

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 82 – 86

## **THE STUDY OF METAN-AMMONIUM ABSORPTION ON JUPITER IN SEASON OF 2015 VISIBILITY. I. EQUATORIAL AREA**

**V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, P. G. Lysenko**

DTOO "V. G. Fessenkov Astrophysical Institute", Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: vdv1942@mail.ru

**Key words:** Jupiter, methane, ammonia, absorption bands, infrared region.

**Abstract.** On the base of spectral observations of 2015 we received methane and ammonia absorption variations across the disk of Jupiter. The original method of spectrum processing allows distinguishing the ammonia absorption bands against the background of strong methane absorption ones in the near infrared spectral region. The  $\text{CH}_4$  and  $\text{NH}_3$  spectral characteristics are investigated for five typical cloud formations of the planet: EZ, SEB, NEB, STrZ, NTrZ and the central meridian. A special attention we give to ammonia behavior because of small number of similar studies. The peculiarities of ammonia absorption variations along the equator of Jupiter using the  $\text{NH}_3 \lambda 645$  nm absorption band behavior are given. These peculiarities are suggested to be explained by changes in the concentration of  $\text{NH}_3$  throughout the gaseous atmosphere of Jupiter down to levels  $\sim 8$  bar.

УДК 523.45

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАНОВО-АММИАЧНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ НА ЮПИТЕРЕ В СЕЗОН ВИДИМОСТИ 2015 ГОДА. I. ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ**

**В. Д. Вдовиченко, Г. А. Кириенко, П. Г. Лысенко**

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

**Ключевые слова:** Юпитер, метан, аммиак, полосы поглощения, инфракрасная область.

**Аннотация.** На основе спектральных наблюдений 2015 г. получены вариации метанового и аммиачного поглощения по диску Юпитера. Используется оригинальный метод обработки спектров, позволяющий выделить полосы поглощения аммиака на фоне сильных полос поглощения метана в ближней ИК области спектра. Спектральные характеристики полос  $\text{CH}_4$  и  $\text{NH}_3$  исследуются для пяти характерных облачных образований планеты: EZ, SEB, NEB, STrZ, NTrZ и центрального меридиана. Особое внимание уделяется аммиаку в силу недостаточно большого количества аналогичных исследований. Приводятся особенности вариаций аммиачного поглощения вдоль экватора Юпитера на примере поведения абсорбционной полосы  $\text{NH}_3 \lambda 645$  нм. Высказывается предположение о том, что эти особенности объясняются изменениями концентрации  $\text{NH}_3$  на всем протяжении газовой атмосферы Юпитера вплоть до уровней порядка 8 бар.

Метан и аммиак играют важную роль в формировании оптических характеристик и в динамических процессах Юпитера.

Метан в условиях атмосферы Юпитера не конденсируется и на всех высотах как в тропосфере, так и в стратосфере, не переходит в жидкую или сублимированную фазу, так как температура замерзания его ( $-182.5^{\circ}\text{C}$ ) ниже, чем температура атмосферы, а содержание слишком низкое, чтобы газ мог быть в состоянии насыщения при таких температурах. Поэтому относительное содержание метана в атмосфере Юпитера не меняется. Исследование метанового поглощения весьма перспективно, так как дает богатую информацию о вертикальной структуре

аэрозоля в атмосфере Юпитера. Полосы поглощения метаном между 0,6 и 1 мкм широко используются для зондирования атмосферы Юпитера, так как несут информацию о разных по глубине уровнях атмосферы. Так, например, полосы поглощения метана на 889 нм, 727 нм, 619 нм, в зависимости от их интенсивности, проникая на различную глубину, несут информацию о вертикальной структуре атмосферы на разных уровнях.

На основе наблюдений сильной метановой полосы в  $\lambda$  889 в своё время было сделано заключение о существовании стратосферного аэрозоля в полярных областях на уровнях между 5 и 70 мб. По вариациям остаточной интенсивности в этой полосе можно судить о региональных вариациях высоты верхней части дымки на уровнях 200 мб и выше. В работах [1, 2] нами в процессе такого рода исследований Большого Красного Пятна (БКП) и соседних с ним облачных поясов, было показано, что Красное Пятно является самым высоким аэрозольным образованием, расположенным на 10-12 км выше STrZ и на 5-7 км выше экваториальной зоны EZ. Полоса поглощения CH<sub>4</sub> 727 нм несет информацию о свойствах аэрозоля вплоть до глубин 2 бар, а полосы 619 и 705 нм несут информацию о еще более глубоких слоях атмосферы – порядка 10-20 бар. Согласно результатам исследования Galileo's Solid State Imager (SSI), излучение, относящееся к непрерывному спектру в  $\lambda$  630, 756 нм могут проникать в атмосферу Юпитера еще глубже, вплоть до уровня 30-40 бар при отсутствии облаков или дымки [3].

