

Н. Н. БОНДАРЕНКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА $\text{NH}_3$ 787 НМ В АТМОСФЕРЕ ЮПИТЕРА

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

*В последние годы программа спектрофотометрических исследований Юпитера включает в себя измерения аммиачного поглощения  $\text{NH}_3$  в полосе 787 нм. Эта полоса блендируется более интенсивной полосой поглощения метана  $\text{CH}_4$ . Для выделения полосы аммиака  $\text{NH}_3$  мы использовали отношение спектра Юпитера к спектру экваториального региона Сатурна. Было принято во внимание, что аммиачное поглощение на Сатурне значительно слабее, чем на Юпитере. Были проанализированы результаты обработки спектрограмм за период с 2007 по 2011 г. Широтные вариации аммиачной полосы  $\text{NH}_3$  выявили депрессию поглощения в нижних и умеренных широтах северного полушария Юпитера. Эквивалентная ширина уменьшается примерно с 18-16 Å до 14-12 Å. Для экваториального пояса Юпитера был получен более или менее симметричный ход поглощения и резкое уменьшение поглощения при переходе от центра диска к краям. Это можно рассматривать как доказательство реальности существования широтной депрессии и отсутствия инструментальных ошибок. Следует отметить, что уменьшение количества аммиака в северном полушарии также было обнаружено по радионаблюдениям Юпитера.*

**Введение.** Полосы поглощения аммиака в атмосфере Юпитера гораздо менее интенсивны, чем полосы метана, кроме того, большинство аммиачных полос перекрывается полосами поглощения метана, что усложняет исследование хода аммиачного поглощения по диску. Содержание газообразного аммиака в атмосфере должно испытывать пространственно-временные вариации, так как, в отличие от метана, который присутствует только в газообразной фазе, аммиак замерзает при температурах, характерных для видимого облачного покрова, в основном и состоящего из аммиачных кристаллов.

Ранее было выявлено различие в широтном ходе поглощения аммиака по диску Юпитера на основе: оптических наблюдений с КА Вояджер-1 [1] и космического телескопа Хаббл [2], а также по радиоастрономическим наблюдениям [3-5]. По этим данным концентрация аммиака в низких и умеренных широтах северного полушария Юпитера несколько понижена. Хотя существует большое количество публикаций, посвященных изучению аммиака в атмосфере Юпитера, пространственно-временные вариации остаются мало изученными. Полоса поглощения аммиака 787 нм в спектре Юпитера ранее почти не исследовалась, проводились только ее лабораторные измерения (Bowles N. [6]).

Настоящая работа является продолжением исследований хода поглощения аммиака в полосе 787 нм для выявления ее широтно-долготных вариаций.

**Наблюдения.** Наблюдения выполнялись сотрудниками лаборатории физики Луны и планет Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова на 0.6-м телескопе РЦ-600.с помощью дифракционного спектрографа SGS производства компании SBIG (США) с ПЗС-камерой ST-7XE .

Запись спектрограмм на компьютер осуществлялась сериями по 10-30 спектрограмм в автоматическом режиме. Кроме записи спектров при ориентации входной щели спектрографа вдоль центрального меридиана Юпитера получен ряд серий зональных спектров-сканов – при последовательном перемещении изображения диска Юпитера на щели, ориентированной параллельно экватору. Таким способом были записаны спектры всех зон диска от северной полярной области до южной. Для данного исследования это оказалось весьма полезным в качестве независимого контроля полученных результатов, относящихся к полосе  $\text{NH}_3$  787 нм.

Сезон наблюдений 2010 г. был примечателен тем, что стала практически невидимой в непрерывном спектре обычно темная и широкая южная экваториальная полоса облаков SEB, хотя в полосе поглощения метана 887 нм её видимость не изменилась. Похожая картина наблюдалась в 1989 г. и ранее, хотя такое «исчезновение» SEB все же довольно редкое событие.

