

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 102 – 108

THE EVIDENCES OF LATITUDINAL ASYMMETRY OF THE AMMONIA ABSORPTION ON SATURN

V. G. Tejfel, A. M. Karimov, N. N. Bondarenko, G. A. Kharitonova

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: tejf@mail.ru

Keywords: Saturn, equinox, atmosphere, clouds, methane, ammonia, absorption bands.

Abstract. An opportunity to observe both Saturn hemispheres (north and south) in the same regime of the sunlight input and at their similar visibility from Earth appears only once in 15 years. The last period of the equinox on Saturn occurred in the late 2008 - early 2009. During this period we have done a great cycle of spectral observations of Saturn with the recording of the spectra of the central meridian of Saturn and zonal spectra, covering the entire planet. There were processed 450 zonal spectrograms obtained by scanning the disk of Saturn in early 2009. We have studied specially the variation of the absorption band of ammonia NH₃ 647 nm. This band overlaps with the short-wavelength wing of the absorption band of methane CH₄ 667 nm. To extract the ammonia absorption there were used the spectra of Uranus and laboratory spectra of methane. It is found that the absorption of ammonia is enhanced in the northern hemisphere of Saturn as relatively weak methane bands in contrast to behavior of the methane stronger bands. This indicates "north-south" asymmetry in the bulk density of the deep parts of the ammonia cloud layer on Saturn.

УДК 523.46

ПРИЗНАКИ ШИРОТНОЙ АСИММЕТРИИ АММИАЧНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ НА САТУРНЕ

В. Г. Тейфель, А. М. Каримов, Н. Н. Бондаренко, Г. А. Харитонова

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

Ключевые слова: Сатурн, равноденствие, атмосфера, облака, метан, аммиак, полосы поглощения.

Аннотация. Возможность наблюдать лба полуширья Сатурна (северное и южное) в одинаковых условиях освещения Солнцем и видимости с Земли представляется лишь раз в 15 лет. Последний период равноденствия на Сатурне пришелся на конец 2008 – начало 2009 гг. В этот период был выполнен большой цикл спектральных наблюдений с записью спектров центрального меридиана Сатурна и зональных спектров, охватывающих всю планету. В том числе по 450 зональным спектrogramмам, полученным при сканировании диска Сатурна в начале 2009 года, исследованы вариации полосы поглощения аммиака NH₃ 647 нм. Эта полоса перекрывается с коротковолновым крылом полосы поглощения метана CH₄ 667 нм, поэтому для выделения аммиачного поглощения использовались спектры Урана и лабораторные спектры метана. Найдено, что аммиачное поглощение усиливается в северном полуширии Сатурна, как и относительно слабые полосы метана в противоположность наблюдаемому у более сильных полос метана. Это указывает на асимметрию «север-юг» в объемной плотности глубинных частей аммиачного облачного слоя на Сатурне.

Введение. В отличие от Юпитера, в спектрах которого полосы поглощения аммиака относительно хорошо заметны, у Сатурна они если и прослеживаются, то с большим трудом. На обеих планетах аммиак, несмотря на низкое относительное содержание (NH₃/H₂ ~10⁻⁴) аммиак играет исключительно важную роль, поскольку именно из кристаллов замерзшего NH₃ сформированы видимые облачные покровы и Юпитера и Сатурна.

Облачные слои в атмосферах обеих планет, как и надоблачная атмосфера. Участвуют в процессе переноса излучения и в формировании молекулярных полос поглощения. Метан в условиях атмосфер Юпитера и Сатурна не конденсируется, тогда как аммиак при низких температурах верхней тропосферы замерзает. В стратосфере концентрация газообразного аммиака резко падает по сравнению с концентрацией в тропосфере. Поэтому наблюдаемое поглощение NH₃ формируется только внутри облачного слоя, тогда как в поглощении CH₄ заметную роль играет и надоблачная толща атмосферы.

