

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

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 185 – 191

UDK 523.45

V.G.Teifel, A.M.Karimov, P.G.Lysenko,
V.A.Filippov, G.A.Kharitonova, A.P.Khozhenetz

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

**JUPITER: VARIATIONS OF THE MOLECULAR ABSORPTION AT FIVE
MAIN LATITUDINAL BELTS FROM LONGTIME OBSERVATIONS**

Abstract. We measured the intensity of the 645 and 787 nm NH₃ absorption bands in five latitudinal belts of Jupiter (STZ, SEB, EZ, NEB and NTZ) during almost full period of its revolution around the Sun: from 2005 to 2015. The variations in the equivalent widths of the bands were investigated. The permanently lowered intensity of the 787 nm NH₃ band in NEB is confirmed. There are also some systematic differences in latitudinal and temporal variations between the 645 and 787 nm ammonia bands. The intensity of these absorption bands is due to two factors: variations of the gaseous ammonia abundance, as indicated by observations of Jupiter's thermal radiation in the radio range of millimeter waves, and the process of multiple scattering within the ammonia clouds.

Key words: Jupiter, atmosphere, methane, ammonia, absorption bands.

УДК 523.45

В.Г.Тейфель, А.М.Каримов, П.Г. Лысенко,
В.А. Филиппов, Г.А. Харитоновна, А.П. Хоженец

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

**ЮПИТЕР: ВАРИАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
В ПЯТИ ОСНОВНЫХ ШИРОТНЫХ ПОЯСАХ
ПО МНОГОЛЕТНИМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

Аннотация. Мы измерили интенсивность полос поглощения NH₃ 645 и 787 нм в пяти широтных поясах Юпитера (STZ, SEB, EZ, NEB и NTZ) в течение почти полного периода его обращения вокруг Солнца: с 2005 по 2015 год. Вариации в эквивалентных ширинах зон. Подтверждена постоянно пониженная интенсивность полосы NH₃ 787 нм в NEB. Имеются также некоторые систематические различия в широтных и временных вариациях между полосами аммиака 645 и 787 нм. Интенсивность этих полос поглощения обусловлены двумя факторами: вариациями содержания газообразного аммиака, на что указывают наблюдения теплового излучения Юпитера в радиодиапазоне миллиметровых волн, и процесс многократного рассеяния внутри аммиачных облаков.

Ключевые слова: Юпитер, атмосфера, метан, аммиак, полосы поглощения.

Введение. Полосы молекулярного поглощения метана и аммиака, наблюдаемые в видимой и ближней инфракрасной области спектра Юпитера, наиболее интересны для изучения их пространственных и временных вариаций, отражающих различия и изменения в верхней тропосфере и в облачном покрове планеты. Полосы в более далеком диапазоне инфракрасного спектра более интенсивны, но играют большую роль в переносе собственного теплового излучения из глубинных слоев атмосферы, тогда как влияние облаков на перенос этого излучения становится практически несущественным в длинах волн более 8-10 мкм. Если по исследованиям поведения полос поглощения метана на Юпитере существует довольно большое количество публикаций, то в отношении аммиачного поглощения в видимой области спектра подобного рода исследований, тем более за достаточно длительное время, весьма немного [1- 4]. Дело в том, что аммиачные полосы поглощения малы по интенсивности и к тому же накладываются на полосы поглощения метана, так что

необходимо каким-то образом выделять их из суммарного профиля в спектре планеты. Более поздние наблюдения проводились в инфракрасной области спектра, где также расположен ряд интенсивных полос поглощения аммиака, хотя и там они перекрываются с полосами метана. Не много имеется и лабораторных исследований аммиачного поглощения, а в видимой области спектра [5-7].

Начиная с 2004 года, регулярные спектральные наблюдения Юпитера выполняются с помощью дифракционного спектрографа с ПЗС-камерой, что позволило получить достаточно однородный материал, на основе которого могут быть исследованы особенности поведения полос молекулярного поглощения в течение длительного времени, охватывающего полный 12-летний период обращения Юпитера вокруг Солнца. В данной работе прослеживается общий временной ход вариаций интенсивности полос поглощения метана и аммиака в 5 основных поясах Юпитера : в Южной и Северной Тропических зонах (STZ и NTZ), в Южном и Северном Экваториальных поясах (SEB и NEB) и в Экваториальной зоне (EZ).