**Методика обработки спектрограмм.** Полоса поглощения аммиака 787 нм находится внутри более интенсивной и широкой абсорбционной полосы метана, простирающейся от 765 до 825 нм. Как видно при сравнении спектров Юпитера и Сатурна (рис. 1), именно аммиачное поглощение создает различие в профиле полосы.

Алгоритм обработки состоял из двух частей: первоначальной обработке спектрограмм в программе CCDOPS и последующей их обработке по специально составленной программе в системе электронных таблиц EXCEL.

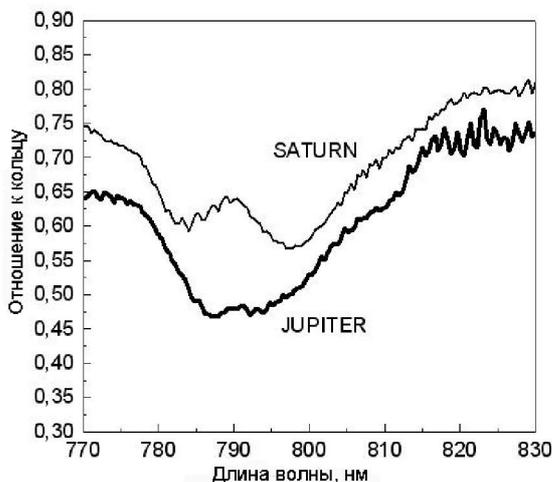


Рис. 1. Сравнение спектров Юпитера и Сатурна в области полосы  $\text{CH}_4 + \text{NH}_3$  787 нм

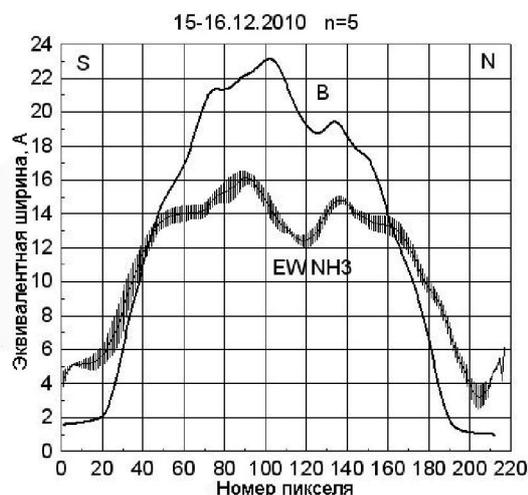


Рис. 2. Ход поглощения аммиака, усредненный по нескольким спектрам. Кривая В – ход яркости вдоль ЦМ Юпитера

На первоначальном этапе как меридиональные, так и зональные спектрограммы усреднялись по 5 и дальнейшая обработка производилась по усредненному спектру. Для проверки по обработке отдельных спектрограмм было найдено, что с погрешностью не более 14% усредненный спектр дает тоже, что и индивидуальный (рис. 2).

В качестве опорного спектра для выделения полосы аммиака 787 нм из блендирующей ее полосы метана использовался спектр центра диска Сатурна, в котором аммиачное поглощение в изучаемой области спектра практически отсутствует. Так как в данной работе исследуется поведение полосы поглощения аммиака в разных участках диска Юпитера, в качестве спектра сравнения использовался один и тот же спектр Сатурна для всех спектров Юпитера. Следующим шагом было определение для разных участков центрального меридиана или экватора планеты эквивалентной ширины полосы поглощения

$$EW = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (I - I_{\lambda} / I_c) * \Delta\lambda,$$

где  $I_{\lambda}$  и  $I_c$  – интенсивности внутри полосы и в интерполированном на полосу непрерывном спектре,  $\Delta\lambda$  – шаг интегрирования (один пиксель в ангстремах – 4.3 А). Пределы интегрирования  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответствуют краям полосы поглощения.

Как результат работы программы выводится график, на котором представлен профиль полосы поглощения аммиака 787 нм и профиль яркости в непрерывном спектре 680 нм.