Иначе обстоит дело с аммиаком.

Аммиак в атмосфере Юпитера играет фундаментальную роль, будучи главным облакообразующим агентом при формировании как видимого облачного покрова, так и участвуя в формировании более глубоких слоев облаков. Несмотря на еще более низкую, чем у метана, относительную концентрацию, аммиак имеет температуру замерзания -77.7 °C и может при температурах планеты достигать состояния насыщения. Благодаря этому аммиак и является основным облакообразующим химическим соединением в верхней тропосфере Юпитера. В этом отношении он играет такую же роль, что и водяной пар в земной атмосфере. Процессы сублимации аммиака при низких температурах атмосфер планет-гигантов существенным образом определяют тепловой режим атмосфер и его вариации. Он участвует в разного рода химических реакциях с углеводородами и некоторыми элементами, в частности – с серой, образуя гидросульфид аммония NH<sub>4</sub>SH, который возможно формирует промежуточный облачный слой в тропосфере Юпитера между аммиачным и водным слоями облаков. В спектрах Юпитера в области длин волн 500-1000 нм присутствуют полосы поглощения газообразного NH<sub>3</sub>, разной интенсивности. Однако большинство из них в разной степени блендируются полосами поглощения метана. Наиболее свободной является полоса 645 нм. Выявление остальных, как было нами показано в работах [4-7], требует определенных методологических приемов. В связи с тем, что аммиак вымерзает в верхних слоях атмосферы выше 0.5 бара, образуя светлые облака из кристаллического аммиака, конденсируется в области давления от 1 до 6 бар, образуя смешанные облачные структуры из NH<sub>4</sub>SH и водно-аммиачные облака, его концентрация претерпевает сложные пространственные и временные вариации. Интенсивность полос поглощения газообразного NH<sub>3</sub> зависит от локального содержания аммиака на разных широтах планет, от плотности облаков и их пространственной (горизонтально-вертикальной) структуры. Galileo зафиксировал облака из замерзшего аммиака, которые формируются на уровне давления около 0.75 бар (где происходит конденсация аммиака). По данным Voyager 1, 2, содержание аммиака на уровне 1 бар составляет  $2.2 \cdot 10^{-4}$  и  $1.3 \cdot 10^{-4}$  в зонах и поясах, соответственно. По данным Galileo, на глубине нескольких бар его содержание увеличивается до  $4.4 \cdot 10^{-4}$ . При 7 барах оно достигает  $8 \cdot 10^{-4}$  и далее почти не меняется. Поведение и пространственно-временные вариации полос поглощения аммиака изучены еще очень слабо.

Многолетние спектральные исследования Юпитера, выполняемые в планетной лаборатории АФИФ, указывают на необходимость тщательного анализа отдельных индивидуальных особенностей спектров разных областей планеты. Учитывая выше сказанное, в 2015 году была поставлена специальная наблюдательная программа этой планеты с целью выявления особенностей поглощения метана и аммиака и относительного распределения этих газов по диску Юпитера. Программа включала исследования спектральных характеристик различных облачных поясов Юпитера в области длин волн 600-950 нм. Наблюдения проводились в момент противостояния Юпитера 5-6-7 февраля 2015 года на телескопе РЦ-600 со спектрографом SGS и ПЗС-камерой ST-7XE.

Спектральные характеристики исследовались для пяти характерных облачных образований Юпитера: EZ, SEB, NTrZ, STrZ и центрального меридиана. На рисунке 1 показаны профили исследованных полос поглощения метана и аммиака пяти облачных поясов и их среднеквадратичное отклонение. Для полосы метана 619 нм вариации центральной глубины не превышают 1%. Наибольшие вариации, порядка 12%, наблюдаются в полосе поглощения метана 889 нм.