Из-за наклона оси вращения Сатурна, составляющей 27 градусов к плоскости его орбиты, режим инсоляции северного и южного полушарий существенно меняется в течение 30-летнего периода обращения планеты вокруг Солнца. Сезонные эффекты усугубляются тем, что расстояние Сатурна от Солнца также зависит от положения планеты на орбите, причем разница в величине радиуса-вектора достигает целой астрономической единицы.

Все вышесказанное является предпосылкой к постановке исследований сезонных изменений на Сатурне, которые могут проявляться и в изменениях структуры и плотности внешних атмосферных слоев, в том числе и в изменениях в облачном слое, причем по-разному на лазовых широтах. Поведение молекулярных полос поглощения в спектрах различных широтных поясов планеты может быть индикатором изменений, происходящих в облачном покрове. Внутри облачной (аэрозольно-газовой) среды это поглощение формируется довольно сложным образом в процессе многократного рассеяния света на облачных частицах.

Трудность измерений полос поглощения аммиака в спектрах Юпитера и Сатурна состоит в том, что они не наблюдаются в чистом виде, а перекрываются с более сильными полосами поглощения метана. На Сатурне практически они почти не выделяются, поэтому требуется анализ поведения профилей полос поглощения метана в участках, где должно присутствовать и аммиачное поглощение и смежных участках, свободных от него.

Сравнительный анализ поведения молекулярного поглощения в северном и южном полушариях Сатурна и сезонных изменений затрудняется наличием у планеты кольца, которое затеняет значительную часть одного из полушарий, снижая дополнительно уровень притока солнечной радиации к зимнему полушарию. Земному наблюдателю кольцо экранирует это полушарие, затрудняя измерения полос поглощения. Поэтому самым подходящим для исследования обоих полушарий Сатурна при равных условиях освещения и видимости с Земли является период равноденствия, когда наклон экватора планеты к Солнцу и Земле почти равен нулю (точно нулевое значение наклона, к сожалению, обычно приходится на время ухудшения условий видимости планеты). Последняя такая возможность представилась в конце 2008 – начале 2009 гг.

Наблюдения – спектральные сканы диска Сатурна. В процессе спектрофотометрических наблюдений в период равноденствия Сатурна 2009 года [1] в ночь с 5 на 6 января 2009 г. было получено 5 серий зональных спектrogramм путем последовательного сканирования диска Сатурна от южного полюса до северного (рисунок 1).

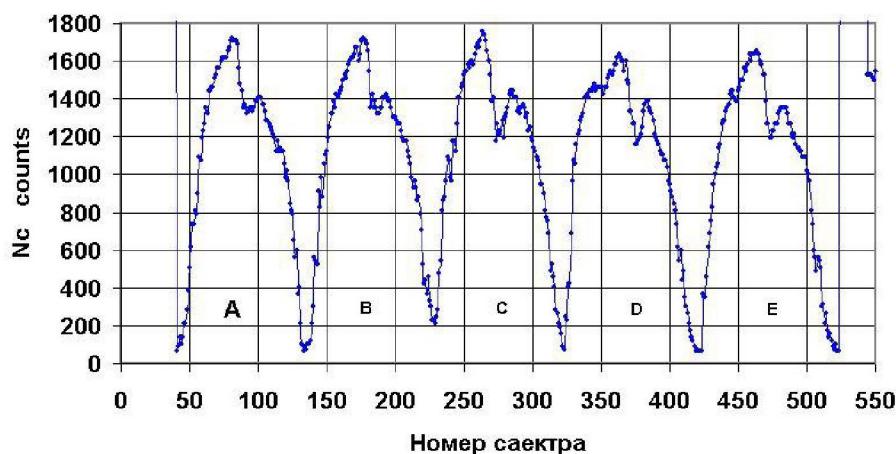


Рисунок 1 – Яркостные профили сканов, построенные по максимальной интенсивности каждого зонального спектра

Каждый скан состоял из 90-95 зональных спектров, записанных на дифракционном спектрографе SGS с ПЗС-камерой ST-7XE. Продолжительность экспозиции для каждой спектрограммы составляла 20 секунд. Эта дата наблюдений оказалась наиболее благоприятной для исследования обоих полушарий Сатурна, поскольку наклон его экватора к Земле (иди сатурно-центрическое склонение Земли) был равен всего 0.8 градуса. Сатурно-центрическое склонение Солнца равнялось -3.3 градуса, поэтому тень кольца на диске планеты все же заметно выделялась.