Таким образом, были обработаны все спектрограммы за нынешний сезон наблюдений, получены графики, на основе которых сделаны некоторые выводы.

**Результаты и выводы.** Обработка многочисленных спектрограмм, полученных в этом сезоне наблюдений, дает практически один и тот же результат: наблюдается депрессия полосы поглощения аммиака  $\text{NH}_3$  787 нм в северном полушарии Юпитера, причем в пределах одной серии спектров разброс оценок эквивалентных ширин очень мал (около 6%). От серии к серии получались некоторые вариации, которые частично обусловлены меняющимся из-за атмосферной Турбулентности качеством изображений, но в основном, скорее всего, долготными различиями, поскольку облачные пояса Юпитера обладают значительной неоднородностью в альbedo и структуре облачных деталей. За время съемки даже одной серии спектрограмм Юпитер успевает повернуться примерно на 2 градуса. Кроме того, в процессе съемки спектрограмм изображение из-за атмосферного дрожания щель немного «гуляет» на щели спектрографа по, что также сказывается на точности.

Как уже упоминалось выше, для дополнительной проверки, а также для подтверждения того, что выявленный эффект депрессии аммиачного поглощения не является инструментальной ошибкой, были выполнены дополнительные наблюдения, состоявшие в записи спектров отдельных зон Юпитера путем сканирования диска щелью, установленной параллельно экватору планеты. Как видно из рис. 3, данные последовательного сканирования приводят к тому же результату, что и спектрограммы центрального меридиана: депрессия полосы  $\text{NH}_3$  787 нм проявляется в обоих случаях.

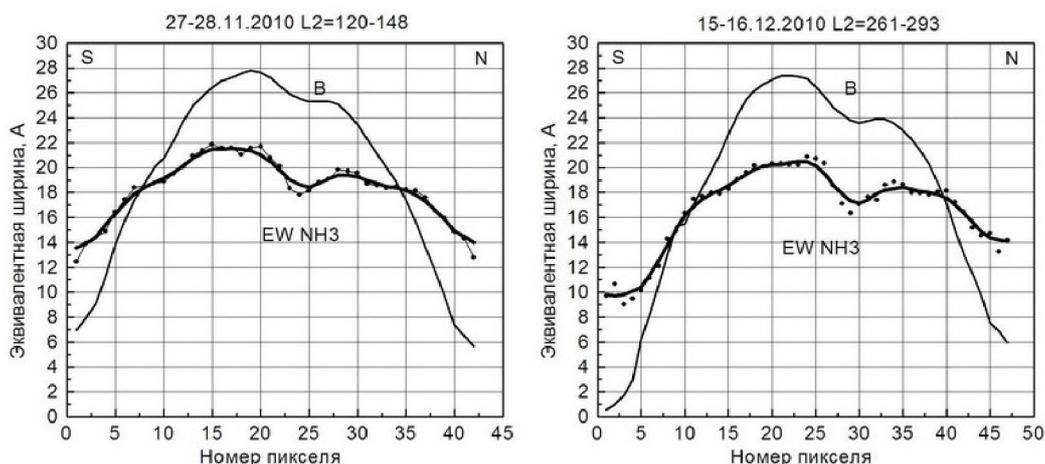


Рис. 3. Ход аммиачного поглощения в полосе 787 нм по сканирующим спектрам

На рис. 4 представлен ход поглощения аммиака по обработке нескольких спектров экваториального пояса Юпитера. Отсутствие здесь характерного для меридиональных спектров «провала» в ходе поглощения, показывает, что наблюдаемая депрессия поглощения  $\text{NH}_3$  в северном полушарии Юпитера не является результатом каких-либо инструментальных ошибок.