Наблюдения и их обработка. Для измерений было отобрано и обработано 600 по спектрограмм центрального меридиана Юпитера – по 10-12 на каждый год, начиная с 2005 года. На спектрограммах (рисунок 1) выделялись и записывались в цифровом формате 5 показанных на рисунке зон спектры шириной 15 пикселей, что соответствует приблизительно 3.7 угловой секунды на диске планеты. Ц общей сложности обработано 615 зональных спектров.



Рисунок 1 – Спектрограммы центрального меридиана Юпитера с отмеченными измерившимися поясами планеты

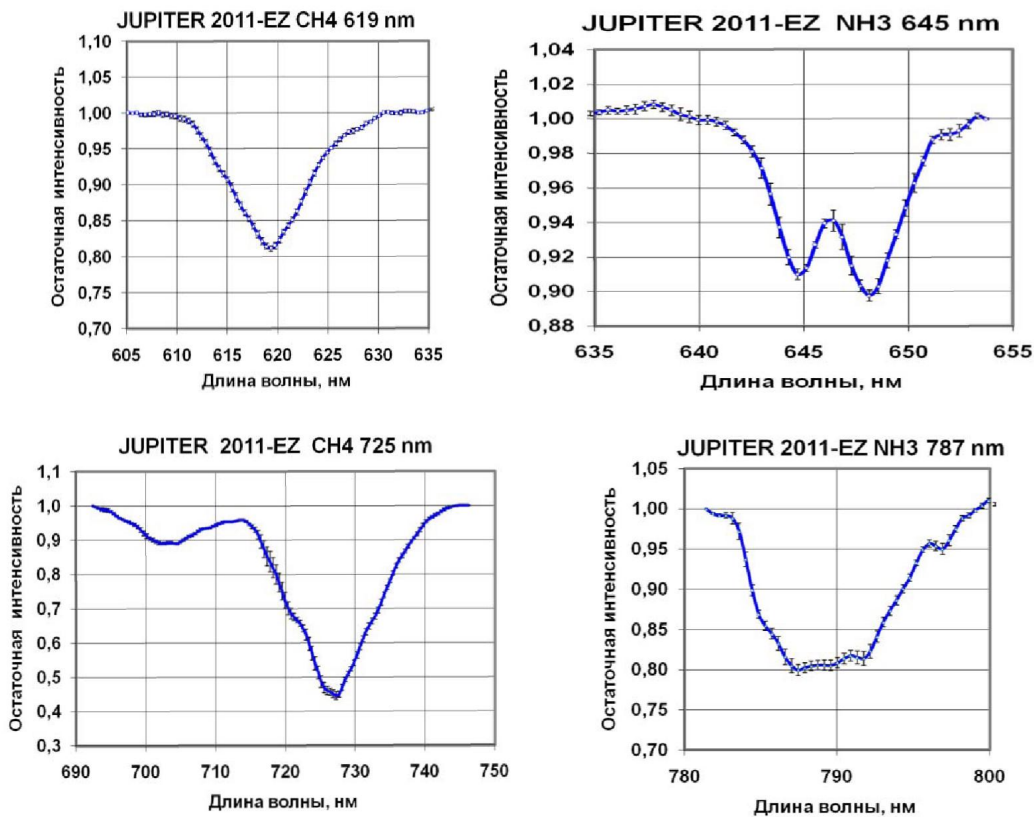


Рисунок 2 – Средние профили полос поглощения в экваториальной зоне (EZ) Юпитера за 2011 год.

Профили полос поглощения метана CH_4 619, 702 и 725 нм выводились после вычисления отношения спектра зоны к опорному спектру кольца Сатурна, лишённому планетарных поло поглощения. То же самое делалось и для полосу аммиака NH_3 645 нм, но дополнительно учитывалось то, что она находится в коротковолновом и относительно слабом крыле полосы метана, максимум поглощения которой приходится на длину волны около 667 нм. Полоса же аммиака NH_3 787 нм попадает в середину более интенсивной и широкой полосы метана, поэтому для ее выделения использовалось отношение к спектру диска Сатурна. Аммиачное поглощение на Сатурне в этой полосе практически неощутимо, так что с некоторой незначительной и постоянной погрешностью можно вывести профиль полосы аммиака для исследования ее поведения на Юпитере и пространственно- временных вариаций. На рисунке 2 показаны примеры профилей полос поглощения метана и аммиака для одного года в Экваториальной зоне Юпитера.

