorption band at the wavelengths range 630-680 nanometers in Northern hemisphere have been found. It is shown that it is connected with presence of gaseous ammonia absorption which also increases in Northern hemisphere, as well as the absorption of methane.

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

*Поступила 14.06.2009 г.*