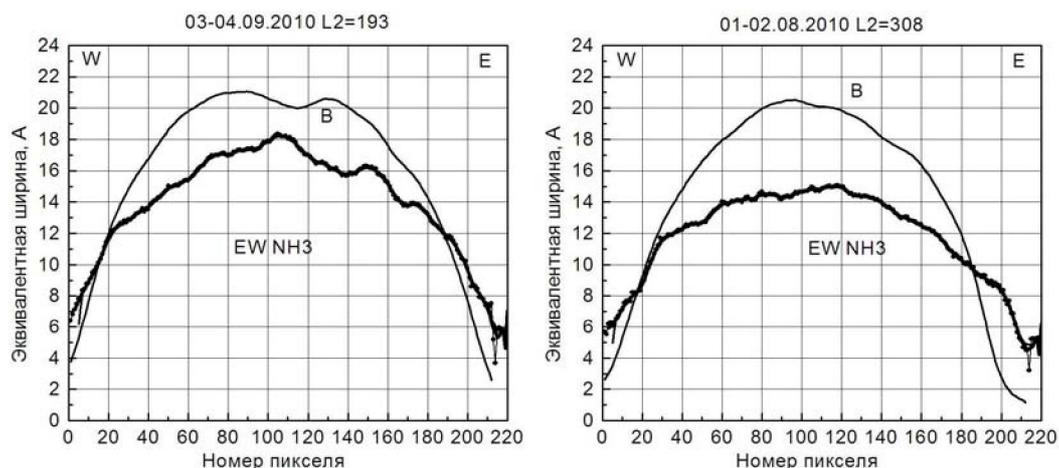


Рис. 4. Ход полосы поглощения аммиака 787 нм вдоль экватора Юпитера

На рис. 5 представлен ход поглощения аммиака в 2008 г. и в 2010 г. Хотя в 2010 г. произошли значительные изменения в зональной структуре облачных поясов Юпитера – исчезла темная облачная полоса SEB, однако на общем ходе аммиачного поглощения это принципиальным образом не отразилось – депрессия по-прежнему наблюдалась в северном полушарии Юпитера.