Как обычно, в качестве характеристик интенсивности полос поглощения вычислялись их эквивалентные ширины (W) и центральные глубины (R). В конечном счете, по результатам обработки спектров составлены комплекты профилей полос поглощения по годам и зонам и гистограмм разного вида, позволяющие проследить общий характер зональных различий в интенсивности молекулярного поглощения за 12-летний период наблюдений.

Результаты. Еще в 2004 году наши спектральные наблюдения выявили странную, как тогда показало, депрессию интенсивности полосы поглощения аммиака NH_3 787 нм в области низких широт северного полушария Юпитера [8,9]. При дальнейших наблюдениях эта особенность подтвердилась, хотя величина депрессии не оставалась постоянной. Для каждого года и каждой полосы строились гистограммы зависимости интенсивности от принадлежности к тому или иному широтному поясу или, наоборот, для заданного пояса и полосы поглощения в зависимости от года. Примеры таких гистограмм показаны на рисунке 3.

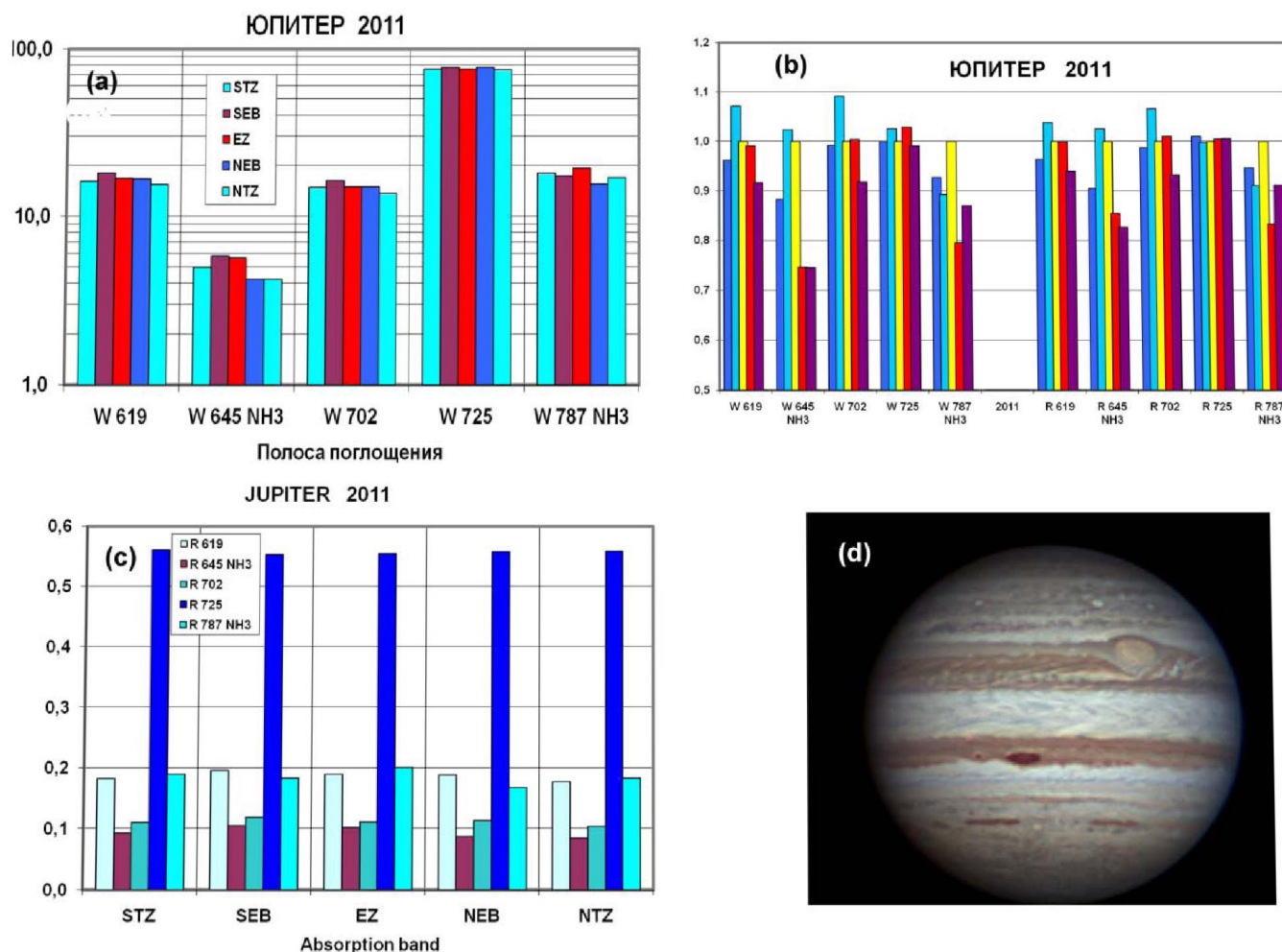


Рисунок 3 – Примеры зональных характеристик полос поглощения на Юпитере в 2011 году.
 (a) – Гистограммы зональных вариаций эквивалентных ширин полос поглощения (в логарифмическом масштабе),
 (b) - Гистограммы зональных вариаций нормированных к экваториальной зоне значений эквивалентных ширин и глубин полос поглощения, (c) - Гистограммы значений глубин полос поглощения в каждой зоне, (d)- Вид Юпитера в 2011 году

Измерения полос поглощения в 5 широтных поясах Юпитера дают возможность проследить временные изменения поглощения метана и аммиака на протяжении полного периода обращения Юпитера вокруг Солнца. Для этого по усредненным для каждого года измерениям эквивалентных ширин и глубин полос поглощения строились гистограммы, отражающие характер и амплитуду таких вариаций. На рисунке 3 показаны лишь отдельные примеры некоторых гистограмм для одного года, так как общее число их составляет более двухсот. По ним можно провести сравнение зональных различий в интенсивности полос поглощения в каждой из зон.

На рисунках 4 и 5 показаны наблюдаемые вариации центральных глубин и эквивалентных ширин полос поглощения в период с 2005 по 2015 годы. На каждом из графиков изображается временной ход для одной из полос поглощения в пяти широтных поясах. На этих графиках указываются также величины стандартного отклонения (дисперсии), определяемые при расчете средних значений.