Обработка наблюдений. Все зональные спектрограммы (более 450) измерялись вдоль дисперсии в диапазоне длин волн 580-800 нм. При обработке вырезался участок вдоль осевой линии спектра шириной 20 пикселей. Для всех спектров вычислялось отношение к опорному спектру кольца, записанному в период его наибольшего раскрытия. Затем вычислялись значения остаточных интенсивностей в полосах поглощения по отношению к интерполированному непрерывному спектру и строились профили полос. Вычислялись их глубины и эквивалентные ширины. Кроме того, для сравнительного анализа по массивам профилей в остаточных интенсивностях вычислялись отношения спектров разных зон к спектру экваториальной зоны и попарные отношения спектров зон, симметрично расположенных в южном и северном полушариях. На основе этих вычислений были построены атласы спектральных отношений и зональных вариаций полос поглощения.

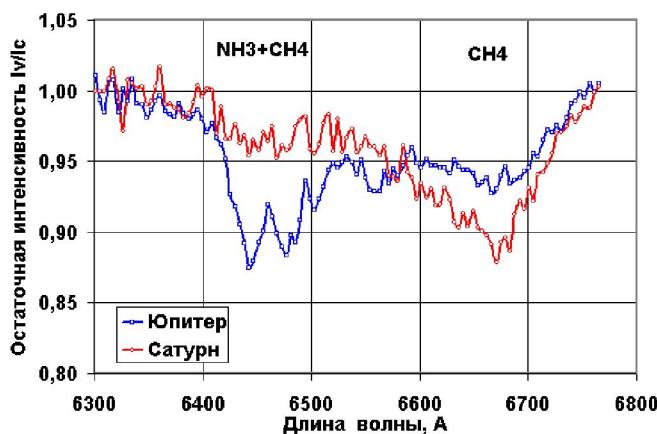


Рисунок 2 – Полоса поглощения NH₃ 647 +CH₄ 667 нм в спектрах Юпитера и Сатурна

В наблюдаемом спектральном диапазоне находятся две полосы поглощения NH₃, центрированные на длины волн около 647 и 787 нм. В спектре Юпитера они, несмотря на перекрытие с полосами поглощения CH₄, могут быть выделены довольно уверенно. В спектрах же Сатурна аммиачное поглощение почти не выделяется на фоне гораздо более сильного метанового поглощения. Полоса NH₃ 647 нм располагается в коротковолновом относительно слабом крыле полосы метана (рисунок 2).

Выделение аммиачного поглощения. Имеющиеся данные в коэффициентах поглощения метана [2-6] и расчет по ним профилей полосы поглощения CH₄ 667 нм (рисунок 3). При расчетах задавалась величина эквивалентного пути поглощения, примерно соответствовавшая наблюдаемому в спектре Сатурна профилю этой полосы. В участке спектра между 640-650 нм, где находится полоса поглощения NH₃ 647 нм, поглощение метана невелико и показывает гладкий ход с длиной волны. Данные в коэффициентах поглощения CH₄ несколько различаются у разных авторов, например, в [**] профиль поглощения сдвинут по длинам волн за 3 нм (при расчетах этот сдвиг был учтен). Для дополнительного сравнения был также использован спектр Урана, в котором заведомо аммиачное поглощение отсутствует. Полоса CH₄ 667 нм там гораздо интенсивнее, чем у Сатурна, но еще не достигает насыщения в отличие от более длинноволновых полос. Вычисленное отношение спектров Юпитера и Сатурна к спектру Урана выявляет полосу поглощения NH₃ в спектрах обеих планет (рисунок 4).