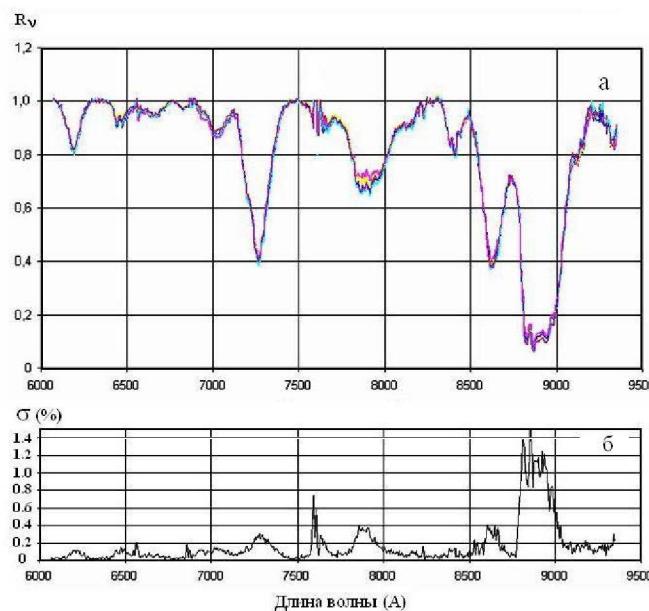


Рисунок 1 – а – Интенсивности полос поглощения пяти зон Юпитера (EZ, SEB, STrZ, NEB, NTrZ). б – Среднеквадратичное отклонение в %

Незначительные вариации в интенсивности полос поглощения требуют особого методологического подхода, как к получению наблюдательного материала, так и к его обработке.

По отношению хода яркости в полосах поглощения к ходу яркости в непрерывном спектре строились кривые хода центральных глубин и эквивалентных ширин исследуемых полос поглощения метана и аммиака вдоль экватора и вдоль центрального меридиана Юпитера (рисунок 2).

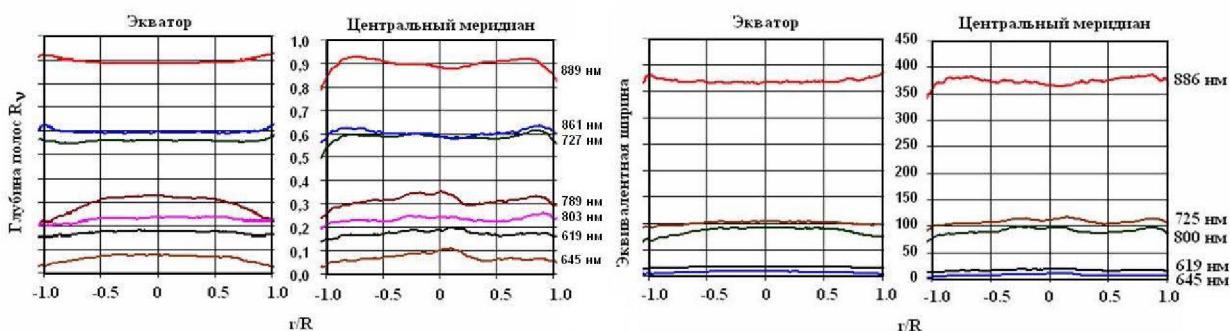


Рисунок 2 – Ход центральных глубин и эквивалентных ширин полос поглощения метана и аммиака разной интенсивности вдоль экватора и вдоль центрального меридиана

Однако представленные в таком традиционном виде результаты оказываются малоинформативными как для качественного, так и для количественного сравнения.

Ввиду большого перепада в интенсивностях исследуемых полос поглощения трудно сравнивать между собой как вариации их глубин, так и эквивалентных ширин. Более наглядную картину, на наш взгляд, дают вариации остаточных интенсивностей полос поглощения  $B_v$ , которые можно представить в виде

$$B_v = I_v / I_c \sim \exp(-\tau),$$

где  $\tau$  можно рассматривать как некую функцию длины волны, которая в зависимости от выбранной модели отражает усредненную информацию о количестве молекул поглощающего газа в толще атмосферы исследуемого участка планеты.

Логарифмируя распределение остаточных интенсивностей по диску планеты, мы получим вариации хода  $\tau_{\text{vM}}$  для метана или  $\tau_{\text{vA}}$  для аммиака в разных полосах поглощения. Результаты, представленные таким образом, несут более адекватную информацию о вариациях по диску содержания поглощающего газа (рисунок 3).

