

УДК 523.45

В. Г. ТЕЙФЕЛЬ, А. М. КАРИМОВ, Г. А. ХАРИТОНОВА

ОСОБЕННОСТИ ШИРОТНОГО ХОДА АММИАЧНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ПОЛОСЕ NH_3 7870 А НА ЮПИТЕРЕ

На основе обработки ПЗС-спектров, полученных в последние годы, впервые исследовано поведение на диске Юпитера полосы поглощения аммиака NH_3 7870 А, выделенной из блендирующей полосы метана путем вычисления отношения спектров Юпитера и Сатурна. Обнаружено заметное ослабление аммиачного поглощения в северном полушарии Юпитера, качественно согласующееся с данными радиоастрономических наблюдений.

В спектрах Юпитера в отличие от полос поглощения метана полосы аммиака обладают значительно меньшей интенсивностью, а главное, большинство из них перекрывается с полосами метана. Это существенно затрудняет изучение пространственно-временных вариаций поглощения аммиака на диске планеты. Несмотря на довольно большое количество публикаций, посвященных исследованию аммиачного поглощения в спектре Юпитера (например, [1–3]), пространственно-временные вариации поглощения пока остаются мало изученными. Между тем детальное исследование таких вариаций может быть важным источником информации о структуре облачного покрова Юпитера. Дело в том, что аммиак в условиях юпитерианской атмосферы играет примерно ту же роль, что водяной пар в земной атмосфере. Он конденсируется или сублимирует в кристаллы, образующие верхний облачный слой и дымку на Юпитере. Концентрация газообразного метана CH_4 сама по себе не должна испытывать заметных горизонтальных вариаций (кроме обычного хода концентрации с высотой пропорционально общей плотности атмосферы). Наблюдаемые вариации метанового поглощения обусловлены различиями в объемной плотности облачного покрова, поскольку формирование полос поглощения происходит в газовой аэрозольной среде в процессе многократного рассеяния. Наблюдаемая же интенсивность полос поглощения аммиака зависит еще и от локальных температурных вариаций в атмосфере, которые создаются конвективными потоками и вихревыми образованиями и влияют на концентрацию NH_3 в газообразной фазе.

Методика наблюдений и их обработки. Спектрофотометрические наблюдения Юпитера

ведутся в Астрофизическом институте уже в течение многих лет, но в основном они касались исследований широтно-долготных вариаций поглощения метана [4,5]. В последние годы с помощью нового дифракционного спектрографа производства компании SBIG (Santa Barbara Instrument Group) получен большой наблюдательный материал в виде ПЗС-спектрограмм различных зон Юпитера, позволивший осуществить измерения блендированной метаном полосы поглощения NH_3 7870 А наряду со слабой полосой вблизи 6430 А. Наблюдения выполнялись на 0,6-м телескопе н/п «Карл Цейс-Йена». Спектрограф устанавливался в 7,5-м кассегреневском фокусе телескопа, так что масштаб изображения на спектрограммах, имеющих дисперсию 4,3 А на пиксель, составлял 4,1 пикселя на угловую секунду. Таким образом, ширина спектрограммы при экваториальном угловом диаметре планеты 45 с дуги равнялась приблизительно 180 пикселям.

Спектрограммы записывались при временах экспозиции от 60 до 10 с. Хотя при более коротких выдержках снижался уровень яркости до примерно 5000 каунтов в максимуме яркости спектра, качество получаемых изображений было лучше. Благодаря линейности передачи яркостей, присущей ПЗС-матрицам, на точность измерений это могло влиять только некоторым усилением шумов и снижением отношения «сигнал/шум». Однако сравнение измерений спектров с разным временем экспонирования не выявило существенной разницы в результатах. Кроме того, также для сравнения, проводилось сложение от 5 до 10 спектрограмм и обрабатывался суммарный спектр с более высокими отсчетами яркости.