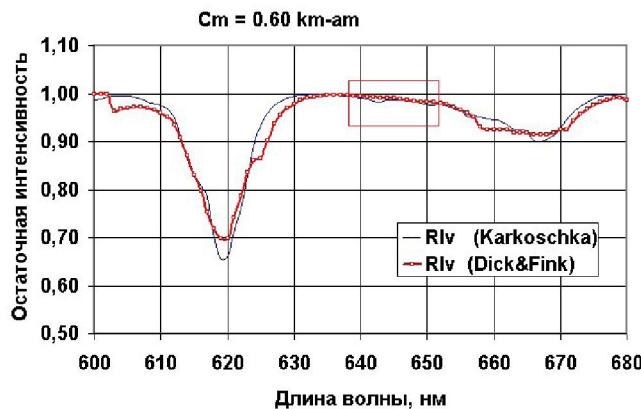


Рисунок 3 – Расчетные профили полос поглощения метана, вычисленные по коэффициентам поглощения из работ [2, 3] при эквивалентном пути поглощения $Cm=0.6$ км-амага. Прямоугольником отмечена область полосы поглощения аммиака

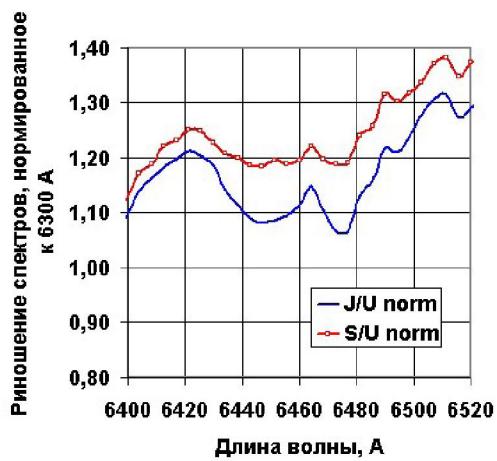


Рисунок 4 – Отношение спектров Юпитера и Сатурна к спектру Урана в области полосы поглощения аммиака NH₃ 647 нм

Вариации поглощения NH₃. По измерениям всех зональных спектрограмм Сатурна для каждого из 5 сканов были вычислены отношения к опорному спектру экваториального пояса планеты. Построен атлас графиков полученных спектральных кривых, фрагмент которого показан на рисунке 5.

Анализ всех графиков атласа показывает, что в области полосы поглощения NH₃ 647 нм поглощение в северном полушарии усиливается по сравнению с южным. Поглощение метана в относительно слабых полосах тоже обнаруживает усиление в северном полушарии. Оставляя в стороне экваториальный пояс Сатурна, сравним усредненные по области умеренных широт профили полос поглощения для южного и северного полушарий. Хотя в области аммиачного поглощения глубина полосы значительно меньше, чем в длинноволновой части полосы метана, отношение к опорному спектру почти одинаково в обоих частях полосы. На рисунке 6 показаны отношения остаточных интенсивностей из этих усредненных профилей – северного полушария к южному – по сканам В и С. Здесь видно, что в области аммиачной полосы это отношение демонстрирует большее различие полушарий, чем отношение в более длинноволновой области чисто метанового поглощения.