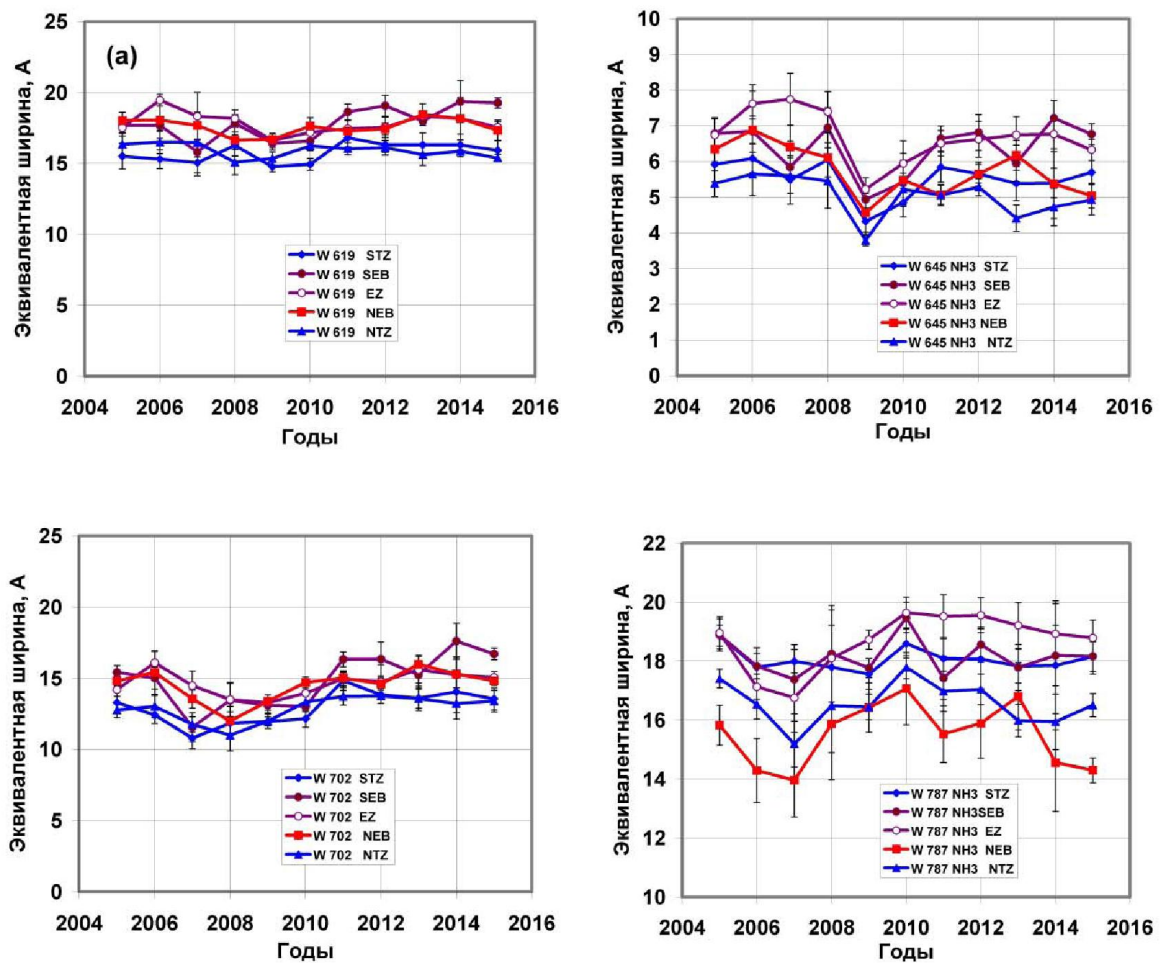


Рисунок 4 – Временные вариации эквивалентных ширин полос поглощения метана и аммиака в 5 широтных поясах Юпитера

Общий ход у полос поглощения метана CH_4 619 и 702 нм сходен у всех зон, обнаруживая небольшую депрессию в 2007-2009 годах. Аммиачное поглощение показывает некоторые особенности, причем не одинаковые у двух полос. Обращает на себя внимание понижение поглощения в полосе 645 нм в 2008-2010 годах, тогда как наименьшая интенсивность полосы 787 нм приходится на 2006-2008 годы. Систематические зональные различия в аммиачном поглощении достаточно заметны у полосы 787 нм, причем характерной особенностью является то, что эта полоса во все годы имеет хотя и переменные, но минимальные значения глубины и эквивалентной ширины в Северном экваториальном поясе (NEB) по сравнению с другими широтными поясами.

