

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 91 – 96

V.G.Teifel, A.M. Karimov, G.A. KharitonovaFessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
e-mail: tejf@mail.ru**THE AMMONIA ABSORPTION ON SATURN – AN ASYMMETRY
OF LATITUDINAL VARIATIONS AT THE 2009 EQUINOX**

Abstract. We have conducted a comparative analysis of the behavior of the absorption bands of ammonia and methane in the northern and southern hemispheres of Saturn during the Equinox of 2009, when both hemispheres of the planet were in the same insolation conditions and visibility from the Earth. In contrast to the moderate intensity of the absorption band CH_4 725 nm the weak methane bands show the some increasing in the northern hemisphere, and the asymmetry in the latitudinal absorption during enhanced with decreasing intensity of the band. The absorption of ammonia NH_3 645 nm band shows the greatest asymmetry. This can be seen as evidence of the differences in the degree of vertical heterogeneity of the cloud layer in the northern and southern hemispheres of Saturn.

Keywords: Saturn, atmosphere, clouds, methane, ammonia, molecular absorption.

УДК 523.46

В.Г.Тейфель, А.М.Каримов, Г.А.Харитонов

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

**АММИАЧНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ НА САТУРНЕ - АСИММЕТРИЯ
ШИРОТНЫХ ВАРИАЦИЙ В ПЕРИОД РАВНОДЕНСТВИЯ 2009 ГОДА**

Аннотация: Выполнен сравнительный анализ поведения полос поглощения метана и аммиака в северном и южном полушариях Сатурна в период равноденствия 2009 года, когда оба полушария планеты находились в одинаковых условиях освещения и видимости с Земли. В отличие от умеренной по интенсивности полосы поглощения CH_4 725 нм слабые полосы метана обнаруживают усиление в северном полушарии, причем асимметрия в широтном ходе поглощения усиливается с уменьшением интенсивности полосы. Поглощение в полосе аммиака NH_3 645 нм показывает наибольшую асимметрию. Это можно рассматривать как свидетельство различий в степени вертикальной неоднородности облачного слоя в северном и южном полушариях Сатурна.

Ключевые слова: Сатурн, атмосфера, облака, метан, аммиак, молекулярное.

Введение. По сравнению с Юпитером относительное содержание аммиака в атмосфере Сатурна существенно понижено. Поэтому полосы поглощения NH_3 в видимой области спектра Сатурна крайне слабы и к тому же перекрываются с более интенсивными полосами поглощения метана. Полосу NH_3 787 нм почти невозможно выделить на фоне относительно мощной двойной полосы поглощения CH_4 . Другая полоса NH_3 645 нм попадает на относительно слабое коротковолновое крыло полосы CH_4 , максимум которой приходится на длину волны около 667 нм. В атмосферах Юпитера и Сатурна аммиачное поглощение формируется только внутри облачного слоя при многократном рассеянии на облачных частицах (кристаллах замерзшего аммиака). В надоблачной зоне тропосферы аммиак практически полностью вымерзает и не создает дополнительного поглощения, в отличие от метана, который не конденсируется при температуре тропосфер обеих планет. Кроме того, вертикальное распределение относительной концентрации

аммиака внутри облачного покрова обеих планет может быть разным в зависимости от температурного режима на разных широтах. Концентрация же метана по высоте просто следует барометрической формуле. Поэтому исследование пространственно-временных вариаций поглощения аммиака, как и метана, представляет вполне определенный интерес для изучения структуры и изменчивости облачных слоев планет-гигантов.