Обсуждение. Основной причиной наблюдаемых широтных вариаций молекулярного поглощения как на Юпитере, так и на Сатурне, скорее всего являются изменения в плотности и микромагнитической структуре облачного покрова. В этих вариациях именно аммиак играет активную роль, в отличие от метана. Видимый облачный слой на обеих планетах состоит в основном из кристаллов сублимированного аммиака и, естественно, наличие в тропосфере планеты конвективных

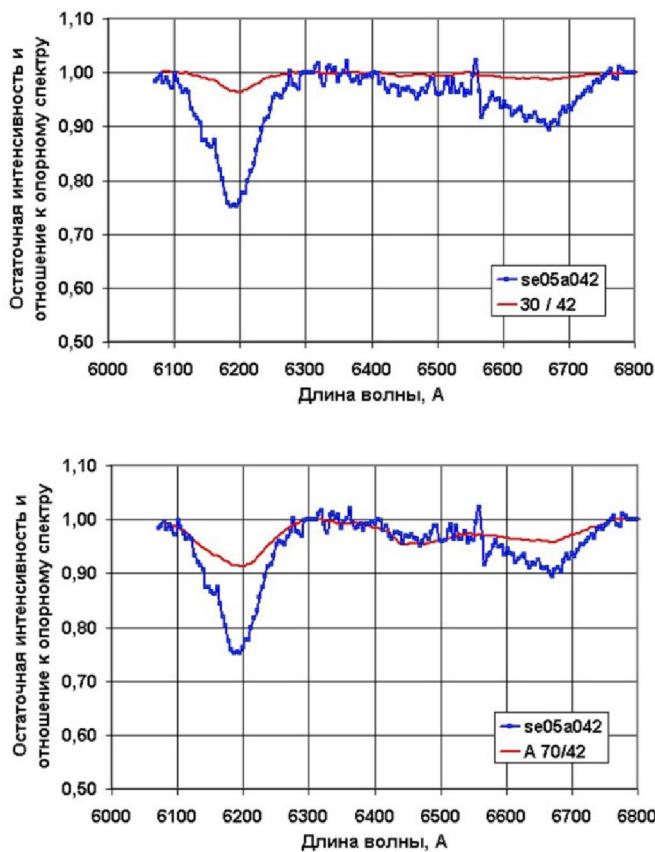


Рисунок 5 – Фрагмент атласа спектральных кривых отношений зональных спектров к опорному (в скане А это зона 42).
Зона 30 находится в южном полушарии Сатурна, зона 70 – в северном полушарии

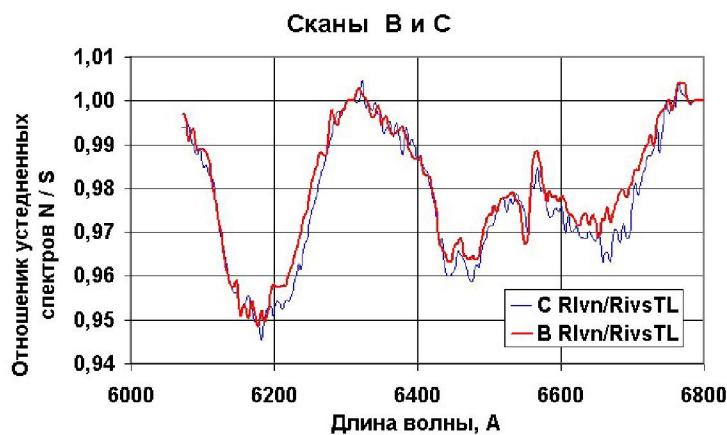


Рисунок 6 – Отношение остаточных интенсивностей полос поглощения, усредненных по поясам умеренных широт Сатурна (R_{lvn}/R_{lvs}) по сканам В и С

течений и соответствующих изменений в вертикальном температурном профиле должно отражаться на соотношении равновесного содержания газообразной и твердой фаз аммиака. Формирование относительно слабых и умеренных по интенсивности полос поглощения и аммиака и метана происходит внутри облачного слоя в процессе многократного рассеяния на облачных частицах, за счет чего увеличивается эквивалентный путь поглощения.

Увеличение объемной плотности облачного слоя при прочих равных условиях приводит к уменьшению расстояний между частицами и уменьшению эквивалентного пути поглощения. Если

суммарное содержание аммиака в обоих фазовых состояниях остается неизменным, то с понижением температуры в твердую фазу перейдет больше аммиака, тогда как доля газообразного аммиака уменьшится. А это также дополнительно отразится на уменьшении интенсивности аммиачных полос поглощения. Интенсивность же полос поглощения метана при этом будет меняться только в зависимости от объемной плотности облаков.