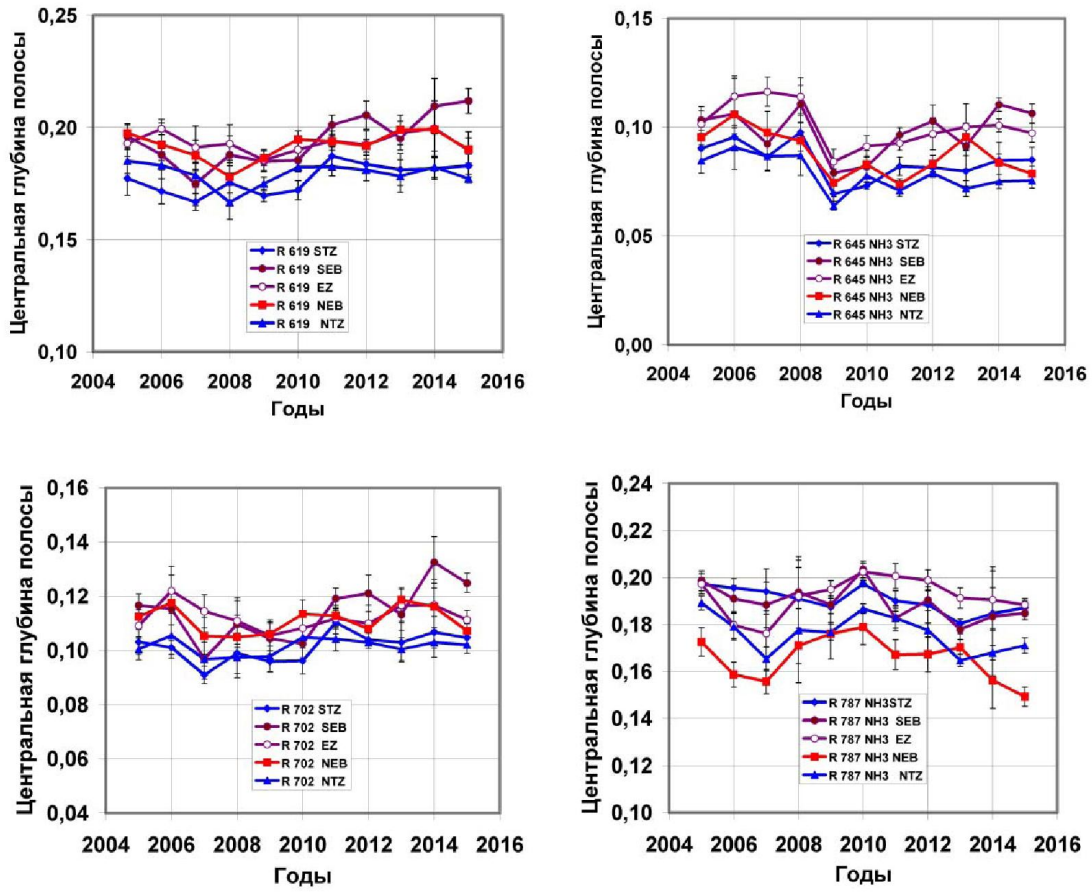


Рисунок 5 – Временные вариации центральных глубин полос поглощения метана и аммиака в 5 широтных поясах Юпитера

Обсуждение. На рисунке 6 показаны усредненные по всем годам и нормированные к EZ значения интенсивности обеих полос поглощения NH₃. Депрессия поглощения в полосе 787 нм в поясе NEB проявляется вполне отчетливо, и в среднем она достигает приблизительно 20 процентов.

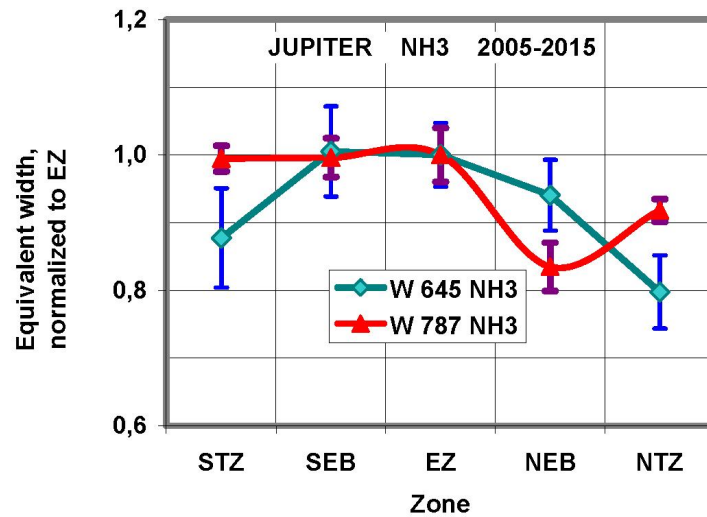


Рисунок 6 – Зональные различия усредненных по всем годам с нормировкой к EZ эквивалентных ширин полос поглощения NH₃ 645 и 787 нм

Мы пока не сделали полного анализа вариаций аммиачного поглощения по долготам, для чего требуется обработка и анализ значительно большего количества спектральных наблюдений. Такой материал

имеется и его обработка предстоит в дальнейшем. Действительно, по измерениям этих полос в разные годы широтные вариации их интенсивности обнаруживают явно переменный характер, как связанный с долготными различиями, так и носящий временную нестабильность.

В этом отношении особенно интересно сравнение с измерениями теплового инфракрасного и радиоизлучения Юпитера, выход которого из глубинных слоев атмосферы регулируется степенью непрозрачности вышележащих слоев в разных длинах волн, где находятся полосы поглощения метана и аммиака [11-13]. Как по данным о яркостных температурах в инфракрасном и радио диапазонах теплового излучения, так и по нашим наблюдениям, долготные вариации определенно существуют. Их изучение, особенно с позиций изменения содержания газообразного аммиака на разных широтах и долготах представляется весьма важным и интересным. Так что полученные результаты стимулируют постановку дальнейших более детальных исследований.