В 2009 году состоялось повторяющееся всего раз в 15 лет равноденствие на Сатурне, когда плоскость его колец и экватора была ориентирована ребром в направлении к Солнцу и Земле. В это время представляется возможность исследовать оба полушария Сатурна (северное и южное) в одинаковых условиях их видимости и освещения Солнцем. Однако, необходимо иметь в виду, что при этом состояние атмосферы в северном и южном полушарии может быть не вполне идентичным в силу различия в режимах из инсоляции в период предшествовавший равноденствию. В течение нескольких лет перед равноденствием 2009 года Сатурн находился на наименьших расстояниях от Солнца и к Солнцу было наклонено южное полушарие планеты. Перед предыдущим равноденствием 1995 года Сатурн находился на наибольшем удалении от Солнца и обращен был к нему северным полушарием. Соответственно, и приток солнечной энергии был наименьшим [1,2]. Видимо, именно в результате этого широтные вариации поглощения метана, наблюдавшиеся в оба последних равноденствия, показали значительное различие

[3,4]. В предыдущей публикации [5] было обращено внимание на то, что в 2009 году в период равноденствия наблюдалось заметное различие аммиачного поглощения в полосе 645 нм между южным и северным умеренными поясами широт. Поэтому целесообразно сделать более детальное исследование этой особенности в сравнении с тем, что наблюдается у полос поглощения метана.

Вариации поглощения CH_4 . На рисунке 1 показаны графики изменения с широтой глубин (R) и эквивалентных ширин (W) полос поглощения метана по измерениям серий зональных спектров, полученных во время наблюдений Сатурна в 2009 году. Графики построены в логарифмическом масштабе, чтобы можно было легче сравнивать относительное изменение разных по интенсивности полос поглощения.

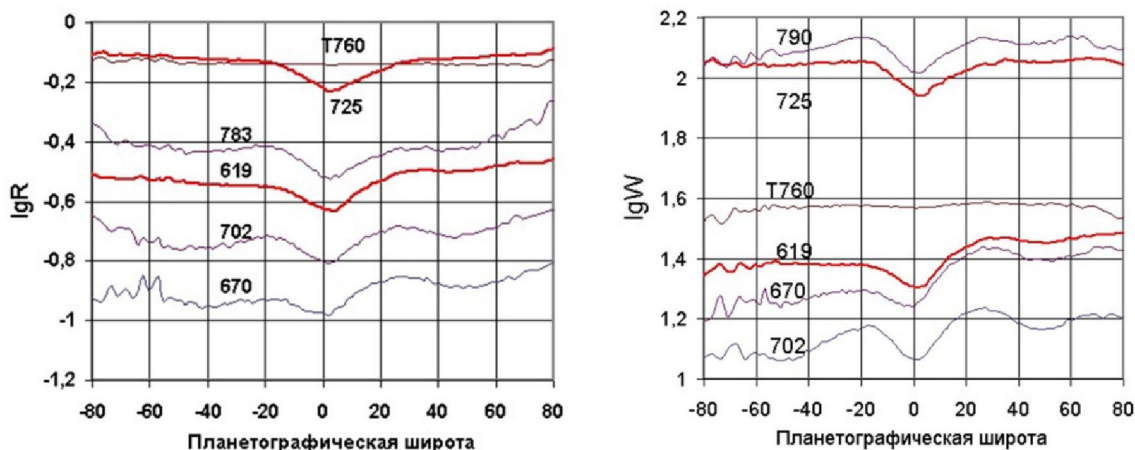


Рисунок 1 -Изменение с широтой центральных глубин и эквивалентных ширин полос поглощения метана на Сатурне в 2009 г.

Для того, чтобы быть уверенными в реальности наблюдаемого широтного хода поглощения одновременно измерялись характеристики теллурической полосы поглощения кислорода O_2 760 нм, поглощение в которой не связано с атмосферой Сатурна и не должно меняться по диску планеты.