Конечно, это лишь упрощенный подход к интерпретации наблюдаемых широтных вариаций молекулярного поглощения. Для полного описания реальной микрофизической структуры облачных покровов планет требуется модель с большим количеством варьируемых параметров. Но именно в силу своей многопараметрическости такая модель не может при сопоставлении с данными наблюдений привести к однозначному результату. Тем не менее, наблюдения все же дают возможность исследовать степень неоднородности облачных покровов планет-гигантов и сезонные изменения, связанные с изменением наклона планеты к потоку солнечной радиации и гелиоцентрического расстояния. Особенность, на которую следует обратить внимание, заключается в том, что более сильные полосы поглощения метана, например, полоса CH₄ 725 нм, не показывают заметного различия в умеренных широтах северного и южного полушарий [7, 8]. Их формирование происходит на меньших эффективных оптических глубинах и для них уже заметную роль играет поглощение в надоблачной атмосфере.

В итоге можно констатировать, что увеличение поглощения NH₃ в северном полушарии Сатурна совпадает с повышенным поглощением CH₄, наблюдаемым также в северном полушарии. Это может быть обусловлено уменьшением объемного коэффициента рассеяния на больших эффективных оптических глубинах за счет повышения температуры. В верхней же части облачного покрова различия в плотности облачного слоя, по-видимому, отсутствуют или выражены гораздо меньше, если судить по одинаковости поглощения в полосе CH₄ 725 нм на умеренных широтах обоих полушарий. Измерения температуры в верхней тропосфере Сатурна на уровне давления около 500 мб [9] показывают даже ее уменьшение в северном полушарии по сравнению с южным в поясе умеренных широт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Vdovichenko V.D. The hemispheric differences in the methane and ammonia absorptions on Saturn near last equinox in 2008-2010 // -Bulletin of the American Astronomical Society, 2010 V. 42. - P.1021.
- [2] Karkoschka E. (1994). Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300- to 1000-nm wavelength: the methane spectrum. Icarus, 1994, v.111, No.2, p.174-192.
- [3] Karkoschka, E., Tomasko, M.G. Methane absorption coefficients for the jovian planets from laboratory, Huygens, and HSTdata. // Icarus (2009)
- [4] Dick, K. A.; Fink, U. Photoelectric absorption spectra of methane CH₄, methane and hydrogen H₂ mixtures, and ethane C₂H₆ //J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, V. 18 1977, P. 433-446 .
- [5] Giver, L.P., 1978. Intensity measurements of the CH₄ bands in the region 4350Å to 10600Å //J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 19. –P. 311–322.
- [6] Fink, U., Benner, D.C., Dick, K.A., 1977. Band model analysis of laboratory methane absorption spectra from 4500 to 10500Å //J. Quant. Specrosc. Radiat. Transfer 18. – P. 447–457.
- [7] V.G.Tejfel, A.M.Karimov, G.A.Kharitonova . South-north hemispheric asymmetry of the albedo and molecular absorption on Saturn // 46-th Lunar and Planetary Science Conference, March 2015,Abstr.1176, 2 PP
- [8] Тейфель В.Г., Каримов А.М. Особенности аммиачного поглощения в атмосфере Сатурна // Известия НАН РК, серия физико-математическая, №4, 2009 - С.110-114
- [9] Fletcher, L.N., Achterberg, R.K., Greathouse, T.K., Orton, G.S., Conrath, B.J., Simon, Miller, A.A., Teanby, N., Guerlet, S., Irwin, P.G.J., Flasar, F.M., 2010. Seasonal change on Saturn from Cassini/CIRS observations, 2004–2009. // Icarus 208 (July), 337–352.