Заключение. Для нас наибольший интерес представляет то, как за эти годы наблюдений вело себя аммиачное поглощение. По ранним радионаблюдениям (например, [12]) было отмечено повышение яркостной температуры именно в поясе NEB. Это интерпретируется как результат пониженного содержания аммиака в тропосфере Юпитера, поскольку именно аммиачное поглощение определяет степень ее непрозрачности для выходящего теплового радиоизлучения. Недавние радионаблюдения Юпитера с высоким пространственным разрешением, выполненные с помощью системы из 25-метровых радиотелескопов (VLA – Very Large Array) [14] 65, только показали именно в этом поясе Юпитера повышенную яркостную температуру миллиметрового радиоизлучения на частотах 8-14 GHz. Составленные карты распределения интенсивности излучения по широтам и долготам обнаружили значительную переменность по долготе величин яркостных температур, в том числе и в NEB. Это означает, что существует и долготная переменность содержания аммиака. Данные радионаблюдений в диапазоне длин волн, где аэрозоль облаков уже практически не влияет на прохождение радиоволн, говорят именно об изменении концентрации газообразного аммиака на разных широтах и долготах Юпитера. Сравнение наших измерений широтного хода полосы поглощения 787 нм и относительной прозрачности атмосферы Юпитера по радиокарте на 8 GHz за 2014 год на близких долготах показало хорошее совпадение [15].