Наиболее заметная особенность на графиках – это депрессия поглощения в поясе низких широт – в экваториальной области Сатурна. Эта депрессия характерна для Сатурна и отмечалась многими наблюдателями в разные периоды видимости планеты, например, в прежних работах [7-9]. Пониженное поглощение в экваториальном поясе Сатурна может быть интерпретировано как результат повышение эффективной верхней границы облачного покрова. Но может быть и другое объяснение, связанное с формированием полос молекулярного поглощения внутри оптически

толстого облачного слоя при многократном рассеянии. Известно, что в экваториальном поясе на Сатурне наблюдается максимальная скорость зональной циркуляции, достигающая 500 м/с, что в 4 раза превосходит аналогичную скорость в экваториальном поясе Юпитера. То, что и слабые полосы поглощения показывают депрессию на низких широтах Сатурна, свидетельствует в пользу увеличения плотности облаков, хотя и оба фактора могут действовать одновременно, включая повышение верхней границы облаков.

Еще одна особенность, видимая на графиках, это различие в величинах характеристик полос поглощения в умеренных широтах южного и северного полушарий, которое заметно у слабых полос, но практически отсутствует у более сильной (умеренной) полосы CH_4 725 нм. В таблице 1 приведены средние значения эквивалентных ширин полос поглощения для умеренных широт южного (W_s) и северного (W_n) полушарий, вычисленные по измерениям 5 сканов, записанных 5-6.01.2009. Значения их отношений иллюстрируют вышесказанное.

Таблица - Сравнение усредненных по умеренным широтам эквивалентных ширин полос поглощения в северном и южном полушариях Сатурна.

Полоса	S	N	N/S
Скан А	$W_{s,A}$	$W_{n,A}$	W_n/W_s
619 nm W	24,06	29,60	1,23
645 nm W	4,40	9,63	2,19
667 nm W	12,66	16,29	1,29
702 nm W	10,84	14,81	1,37
725 nm W	109,48	112,47	1,03
Скан В	$W_{s,A}$	$W_{n,A}$	W_n/W_s
619 nm W	24,00	29,36	1,22
645 nm W	5,19	9,59	1,85
667 nm W	12,71	15,83	1,25
702 nm W	11,06	15,05	1,36
725 nm W	109,31	112,08	1,03
Скан С	$W_{s,A}$	$W_{n,A}$	W_n/W_s
619 nm W	23,90	30,37	1,27
645 nm W	4,94	10,29	2,08
667 nm W	12,71	16,93	1,33
702 nm W	12,58	15,28	1,21
725 nm W	108,94	112,40	1,03
Скан D	$W_{s,A}$	$W_{n,A}$	W_n/W_s
619 nm W	23,89	29,95	1,25
645 nm W	5,26	9,46	1,80
667 nm W	12,99	16,98	1,31
702 nm W	13,14	15,21	1,16
725 nm W	109,85	112,88	1,03
Скан E			
619 nm W	24,03	30,20	1,26
645 nm W	5,59	10,15	1,82
667 nm W	12,72	16,75	1,32
702 nm W	13,47	15,29	1,14
725 nm W	109,79	113,38	1,03

В таблице полосы 645 нм и 667 нм - это части одной широкой полосы поглощения метана, в коротковолновом крыле которой находится и полоса поглощения аммиака NH_3 645 нм. Поглощение метана в этом крыле незначительно, а аммиачное выделяется на относительно монотонном фоне метанового крыла, хотя и оно очень невелико. Поэтому определялась суммарная эквивалентная ширина метаново-аммиачного поглощения в этом крыле, из которого на долю

аммиака приходится около 30-40 процентов. Длинноволновое крыло с максимумом поглощения на длине волны 667 нм определяется полностью метаном.

Поведение аммиачной полосы NH₃ 645 нм. Из сопоставления данных таблицы 1 и усредненных по всем сканам значениям эквивалентных ширин полос поглощения, показанных на рисунке 2, видно, что различие в поглощении между умеренными широтами северного и южного полушарий наиболее выражено у слабых полос. Максимальное различие получается для участка спектра, включающего полосу поглощения NH₃ 645 нм. Для этого участка измерялась полная эквивалентная ширина, в которую входит как аммиачное, так и метановое поглощение. Отношение эти эквивалентных ширин W_n / W_s достигает двукратного значения.