REFERENCES

- [1] Tejfel V.G., Karimov AM, Kharitonova GA, Kirienko GA, Vdovichenko VD The hemispheric differences in the methane and ammonia absorptions on Saturn near last equinox in 2008-2010 // -Bulletin of the American Astronomical Society, 2010 V. 42. - P.1021.
- [2] Karkoschka E. (1994). Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300- to 1000-nm wavelength: the methane spectrum. Icarus, 1994, v.111, No.2, p.174-192.
- [3] Karkoschka, E., Tomasko, M.G. Methane absorption coefficients for the jovian plan-ets from laboratory, Huygens, and HSTdata. // Icarus (2009)

- [4] Dick, K. A.; Fink, U. Photoelectric absorption spectra of methane CH₄, methane and hydrogen H₂ mixtures, and ethane C₂H₆ // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, V. 18, 1977, P. 433-446.
- [5] Giver, LP, 1978. Intensity measurements of the CH₄ bands in the region 4350 Å to 10600 Å // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. - 19. -P. 311-322.
- [6] Fink, U., Benner, DC, Dick, KA, 1977. Band model analysis of laboratory methane absorption spectra from 4500 to 10500 Å // J. Quant. Specrosc. Radiat. Transfer 18. - P. 447-457.
- [7] V.G.Tejfel, A.M.Karimov, G.A.Kharitonova. South-north hemispheric asymmetry of the albedo and molecular absorption on Saturn // 46-th Lunar and Planetary Science Conference, March 2015, Abstr.1176, 2 PP
- [8] Teyfel VG Karimov AM. Features ammonia absorption in the atmosphere of Saturn // Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan, a series of physical-mathematical, №4, 2009 - S.110-114
- [9] Fletcher, LN, Achterberg, RK, Greathouse, TK, Orton, GS, Conrath, BJ, Simon, Miller, AA, Teanby, N., Guerlet, S., Irwin, PGJ, Flasar, FM, 2010. Seasonal change on Saturn from Cassini / CIRS observations, 2004-2009. // Icarus 208 (July), 337-352.

САТУРНДАҒЫ АММИАКТЫ ЖҰТУДЫҢ ЕНДІК АСИММЕТРИЯЛАРЫНЫң БЕЛГІЛЕРІ

В. Г. Тейфель, А. М. Каримов, Н. Н. Бондаренко, Г. А. Харитонова

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

Тірек сөздер: Сатурн, күн мен тұннің теңесуі, атмосфера, бұлт, метан, аммиак, жұту жолактары.

Аннотация. Сатурн жартышарын зерттеу мүмкіндігі (солтүстік және оңтүстік) Күнмен жабдықталуы және Жерден көрінуімен бірдей шарттарда 15 жылдан кейін ғана ұсынылады. Сатурнде күн мен тұннің теңелуі соңғы кезеңі 2008 жылдың аяғы - 2009 жылдың басына келді. Осы кезеңде бұқіл планетаны қамтитын Сатурнның орталық меридианы спектрлері және аймақтық спектрлер жазбасымен спектрлік бақылаудардың үлкен циклінің орындалуы болды. Соның ішінде 2009 жылдың басында Сатурн дискісін түсіріп алу сәтінде алынған 450 аймақтық спектрограммалар бойынша NH₃ 647 нм аммиакты жұту жолактарының вариациясы зерттелді. Бұл жолақ CH₄ 667 нм метан жұту жолактарының қысқытолқынды қанаттармен жабылады, сондыктан аммиакты жұтуудың бөлініу үшін Уран спектрлері және метанның зертханалық спектрлері пайдаланылды. Аммиакты жұту біршама әлсіз метан жолактарының бақылататын көптеген күшті метан жолактарына қарама-қайшылығы сияқты Сатурнның солтүстік жартышарында күшетіні табылды. Бұл Сатурнда аммиакты бұлтты қабатты бөлігінің терендіктің көлемді тығыздығында «солтүстік-оңтүстік» асимметриясын көрсетеді.

Поступила 15.15.2015 г.