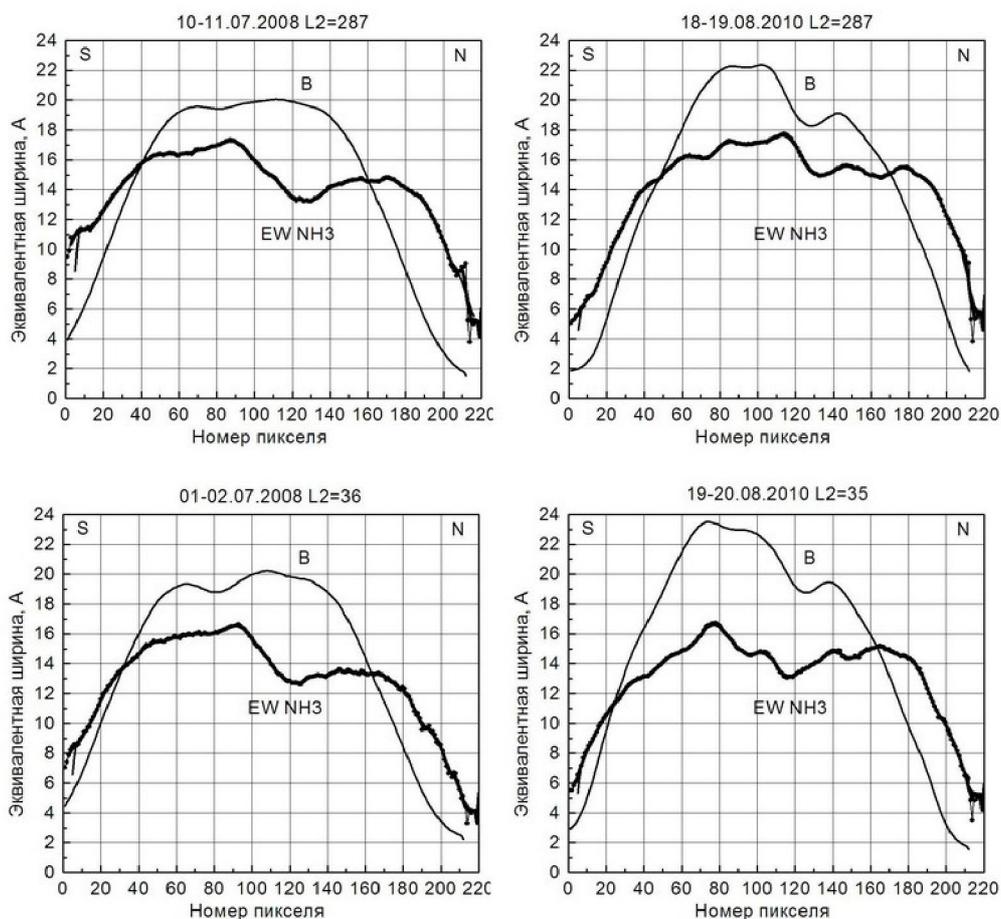


Рис. 5. Сравнение хода аммиачного поглощения в 2008 г. (слева) и в 2010 г. (справа)

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что в атмосфере Юпитера существуют долго-широтные вариации поглощения аммиака. Этот результат находится в хорошем согласии с исследованиями предшествующих лет [7-9]. Работа в данном направлении продолжается. Необходимы дальнейшие исследования атмосферы Юпитера для получения временного хода аммиачного поглощения, а также для выяснения причин депрессии аммиачного поглощения в северном полушарии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gierasch P.J., Conrath B.J., Magalhaes J.A. Zonal mean properties of Jupiter's upper troposphere from voyager infrared observations // *Icarus*. – 1986. – V. 67. – P. 456-483.
2. Edgington S.G., Atreya S.K., Trafton L.M., Caldwell J.J., Beebe R.F., Simon A.A., West R.A., Barnet C. On the Latitude Variation of Ammonia, Acetylene, and Phosphine Altitude profiles on Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations // *Icarus*. – 1998. – V. 133. – P. 192-209.
3. Sault R.J., Chermelle E., de Pater I. Longitude-resolved imaging of Jupiter at  $\lambda = 2$  cm // *Icarus*. – 2004. – V. 168. – P. 336-343.
4. Showman A.P., de Pater I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance // *Icarus*. – 2005. – V. 174. – P. 192-204.
5. de Pater I, Dunn D., Romani Paul, Zahnle K. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter // *Icarus*. – 2001. – V. 149. – P. 66-78.
6. Bowles N., Calcutta S., Irwina P., Templea J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24  $\mu\text{m}$  to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter // *Icarus*. – 2008. – V. 196, I. 2. – P. 612-624. – *Mars Polar Science IV*.
7. Teffel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinyaeva N.V., Karimov A.M. Spatially resolved variations in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2005. – Vol. 24, N 4. – P. 359-367

8. Тейфель В.Г., Харитоновна Г.А., Каримов А.М. Особенности широтного хода аммиачного поглощения в полосе NH<sub>3</sub> 7870 А на Юпитере // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2006. – № 4. – С. 57-61.

9. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Comparative morphology of molecular absorption on the discs of Jupiter and Saturn // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 2003. – Vol. 22(2). P. 135-144.

## REFERENCES

1. P.J. Gierasch, B.J. Conrath and J.A. Magalhaes, Zonal mean properties of Jupiter's upper troposphere from voyager infrared observations, *Icarus*, **1986**, V. 67, P. 456-483.

2. S.G. Edgington, S.K. Atreya, L.M. Trafton, J.J. Caldwell, R.F. Beebe, A.A. Simon, R.A. West and C. Barnet, On the Latitude Variation of Ammonia, Acetylene, and Phosphine Altitude profiles on Jupiter from HST Faint Object Spectrograph Observations, *Icarus*, **1998**, V. 133, P. 192-209.

3. R.J. Sault, E. Chermelle and I. de Pater, Longitude-resolved imaging of Jupiter at  $\lambda=2$  cm, *Icarus*, **2004**, V. 168, P. 336-343.