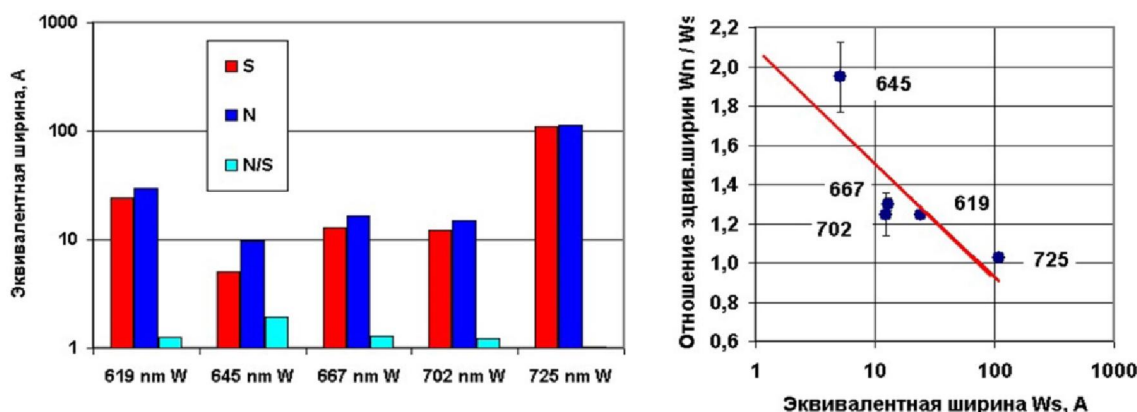


Рисунок 2 – Сравнение эквивалентны ширин полос поглощения в умеренных широтах южного (W_s) и северного (W_n) полушарий Сатурна в 2009 г

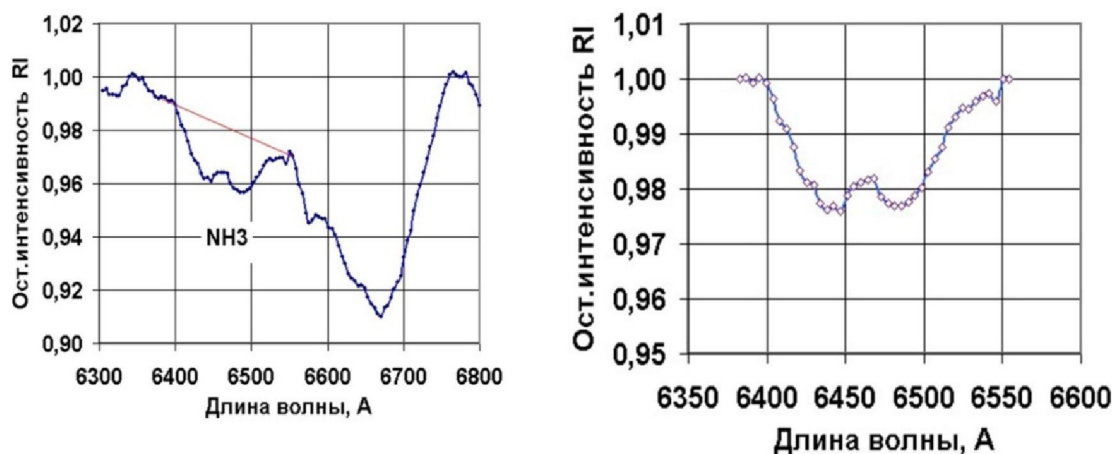


Рисунок 3 – Выделение профиля полосы поглощения NH₃ 645 нм из коротковолнового крыла комбинированной метаново-аммиачной полосы

Чтобы уточнить роль аммиачного поглощения, нужно все же выделить именно аммиачную составляющую в из коротковолнового крыла комбинированной полосы. Для этого ход поглощения метана в коротковолновом крыле был проинтерполирован в области аммиачного поглощения, как показано на левом графике рисунка 3. Правомерность такой интерполяции основывается на лабораторных данных о коэффициентах поглощения метана в этой полосе [10,11], показывающих достаточно монотонный ход в коротковолновом крыле этой полосы. Затем к нему было вычислено отношение аммиачной составляющей и получен в «чистом» виде профиль полосы NH₃ 645 нм (правый график рисунка 3).