Пока остается не совсем понятным наблюдаемое систематическое различие в широтном ходе поглощения у двух полос аммиака NH₃ 645 и 787 нм. Мы сравниваем полосы по интенсивности относятся к умеренным и слабым. Формирование молекулярных полос поглощения в облачной атмосфере Юпитера происходит довольно сложным путем, в основном при многократном рассеянии на облачных частицах, поэтому интенсивность полосы зависит не только от содержания газа в атмосфере, но и от характеристик облачной среды.

Данное исследование выполнено в рамках проекта по гранту МОН РК 0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Spinrad H., Trafton L. M. High dispersion spectra of the outer planets. I. Jupiter in the Visual and Red // *icAaus*, 1963, V.2, P. 19-28
- [2] Lutz B. L., Owen T.. The visual bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter // *Astrophysical Journal*, 1980, V. 235, P. 285-293
- [3] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter. I. // *Icarus*, 1980, V.42, P.102-110
- [4] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter .II. Temporal Variations // *Icarus*, 1983, V. 56, P.116-121
- [5] Giver L.P., Miller J.H., Boese R.W. A Laboratory Atlas of the 5 μ l NH₃ Absorption Band at 6475 A with Applications to Jupiter and Saturn // *Icarus*, 1975, V.5, P.34-48
- [6] Radak B. B., Lunine J. I., Hunten D. M., Atkinson G.H.. Line intensities in the 647.5nm ammonia band at Low temperatures determined by intracavity Laser spectroscopy // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1998, V. 153, P. 519-526
- [7] Bowles N., Calcutt S., Irwin P., Temple J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μ m to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter // *Icarus*, 2008, V 196, P.612–624
- [8] Tejfel V.G. ., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange latitudinal variations of the ammonia absorption on Jupiter . *Bull.AAS*, 2005, V. 37, p.682
- [9] Tejfel V.G. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinjaeva N.V., Karimov A.A. Spatially resolved variation in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter // *Astron.and Astrophys.Transactions*, 2005, V. 24, P.359-63.,
- [10] Orton G.S., Martonchik J.V. The effect of ammonia ice on the outgoing thermal radiance from the atmosphere of Jupiter // *Icarus*, 1982, V.52, P.94-116
- [11] Showman A., de Pater, I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance. *Icarus*, 2005, Vol. 174, pp. 192-204
- [12] Fletcher L.N., Greathouse T.K., Orton G.S., Sinclair J.A., Giles R.S., Irwin P.G.J., Encrenaz T.. Mid-infrared mapping of Jupiter's temperatures, aerosol opacity and chemical distributions with IRTF/TEXES // *Icarus*, 2016, V. 278, P.128-161

- [13]. Fletcher L.N., Orton G.S., Rogers J.H., Giles R.S., Payne A.V., Irwin P.G.J., Vedovato M. Moist convection and the 2010–2011 revival of Jupiter's South Equatorial Belt // *Icarus* 2017, V.286, P. 94–117
- [14] de Pater I. Sault, R. J., Butler B, DeBoer D., Wong M.H. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging // *Science*, 2016, V. 352, P.1290-1294
- [15]. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Lysenko P.G., Kirienko G.A., Bondarenko N.N., Kharitonova G.A., Filippov V.A. Jupiter: new confirmations of the ammonia absorption depression at low northern latitudes // 7-th Moscow Solar System Symposium, 2016, 2 PP.