Запись спектрограмм на компьютер осуществлялась с помощью ПЗС-камеры ST-7XE про-

изводства той же компании SBIG сериями по 10–30 спектрограмм в автоматическом режиме. Кроме записи спектров при ориентации входной щели спектрографа вдоль центрального меридиана или экватора Юпитера получен ряд серий 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 NH_3 7870 Å.

Полоса поглощения аммиака NH_3 7870 Å находится внутри более интенсивной и широкой абсорбционной полосы метана CH_4 , занимающей участок спектра от 7650 до 8250 Å (рис. 1, а). Как видно из сравнения спектров Юпитера и Сатурна, именно аммиачное поглощение создает различие в профиле полосы у этих планет. Поглощение NH_3 в спектре Сатурна, по крайней мере в относительно слабых полосах, практически почти не ощутимо. Это и было использовано для отделения аммиачного поглощения от метанового: полоса NH_3 7870 Å легко выделяется при вычислении отношения спектра Юпитера к спектру Сатурна (рис. 1, б). Поскольку для целей данной работы нас интересует прежде всего поведение этой полосы в разных участках диска Юпитера, в качестве спектра сравнения исполь-

зовалась одна и та же спектрограмма Сатурна для всех спектров Юпитера, полученных в один сезон наблюдений, тем более, что в этих длинах волн теллурические поглощения O_2 и H_2O отсутствуют. Вся числовая обработка после оцифровки спектрограмм в программе работы с ПЗС-камерой проводилась по программам, составленным в системе электронных таблиц EXCEL, что обеспечивало быстрое получение окончательных оценок эквивалентных ширин и других характеристик полос поглощения.

Алгоритм обработки состоял из первоначального учета (вычитания) темнового шума и небольшого фона, учета поперечной неравномерности светопередачи в спектрографе, вычисления отношения спектров Юпитера к опорному спектру центра диска Сатурна, вывода профилей полос поглощения и вычисления для разных участков центрального меридиана или экватора планеты эквивалентных ширин полос поглощения:

$$EW = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - I_\lambda / I_c) \cdot \Delta\lambda,$$

где I_λ и I_c – интенсивности внутри полосы и в интерполированном на полосу непрерывном спектре; $\Delta\lambda$ – шаг интегрирования (один пиксель в ангстремах – 4.3 Å). Пределы интегрирования λ_1 и λ_2 соответствуют краям полосы поглощения.

Результаты. Самым «странным» результатом оказалось существенное различие в широтном ходе поглощения в полосе аммиака NH_3 7870 Å