Выделенные профили полосы аммиака были построены по измерениям спектрограмм 5 сканов. На рисунке 4 слева показана серия профилей по одному из сканов. Толстые линии (красные в цветном изображении) относятся у южному полушарию, а тонкие (синие) – к

северному. Максимальная глубина в полосе не превышает 0.05 в северном полушарии и 0.03 в южном. Примерно такие же оценки глубин приводятся в работе [12] по наблюдениям Сатурна в 1980-1982 гг.

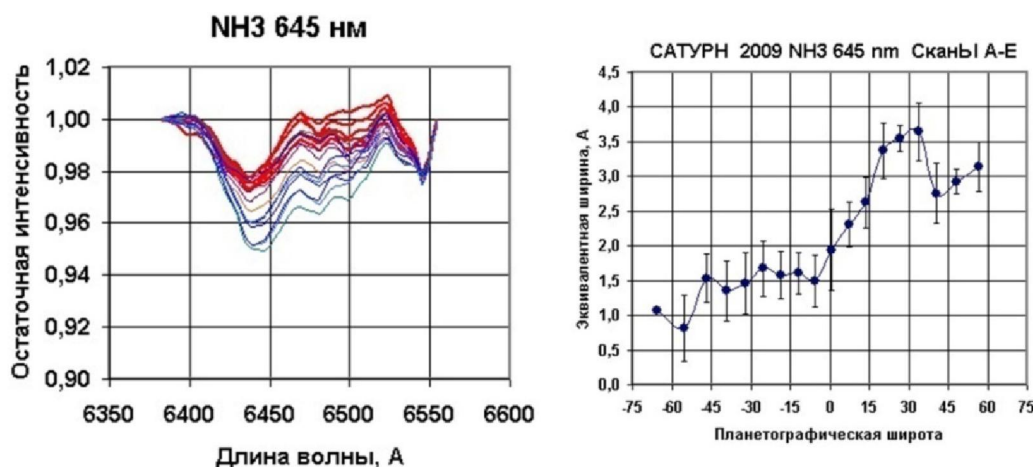


Рисунок 4 – Профили выделенной полосы поглощения NH_3 645 nm в разных зонах Сатурна и широтный ход эквивалентной ширины по 5 сканам

. По наблюдениям в марте 1980 г. [13] эквивалентные ширины полосы NH_3 645 nm в центре диска на разных долготах равнялись в среднем 2.2 ± 0.2 Å. В это время через центр диска Сатурна проходил как раз экватор планеты, так как это был период равноденствия.

Средние по всем 5 сканам 2009 года значения эквивалентных ширин полосы, отнесенные к шкале планетографических широт, представлены на правом графике. Как видим, различие в аммиачном поглощении между полушариями достаточно заметно и достигает трехкратного значения. Для экваториального пояса эквивалентная ширина аммиачной полосы практически получилась такой же, как и в равноденствие 1980 года. Отметим, что позиционно эти оба равноденствия аналогичны, так как разделены полным периодом обращения Сатурна вокруг Солнца.

Заключение. Спектральные наблюдения Сатурна в период равноденствия 2009 года обнаружили достаточно заметные различия в интенсивности молекулярных полос поглощения между северным и южным полушариями планеты. Это различие почти отсутствует у относительно сильных (или умеренных) полос, но возрастает у слабых полос, так что в северном полушарии поглощение в слабых полосах заметно выше, чем в южном полушарии. Чем слабее полоса, тем в большей степени проявляется эта разница. Полоса поглощения аммиака NH_3 645 nm тоже следует этой закономерности, обнаруживая наибольшее различие по полушариям.