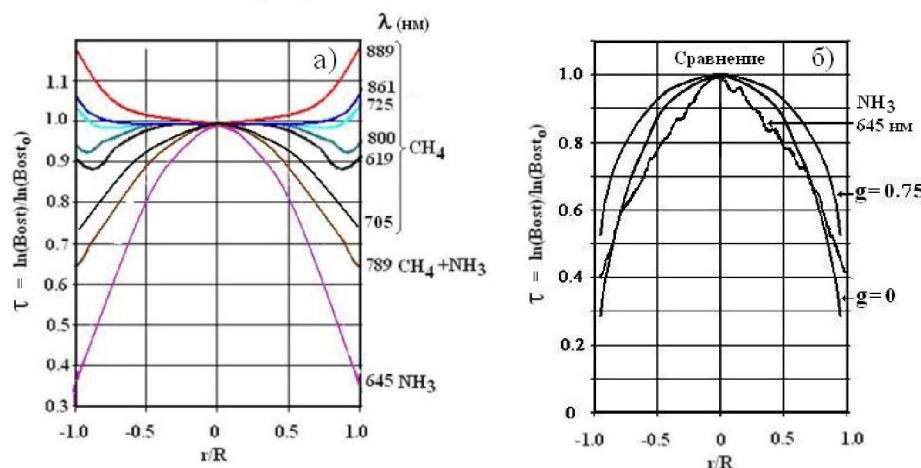


Рисунок 3 – а) – Нормированный к центру диска ход  $\tau$  аммиака и метана на луче зрения вдоль светлой экваториальной зоны EZ. б) – Сравнение хода поглощения аммиака в 645 нм вдоль экватора с модельными расчетами, выполненными на основе теоретических расчетов Дlugач и Яновицкого [8] для рассеивающе-поглощающей среды с параметром вытянутости индикатрисы Хенни-Гринстейна  $g=0$  и  $g=0.75$

Из рисунка 3а хорошо видно, что вариации поглощения вдоль экваториальной зоны в полосах поглощения метана 619, 705, 725, 803, 861, 889 нм качественно хорошо укладываются в рамки двухслойной модели, состоящей из рассеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Теоретические расчеты только для полубесконечного однородного облачного слоя дают уменьшение поглощения к краю диска планеты, степень которого зависит от вытянутости индикатрисы и вероятности выживания кванта. Надоблачная же чисто газовая атмосфера, вносит определенный осветляющий эффект в ультрафиолете, а в полосах поглощения метана и аммиака, расположенных, в основном, в ближней инфракрасной области спектра, дает увеличение поглощения к краю вследствие увеличения эквивалентного пути в надоблачной атмосфере за счет возрастающего к краю косинус-эффекта. Сочетание этих двух факторов с различной степенью вклада может объяснить как постоянство поглощения по диску, так и его изменение с любым знаком. Причем, роль надоблачной атмосферы резко падает с уменьшением интенсивности полосы поглощения, проявляя себя только у самого лимба.

Для полос поглощения аммиака, как и следовало ожидать, роль надоблачной атмосферы практически сводится к нулю, вследствие его вымерзания. Ход поглощения вдоль экватора целиком определяется рассеивающими свойствами аэрозоля вплоть до самого лимба. На рисунке 3б представлено сравнение хода поглощения аммиака вдоль экватора с результатами модельных расчетов. Они выполнены на основе теоретических расчетов Дlugач и Яновицкого для рассеивающе-поглощающей среды [8] с параметром вытянутости индикатрисы Хенни-Гринстейна  $g=0$  и  $g=0.75$  и с коэффициентом яркости центра диска, равном 0.75 в непрерывном спектре, и глубиной полосы поглощения NH<sub>3</sub> 645 нм, равной 0.07.

Из рисунка 3б следует, что в отличие от метана ход поглощения в полосе аммиака 645 нм нельзя описать даже просто рассеивающе-поглощающим слоем с параметром вытянутости индикатрисы  $g$  в пределах от 0 до 0.75. Не исключено, что полоса поглощения аммиака на 645 нм вследствие его вымерзания в надоблачной атмосфере и вблизи верхней границы первого яруса облачного покрова несет информацию о нижней части облачного слоя, представленного в виде разреженной диффузной дымки со сферической индикатрисой рассеяния или протяженной чисто газовой прослойки, рассеивающей по закону Релея.

Возможно, особенности поведения полос поглощения аммиака обусловлены переменной концентрацией этого газа начиная от стратосферы вплоть до глубин порядка 8 бар, нарушая тем самым условия однородности рассеивающе-поглощающего слоя.

*Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4.*

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Атмосфера Юпитера. Большое Красное Пятно. LAP LAMBERT Academic Publishing 2014. ISBN: 978-3-659-63264-8. 275 с.
- [2] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г. Особенности Большого Красного Пятна на Юпитере в полосах поглощения метана //Известия НАН РК.- 2014.- №4.- С.77-84
- [3] West, R.A.; Baines, K.H.; Friedson, A.J. et al (2004). "Jovian Clouds and Haze" In Bagenal, F.; Dowling, T.E.; McKinnon, W.B. Jupiter: The Planet, Satellites and Magnetosphere. Cambridge: Cambridge University Press
- [4] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Исследование Юпитера, Марса, Титана и Весты. LAP LAMBERT Academic Publishing 2013. ISBN: 978-3-659-51391-6. 386 с.
- [5] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Вариации аммиачного поглощения в  $\lambda$  10300 Å по диску Юпитера. Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2006. № 4
- [6] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Тейфель В.Г., Харитонова Г.А. Драматические события на Юпитере в 2009-2011 годах // Известия НАН РК.- 2012.- №4.- С.58-62
- [7] Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Spectrophotometric study of the changes on Jupiter in 2009-2011 // 44-th Lunar and Planetary Sci. Conf., 2013, Abstr. No 1205, 2 PP
- [8] Dlugach J.M., Yanovitskij E.G., 1974. The optical properties of Venus and Jovian planets. Methods and results of calculations of the intensity of radiation diffusely reflected from semi-infinite homogeneous atmospheres. Icarus 22 (1), pp. 66-81

## **REFERENCES**

- [1] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Atmosphere of the Jupiter. Great Red Spot. LAP LAMBERT Academic Publishing 2014. ISBN: 978-3-659-63264-8. 275 p. (in Russ.).
- [2] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G., Tejfel' V.G. Particularities of the Great Red Spot on the Jupiter in band of the absorption of the methane. Izvestija NAN RK.- 2014.- №4.- S.77-84(in Russ.).
- [3] West, R.A.; Baines, K.H.; Friedson, A.J. et al (2004). "Jovian Clouds and Haze" In Bagenal, F.; Dowling, T.E.; McKinnon, W.B. Jupiter: The Planet, Satellites and Magnetosphere. Cambridge: Cambridge University Press
- [4] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Study of the Jupiter, Mars, Titan and Vesta. LAP LAMBERT Academic Publishing 2013. ISBN: 978-3-659-51391-6. 386 p. (in Russ.).
- [5] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Variations of the ammonium absorption in 10300 Å on disk of the Jupiter. Izvestija NAN RK. . 2006, № 4 (in Russ.).
- [6] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A.,Tejfel' V.G., Haritonova G.A. Dramatic events on the Jupiter in 2009-2011. Izvestija NAN RK.- 2012.- №4.- S.58-62 (in Russ.).
- [7] Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Spectrophotometric study of the changes on Jupiter in 2009-2011. 44-th Lunar and Planetary Sci. Conf., 2013, Abstr. No 1205, 2 PP
- [8] Dlugach J.M., Yanovitskij E.G., 1974. The optical properties of Venus and Jovian planets. Methods and results of calculations of the intensity of radiation diffusely reflected from semi-infinite homogeneous atmospheres. Icarus 22 (1), pp. 66-81

## **2015 ЖЫЛЫ КӨРІНУ МАУСЫМЫНДА ЮПИТЕРДЕ МЕТАНДЫ-АММИАКТЫ ЖҰТУДЫ ЗЕРТТЕУ. I. ЭКВАТОР АЙМАҒЫ**

**В. Д. Вдовиченко, Г. А. Кириенко, П. Г. Лысенко**

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

**Тірек сөздер:** Юпитер, метан, аммиак, жұту жолактары.

**Аннотация.** 2015 жылғы спектрлік бақылаулар негізінде Юпитер дискісі бойынша метан және аммиак жұту варияциялары алынды. Спектрдің жақын ИК аймақтарында метан жұтудың күшті жолактары аясында аммиакты жұту жолактарын айыруға мүмкіндік беретін спектрлерді өңдеудің соны әдісі пайдаланылады.  $\text{CH}_4$  және  $\text{NH}_3$  жолактарының спектрлік сипаттамалары ғаламшардың бес сипатты бұлтты құрылудары үшін пайдаланылады: EZ, SEB, NEB, STrZ, NTrZ және орталық меридиан. Үқас зерттеудердің көп саны жеткілікіз болғандықтан ерекше назар аммиакқа аударылады.  $\text{NH}_3 \lambda 645$  нм абсолюттілік жолактары мінезі мысалында Юпитер экваторы бойында аммиакты жұтудың вариациясының ерекшеліктері көлтіріледі. Осы ерекшеліктер 8 бар қатары деңгейіне дейін Юпитердің барлық газды атмосферасы бойында  $\text{NH}_3$  концентрациясы өзгерістерімен түсіндірілетінінің болжамы айтылады.

*Поступила 15.15.2015 г.*