REFERENCES

- [1] Spinrad H., Trafton L. M. High dispersion spectra of the outer planets. I. Jupiter in the Visual and Red. *Icarus*, 1963, V.2, P. 19-28.
- [2] Lutz B. L., Owen T. The visual bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *Astrophysical Journal*, 1980, V. 235, P. 285-293.
- [3] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter I. *Icarus*, 1980, V.42, P.102-110.
- [4] Cochran W.D., Cochran A.I. Longitudinal Variability of Methane and Ammonia Bands on Jupiter .II. Temporal Variations. *Icarus*, 1983, V. 56, P.116-121.
- [5] Giver L.P., Miller J.H., Boese R.W. A Laboratory Atlas of the 5 μ l NH₃ Absorption Band at 6475 A with Applications to Jupiter and Saturn. *Icarus*, 1975, V.5, P.34-48.
- [6] Radak B. B., Lunine J. I., Hunten D. M., Atkinson G.H. Line intensities in the 647.5nm ammonia band at Low temperatures determined by intracavity Laser spectroscopy. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1998, V. 153, P. 519-526
- [7]. Bowles N., Calcutt S., Irwin P., Temple J. Band parameters for self-broadened ammonia gas in the range 0.74 to 5.24 μ m to support measurements of the atmosphere of the planet Jupiter. *Icarus*, 2008, V 196, P.612–624
- [8]. Tejfel V.G., Karimov A.M., Vdovichenko V.D. Strange latitudinal variations of the ammonia absorption on Jupiter. *Bull.AAS*, 2005, V. 37, p.682
- [9] Tejfel V.G. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Kharitonova G.A., Sinjaeva N.V., Karimov A.A. Spatially resolved variation in the methane and ammonia absorption in the atmosphere of Jupiter. *Astron.and Astrophys.Transactions*, 2005, V. 24, P.359-63.
- [10] Orton G.S., Martonchik J.V. The effect of ammonia ice on the outgoing thermal radiance from the atmosphere of Jupiter. *Icarus*, 1982, V.52, P. 94-116.
- [11] Showman A., de Pater, I. Dynamical implications of Jupiter's tropospheric ammonia abundance. *Icarus*, 2005, Vol. 174, pp. 192-204
- [12]. Fletcher L.N., Greathouse T.K., Orton G.S., Sinclair J.A., Giles R.S., Irwin P.G.J., Encenaz T. Mid-infrared mapping of Jupiter's temperatures, aerosol opacity and chemical distributions with IRTF/TEXES. *Icarus*, 2016, V. 278, P.128-161
- [13]. Fletcher L.N., Orton G.S., Rogers J.H., Giles R.S., Payne A.V., Irwin P.G.J., Vedovato M. Moist convection and the 2010–2011 revival of Jupiter's South Equatorial Belt. *Icarus* 2017, V.286, P. 94–117.
- [14] de Pater I. Sault, R. J., Butler B, DeBoer D., Wong M.H. Peering through Jupiter's clouds with radio spectral imaging. *Science*, 2016, V. 352, P.1290-1294.
- [15]. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Lysenko P.G., Kirienko G.A., Bondarenko N.N., Kharitonova G.A., Filippov V.A. Jupiter: new confirmations of the ammonia absorption depression at low northern latitudes 7-th Moscow Solar System Symposium, 2016, 2 PP.

ӘОЖ: 523.45

В.Г. Тейфель, А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.А. Филиппов, Г.А. Харитонова, А.П. Хоженец

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

ЮПИТЕР: КӨПЖЫЛДЫҚ БАҚЫЛАУЛАР БОЙЫНША БЕС НЕГІЗГІ ЕНДІК БЕЛДІКТЕРІНДЕ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЖҰТУДЫҢ ВАРИАЦИЯСЫ

Аннотация. Біз 2005 жылдан 2015 жылдарда Күн маңында Юпитердің айналуының толық кезеңі аралығында Юпитердің (STZ, SEB, EZ, NEB и NTZ) бес ендік белдігінде NH₃ 645 және 787 нм жұту жолақтарының қарқындылығын, аймақтардың эквиваленттік ендіктерінде вариацияларды өлшедік. NEB NH₃ 787 нм жолақтарының үнемі төмендеуі дәлелденді. 645 және 787 нм аммиак жолақтары арасында ендік және уақыттық вариацияларында да жүйелік айырмашылықтар бар. Бұл жұту жолақтарының қарқындылығы екі фактормен келісілген: газ түріндегі аммиакты құрайтын вариациялармен, бұл миллиметрлік толқындар радиодиапазонында Юпитердің жылу сәулелену бақылауын көрсетеді және аммиактық бұлттар ішінде шашыраудың бірнеше процесі.

Тірек сөздер: Юпитер, атмосфера, метан, аммиак, жұту жолақтары.