Поскольку эффективные оптические глубины формирования абсорбционных полос метана и аммиака в рассеивающе-поглощающей среде возрастают с убыванием коэффициентов поглощения, слабые полосы метана и аммиака должны формироваться и на больших линейных глубинах в облачном слое или даже ниже. Если полная оптическая толщина аммиачного облачного слоя относительно не велика. В модели с оптически полубесконечным облачным слоем

Наблюдаемое различие в поглощении между южным и северным полушариями Сатурна может рассматриваться как признак различий в степени вертикальной неоднородности облачного слоя, возрастающей с глубиной. Для аммиачного поглощения это различие может быть больше, чем у метана, так как с уменьшением плотности аммиачного аэрозоля увеличивается концентрация газообразного аммиака.

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Van Hemelrijck E. (1982) The oblateness effect on the solar radiation incident at the top of the atmospheres of the outer planets, *Icarus* V.51, P. 39-50.
 [2] Van Hemelrijck E. (1987) The effect of Saturn's rings on the upper-boundary insolation of its atmosphere, *Earth, Moon and Planets* V.38, P. 217-235.

[3] Тейфель В.Г. Распределение молекулярного поглощения по диску Сатурна по наблюдениям в 1995г. на основе зональной спектрофотометрии с ПЗС-камерой. Результаты наблюдений. *Астроном. вестник РАН*, 1997, Т.31, N3, с.222-231, *Solar System Res.*, 1997, v. 31, N3, p.198-206.

[4] Tejfel V., Karimov A. and Kharitonova G., Preliminary comparison of the methane absorption latitudinal distribution on Saturn's disk near zero tilt of the rings in 1995 and 2009 *Geophysical Research Abstracts*, V 11, EGU2009-9735.

[5] Тейфель В.Г., Каримов А.М. Особенности аммиачного поглощения в атмосфере Сатурна *Известия НАН РК, серия физико-математическая*, №4. 2009. - С.110-114.

[6]. Тейфель В.Г., Каримов А.М, Бондаренко Н.Н., Харитонов Г.А. Признаки широтной асимметрии аммиачного поглощения на Сатурне *Известия НАН РК Серия физико-математическая*. №4 2015. С.102-108.

[7] Тейфель В.Г., Харитонов Г.А. Высота облачного покрова и экваториальное ускорение в атмосфере Сатурна. *Астрономический циркуляр АН СССР №735*. 1972. С. 4-6.

[8] Tejfel V. G. Latitude differences in the structure of Saturn's cloud layer. *Astron. Vest.*, 1977, V. 11, P. 14-24. *Solar System Res.*, 1977. V. 11. P.10-18.

[9] Apt J., Singer G.B. Cloud Height Differences on Saturn. *Icarus*, 1982, V. 52, P.503-508

[10] Giver, L.P., Intensity measurements of the CH₄ bands in the region 4350Å to 10600Å. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 1978, V. 19. P. 311-322.

[11] DicK. A., Fink, U. Photoelectric absorption spectra of methane CH₄, methane and hydrogen H₂ mixtures, and ethane C₂H₆. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1977, V. 18 P. 433-446 .

[12]. Trafton L. Long-Term Changes in Saturn's Troposphere. 3, 374-405 (1985). *Icarus*, 1985. V. 63, P.374-405

[13] Cochran A. L., Cochran W. D. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Saturn. *Icarus*, 1981, V.48, P.488-495.

REFERENCES

[1] Van Hemelrijck E. (1982) The oblateness effect on the solar radiation incident at the top of the atmospheres of the outer planets, *Icarus* V.51, P. 39-50.