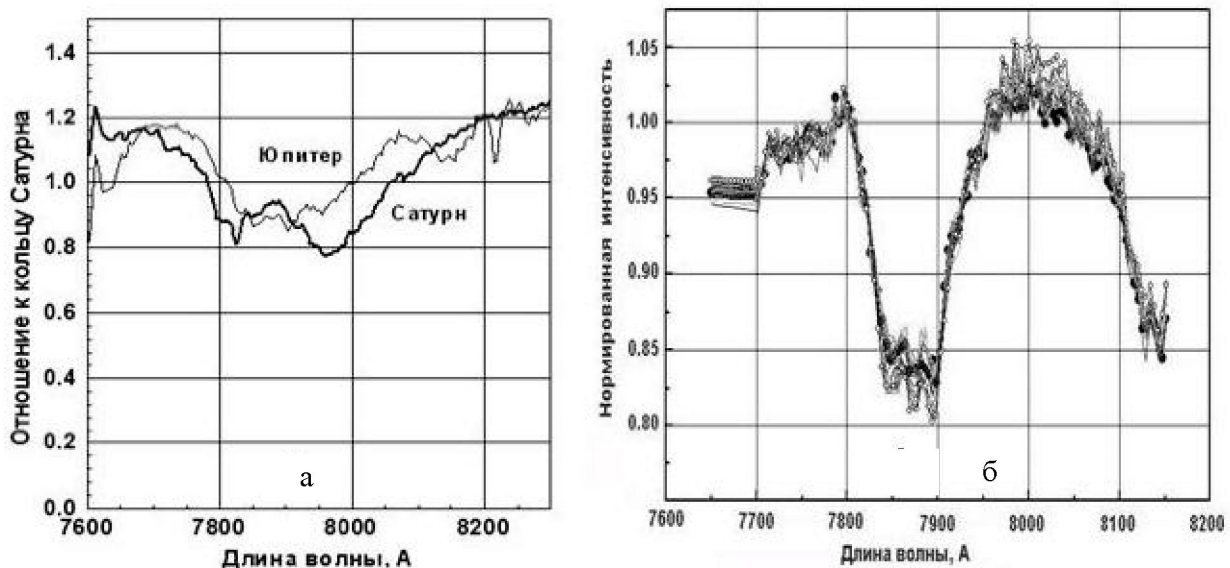


Рис. 1. Полоса поглощения NH_3 7870 Å: а – сравнение профилей полосы метан+аммиак в спектрах Юпитера и Сатурна; б – выделенный отношением спектров Юпитера и Сатурна профиль полосы поглощения аммиака

от наблюдаемых широтных вариаций поглощения метана и другой полосы NH_3 6430 Å (рис. 2, а). В северном полушарии, в районе NEB (темного Северного экваториального пояса), обнаружилась значительная депрессия поглощения аммиака [6, 7]. Поглощение метана претерпевает лишь незначительные по величине вариации с широтой, обусловленные различиями в объемной плотности облаков и высоте их верхней границы, определяемой скорее аэрозольной дымкой, чем резко ограниченным верхним уровнем облаков.

Обработка многочисленных спектрограмм, полученных в 2004–2006 гг., давала почти один и тот же результат, причем в пределах одной серии спектров сходимость оценок эквивалентных ширин была очень хорошей. От серии к серии получались некоторые вариации, частично обусловленные меняющимся из-за атмосферной турбулентности качеством изображений, но в основном, скорее всего, долготными различиями, поскольку облачные пояса Юпитера обладают значительной неоднородностью в альбедо и структуре облачных деталей (рис. 2, б). Для того чтобы убедиться в достоверности результатов, применялись различные методы обработки с учетом даже положения спектра в кадре ПЗС-матрицы,

для чего делались анимации графиков, на которых указывалось положение (Y-координата) края спектра диска Юпитера. Кроме того, в эти же периоды наблюдений записывались спектрограммы экваториальной области Юпитера. Ход поглощения аммиака вдоль экватора оказывается совершенно иным, демонстрируя довольно крутой спад поглощения от центра диска к его краям, но никаких признаков характерной для центрального меридиана (рис. 3, а) депрессии поглощения не наблюдается (рис. 3, б). Это уже дает основание полагать, что обнаруженная депрессия аммиачного поглощения в северном полушарии не может быть вызвана какими-либо инструментальными эффектами.

Тем не менее для дополнительной независимой проверки были, как упоминалось выше, выполнены дополнительные наблюдения, состоявшие в записи спектров отдельных зон Юпитера путем сканирования диска щелью, установленной параллельно экватору планеты. Таким путем получалось около 100 спектрограмм, последовательно отображавших зоны от северного до южного полюса Юпитера. Измерялись эквивалентные ширины полос аммиака вблизи середины каждой спектрограммы. Как видно из рис. 4, от-