4. A.P. Showman and I. de Pater, Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance, *Icarus*, **2005**, V. 174, P. 192-204.

5. de Pater I, D. Dunn, Paul Romani, K. Zahnle, Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter, *Icarus*, **2001**, V.149, P. 66-78.

6. N. Bowles, S. Calcutta, P. Irwina, J. Templea, Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24  $\mu\text{m}$  to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter, *Icarus* V.196, I. 2, **2008**, P. 612-624, Mars Polar Science IV

7. V. G. Tejfel, V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, G. A. Kharitonova, N. V. Sinyaeva and A. M. Karimov, Spatially resolved variations in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 24, No. 4, **2005**, 359-367

8. V.G Tejfel'. G.A. Kharitonova, A.M.Karimov. Osobennosti shirotного hoda ammiachного pogloschenija v polose NH<sub>3</sub> 7870 A на Юпитере, *Izv. NAN RK ser. fiz.-mat.* №4, **2006**, S.57-61, (in Russ.).

9. V. G. Tejfel, V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, G. A. Kharitonova, Comparative morphology of molecular absorption on the discs of Jupiter and Saturn, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 22(2), **2003**, pp. 135-144.

*H. H. Bondarenko*

ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫНДА АММИАК NH<sub>3</sub> 787НМ  
ЖҰТУ ЖОЛАҚТАРЫ ТҮРЛЕНУІНІҢ ЗЕРТТЕУІ

Соңғы жылдары Юпитерді спекрофотометрлік зерттеу бағдарламасы 787нм жолағында NH<sub>3</sub> аммиакты жұту өлшеміне назар аударған. Бұл жолақ CH<sub>4</sub> метан жұту жолағымен аса қарқынды араласады. Аммиак NH<sub>3</sub> жолағын бөлу үшін біз Юпитер спектрінің Сатурн экваторлы аймағының спекторына арақатынасын пайдаландық. Сатурнда аммиакты жұту Юпитерге қарағанда анағұрлым әлсіз екендігі назарға алынды. 2007–2011 жылдар аралығындағы спектрограмманың қайта өңделу нәтижелері талқыланды. Аммиакты жолақ NH<sub>3</sub> кеңдік вариациясы Юпитердің солтүстік жартышарының төменгі және қалыпты кеңдігінде жұту күйзелісін анықтады. Эквиваленттік ұзындық шамамен 18-16 А-дан 14-12 А-ға кішірейеді. Юпитердің экваториалды белдігі үшін жұтудың симметриялық жолы, жұтудың дисктің ортасынан жиегіне өтуінен бірден төмендеуі алынды. Бұны кеңдік күйзелісінің нақты бар екендігін және инструменталды қателіктердің жоқ екендігіне дәлелдеме ретінде қарастыруға болады. Солтүстік жартышарда аммиак санының төмендегенін белгілеуге болады.

*N. N. Bondarenko*

THE STUDY OF THE AMMONIA NH<sub>3</sub> 787nm ABSORPTION BAND  
IN JUPITER'S ATMOSPHERE

During the last years the program of the spectrophotometric study of Jupiter included the measurements of the ammonia absorption band NH<sub>3</sub> 787 nm. This band is blended with more wide CH<sub>4</sub> absorption. To detect NH<sub>3</sub> band we have used the ratio of Jovian spectra to the spectrum of Saturn equatorial region. It was taken into account that the ammonia absorption on Saturn is significantly weaker than on Jupiter. The results of the spectrograms processing have been analyzed for years 2007-2011. The variations of the NH<sub>3</sub> band with latitude show regularly the depression of the absorption at low and temperate latitudes of Jovian northern hemisphere. The equivalent width decreases approximately from 18-16 A to 14-12 A More or less symmetric and more steep decrease of absorption from the disk center to limbs was obtained for the equatorial belt of Jupiter. It may be considered as an evidence for reality of that latitudinal depression but not the instrumental errors. It should be noted that the ammonia decrease in northern hemisphere was detected also from radioobservations of Jupiter.