[2] Van Hemelrijck E. (1987) The effect of Saturn's rings on the upper-boundary insolation of its atmosphere, *Earth, Moon and Planets* V.38, P. 217-235.

[3] Tejfel V.G. The distribution of molecular absorption on the disk of Saturn from observations in 1995. by zonal spectrophotometry with a CCD camera. Results of observations. *Astron. Vestnik RAN*, 1997, T.31, N3, с.222-231, *Solar System Res.*, 1997, v.31, N3, p.198-206

[4] Tejfel V., Karimov A, Kharitonova G., .Preliminary comparison of the methane absorption latitudinal distribution on Saturn's disk near zero tilt of the rings in 1995 and 2009. *Geophysical Research Abstracts*, V 11, EGU2009-9735.

[5] Tejfel VG Karimov AM. Features of the ammonia absorption in the atmosphere of Saturn's atmosphere. *Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan, a series of physical and mathematical*. №4, 2009 - S.110-114

[6] Tejfel VG .Karimov AM, Bondarenko NN, GA .Kharitonova Signs latitudinal asymmetry ammonia absorption Saturn. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the RK series of physical and mathematical*, №4 2015 S.102-108.

[7] Teyfel VG Kharitonov GA The height of the cloud cover and the equatorial acceleration in the atmosphere of Saturn. *Astronomical Circular USSR Academy of Sciences # 735*, 1972, pp 4-6.

[8] Tejfel V. G. Latitudinal differences in the structure of Saturn's cloud layer. *Astron. Vest.*, 1977, V. 11, P. 14-24. *Solar System Res.*, 1977, V. 11. P.10-18.

[9] Apt J., Singer G.B. Cloud Height Differences on Saturn. *Icarus*, 1982, V. 52, P.503-508

[10] Giver, L.P. Intensity measurements of the CH₄ bands in the region 4350Å to 10600Å. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.*, 1978, V. 19. P. 311-322.

[11] DicK. A., Fink, U. Photoelectric absorption spectra of methane CH₄, methane and hydrogen H₂ mixtures, and ethane C₂H₆. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1977, V. 18, P. 433-446.

[12] Trafton L. Long-Term changes in Saturn's troposphere. 3, 374-405 (1985) *Icarus*, 1985, V. 63, P.374-405

[13] Cochran, A. L., Cochran W. D. . Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Saturn. *Icarus*, 1981, V.48, P.488-495.

В.Г. Тейфель, А.М. Каримов, Г.А. Харитонов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

САТУРНДАҒЫ АММИАҚТЫҢ ЖҰТЫЛУЫ - 2009 ЖЫЛҒЫ КҮН МЕН ТҮННІҢ ТЕҢЕЛУІ КЕЗЕҢІНДЕ ЕНДІК ВАРИАЦИЯЛАР АСИММЕТРИЯСЫ

Аннотация. Планетаның екі жарты шары жарықтану және Жердің көрінуі сияқты бірдей жағдайда болған кезде 2019 жылы күн мен түннің теңелуі кезеңінде Сатурнның солтүстік және оңтүстік метан мен аммиак жұту жолақтарының жүрісінің салыстырмалы талдау жүргізілді. CH₄ 725 нм CH₄ 725 нм жұту жолақтары метанның әлсіз жолақтары бірқалыптыдан қарқындылық бойынша айырмашылығында солтүстік жартышарда күшейетіні табылды, әрі жұтудың ендік жүрісінде асимметрия жолақтар қарқындылығының азаюымен күшейе түседі. NH₃ 645 нм аммиак жолағында жұрылу айтарлықтай асимметрияны көрсетеді. Бұны Сатурнның солтүстік және оңтүстік жарты шарларында бұлт қабатының вертикалды біртектілігінің дәрежесі айырмашылығының айғағы ретінде қарастыруға болады.

Түйін сөздер: Сатурн, атмосфера, облака, метан, молекулалық аммиак.