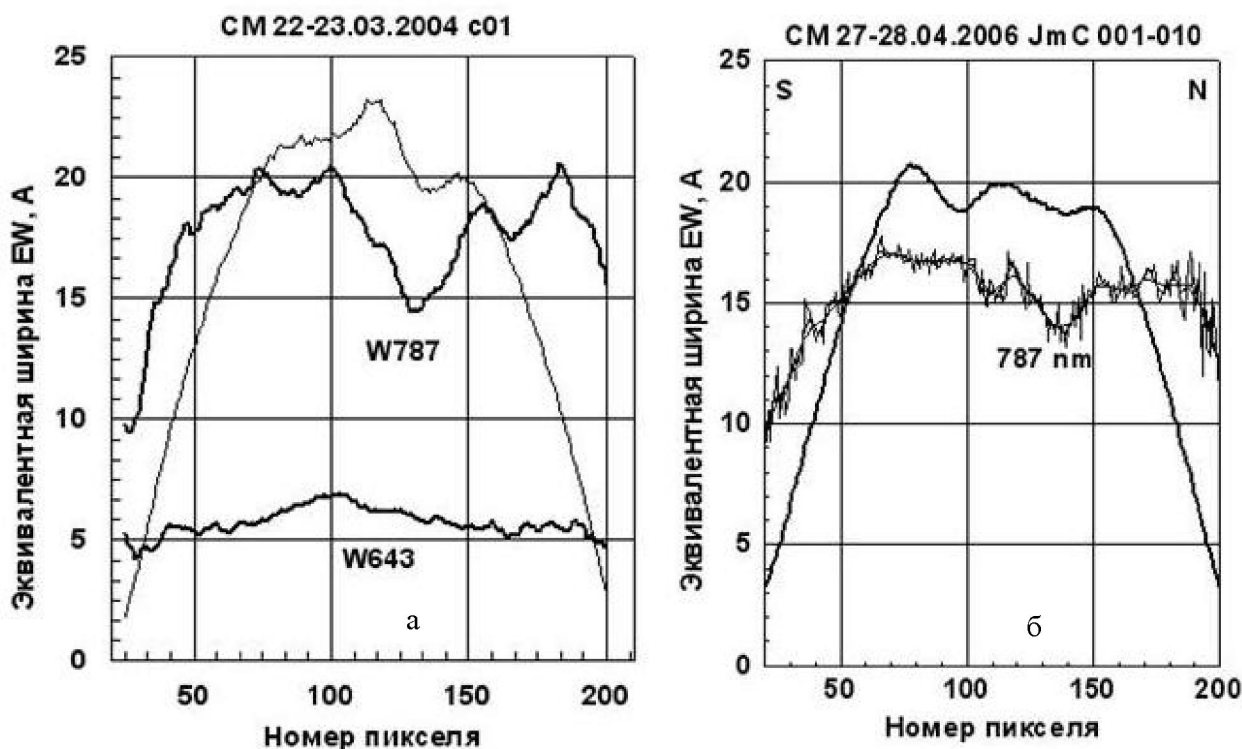


Рис. 2. Изменение эквивалентной ширины полос поглощения аммиака 7870 Å и 6430 Å вдоль центрального меридиана Юпитера: а – 22 марта 2004 г., б – 27 апреля 2004 г. Показан также ход относительной яркости вдоль ЦМ Юпитера

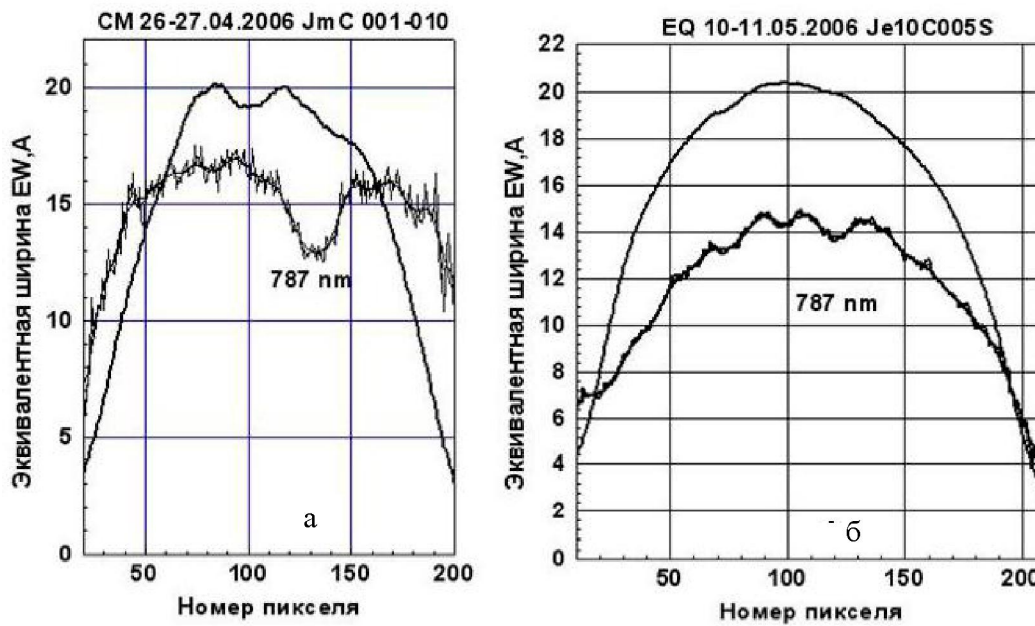


Рис. 3. Сравнение хода аммиачного поглощения в полосе 7870 Å вдоль центрального меридиана Юпитера (а) и вдоль экватора (б). Показан также ход относительной яркости в непрерывном спектре

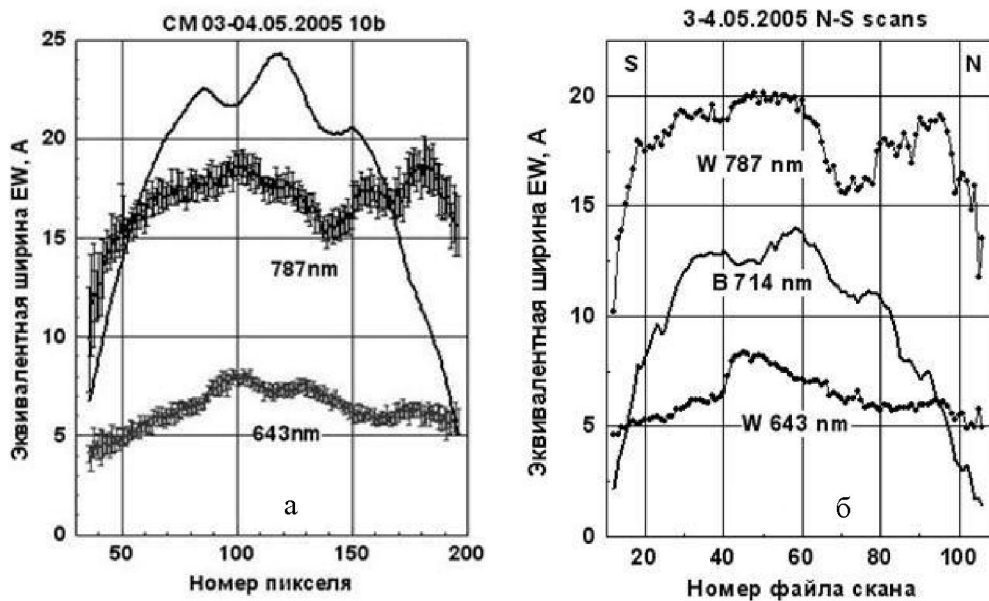


Рис. 4. Сравнение хода аммиачного поглощения в полосах 7870 Å и 6430 Å по измерениям спектра центрального меридиана Юпитера (а) и по сканирующим спектрам (б)

носящиеся к одной и той же дате измерения спектрограмм центрального меридиана (рис. 4,а) и данные последовательного сканирования (рис. 4,б) приводят к одному и тому же результату: депрессия полосы NH_3 7870 Å проявляется в обоих случаях.

В заключение отметим, что полоса поглощения NH_3 7870 Å в спектре Юпитера, насколько известно авторам, ранее никем не исследовалась.

Имеются только недавние ее лабораторные измерения [8], причем ее лабораторный профиль, судя по [9], несколько шире, чем получающийся в планетном спектре. Что касается депрессии поглощения в этой полосе в северном полушарии Юпитера, то пока, без проведения дальнейших регулярных наблюдений для выявления и долготных вариаций, давать интерпретацию наблюдаемым особенностям было бы преждевременно.

Очевидно, что это связано с неодинаковым содержанием газообразного аммиака, о чем свидетельствуют радиоастрономические данные [10, 11], согласно которым именно в области Северной экваториальной полосы (НЕВ) на Юпитере количество газообразного NH_3 получается почти на порядок меньше, чем на тех же широтах южного полушария. На различия в аммиачном поглощении указывают и измерения, выполненные с космического зонда «Cassini» [12]. Полученный нами наблюдательный материал достаточно объемный, так что его полная обработка и анализ потребуют значительного времени, как и дальнейшие наблюдения, запланированные на ближайшие периоды видимости Юпитера.

Авторы благодарны д-ру G.Orton (JPL) за представление доклада о данном исследовании на годичной конференции Отделения планетных наук Американского астрономического общества и д-ру N. Bowles за присланные данные лабораторных измерений.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lutz B.L., Owen T. The visible bands of ammonia: band strengths, curves of growth and the spatial distribution of ammonia on Jupiter // *Astroph. J.* 1980. V.235. P.285-293.
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. Burgdorf, M. J., Orton G. S., Encrenaz T., Davis G. R., Lellouch E., Sidher S. D., Swinyard B. M. Far-infrared spectroscopy of the giant planets: measurements of ammonia and phosphine at Jupiter and Saturn and the continuum of Neptune // *Advances in Space Research.* 2004. V.34, N11. P. 2247-2250.
4. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A. Comparative morphology of molecular absorption on the disks of Jupiter and Saturn // *Astron.& Astrophys. Transactions.* 2003. V.22. N 2. P.135-144.

5. Tejfel V.G., Kharitonova G.A. Variations of the Methane Absorption Latitudinal Distribution on Jupiter in 1995-2003 // *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2003. V. 35, N 3. P. 4027.

6. Tejfel 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 // *Astron.&Astroph.Transactions.* 2005. V.24, N4. P. 359-367.

7. Tejfel V.G., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange latitudinal variations of the ammonia absorption on Jupiter // *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2005. V.37. P.30.

8. Bowles N. E., Calcutt S. B., Irwin P. G. J., Temple J. M. Near-Infrared Spectroscopy of Ammonia gas to support measurements of the Atmosphere of the Planet Jupiter // *DPS AAS Meeting.* 2004. Abstract #36.01.

9. Bowles N.E. 2006 Private communication.

10. 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.

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

12. Achterberg R. K., Conrath B. J., Gierasch P. J. Cassini CIRS retrievals of ammonia in Jupiter's upper troposphere // *Icarus.* 2006. V.182. P. 169-180.

Резюме

Соңғы жылдарда алынған Юпитер ПЗС-спектрлерін өңдеу негізінде Юпитер және Сатурн спектрлерінің қатынасын есептеу жолымен бленденген метан жолағынан бөлінген NH_3 7870 А аммиактың жұтылу жолағының жүріс-тұрысы бірінші рет зерттелді. Радиоастрономиялық бақылау мәліметтерімен сапалық түрде келістірілген Юпитердің солтүстік жартысындағы аммиактың жұтылуының айқын әлсіреуі табылды.

Summary

The behavior of the ammonia absorption band NH_3 7870 A on Jupiter's disk have been studied for the first time from the measurements of CCD-spectra recorded during last years. This band blended by the methane absorption was allocated from the ratio of the spectra of Jupiter and Saturn. A significant decrease of this band is detected in the Northern hemisphere of Jupiter. This peculiarity is in qualitative consent with the data of radioastronomical observations.