

*В. Д. ВДОВИЧЕНКО, Г. А. КИРИЕНКО, В. Г. ТЕЙФЕЛЬ, Г. А. ХАРИТОНОВА*

## **ДРАМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НА ЮПИТЕРЕ В 2009-2011 ГОДАХ**

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

*На основе многочисленных спектральных наблюдений Юпитера в 2009-2011 годах делается попытка объяснения процессов, происходящих в верхней атмосфере Юпитера в период освещения темной Южной Экваториальной Полосы (SEB). Приводится доказательство того, что это может быть связано с тем, что верхняя граница облачного покрова в районе SEB в 2010 году была заметно выше, чем в 2009 и 2011 годах. Подобный факт можно объяснить и более высокой плотностью рассеивающего аэрозоля, как результат дополнительной конденсации амиака вследствие понижения температуры в районе SEB в 2010 г. Возможно, что оба эффекта действовали одновременно. В рамках простейших моделей атмосферы наблюдаемые вариации интенсивности полосы поглощения амиака можно интерпретировать как вариации его содержания примерно на 35 %. Вариации эквивалентной ширины в полосе метана 725 нм также показывают уменьшение, примерно на 20 % содержания метана на лучше зрения в этом облачном поясе в 2010 году по сравнению с 2009 и 2011 годами.*

Одно из самых интересных и активных мест на Юпитере – это Южный Экваториальный Пояс (SEB). Он расположен на южных тропических широтах ( $7^{\circ}$ - $17^{\circ}$ S) и содержит на своей южной границе Большое Красное Пятно (GRS). Обычно – это темно-коричневая полоса, опоясывающая всю планету и находящаяся между двумя противоположными зональными потоками («джетами»): один ( $7^{\circ}$ S) движется по отношению к экватору на восток, а другой ( $17^{\circ}$ S), имеющий самую высокую скорость на планете, движется на запад. SEB является местом интенсивной конвективной активности и грозовых штормов [1] и одним из немногих мест, где впервые наблюдались и были спектроскопически отождествлены амиачные облака [2]. Однако в начале периода видимости в 2010 г. вид этой полосы был намного бледнее обычного. Это изменение наблюдали и профессионалы, и любители.

Такая «метаморфоза» происходила с SEB в пятый раз, считая с момента первой космической миссии к Юпитеру (Pioneer 10, 1973 г). Первые четыре – это 1972-1975 г., 1989-1990 г., 1992-1993 г., начало-конец 2007 г. Но подробнейшим образом, с привлечением современного оборудования, был исследован именно последний (2009-2011 г.) случай освещения SEB.

Суть происходящего события, основываясь на наблюдениях, можно коротко описать следующим образом. После прекращения турбулентной активности и конвективных движений в северо-западной области от GRS ( $7$ - $17^{\circ}$ S) в мае 2009 г, цвет SEB постепенно бледнел в течение месяцев. Этот процесс захватил южную компоненту SEB (SEBs,  $15$ - $17^{\circ}$ S) к ноябрю 2009 г, оставляя пока его узкую северную часть (SEBn,  $7$ - $10^{\circ}$ S), которая впоследствии также подвергалась освещению в течение продолжительного времени. Максимальная стадия наступила в апреле 2010 г., когда альбедо всего пояса практически стало равным альбедо соседней экваториальной зоны. В продолжение этого необычного процесса GRS проявляло себя как находящийся в совершенно спокойном состоянии красный овал, окруженный белым аэрозолем.

Каждый из подобных циклов не повторяет другого. Они не происходят периодически, имеют разную длительность и отличаются своими особенностями. Например, цикл 2007 года закончился в конце 2007 г., образно говоря, не успев начаться. Однако в это время было явно зарегистрировано освещение участка SEB(образование «свежего» амиачного облака), расположенного северо-западнее GRS [3]. Действительно, процесс освещения SEB начинается, как правило, с северо-запада от GRS, постепенно охватывая весь регион, а затем, через определенное время к SEB возвращается его прежний вид.

В общем случае подобный процесс может занимать 1-3 года, продолжаясь вплоть до периода возвращения SEB к прежнему виду, которое начинается с отдельных локальных возмущений (SEBD), имеющих вид раскрашенных в яркие и темные цвета пятен, возникающих по всему поясу. Эти пятна – места зарождающихся (или, в отдельных случаях, не прекращающих действовать)

конвективных потоков, идущих из глубинных слоев атмосферы. Число их со временем растет, они уплотняются и, в конечном счете, возвращают SEB его прежний коричневый цвет.

В связи с этим в лаборатории физики Луны и планет Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова была поставлена задача изучить особенности поведения полос поглощения метана и аммиака по диску Юпитера за периоды наблюдения 2009-2011 годы. Некоторые предварительные результаты были представлены в публикациях [4, 5], однако необычайность события требует их дальнейшего анализа.

Сложность данной задачи заключается в том, что в доступной нашим приборам ближней инфракрасной области спектра 06-1.1 мкм почти все полосы поглощения аммиака бледируются более сильными полосами поглощения метана. Относительно свободной остается полоса  $\text{NH}_3$  в  $\lambda$  645 нм, хотя она тоже попадает на коротковолновое крыло слабой полосы поглощения  $\text{CH}_4$ .

На Сатурне, вследствие более низкой температуры, газообразный аммиак почти полностью вымерзает, и спектр центра диска Сатурна в этой области очень хорошо согласуется с лабораторным спектром метана. На Юпитере к спектру метана добавляется спектр газообразного аммиака, содержание которого варьируется по диску. Если взять отношение спектра центра диска Юпитера к лабораторному спектру метана или к спектру Сатурна, то мы можем выделить спектр аммиака в «чистом» виде.

На рис. 1 приведен профиль комбинированной полосы поглощения метана и аммиака в центре диска Сатурна и на Юпитере в области  $\lambda$  770-815 нм. Центр полосы аммиака расположен на  $\lambda$  790 нм. В полосе метана можно найти два участка, коэффициенты поглощения в которых совпадают с коэффициентом поглощения в  $\lambda$  790 нм, и к тому же свободные от поглощения аммиаком. Это участки 780 и 803 нм. Если бы в спектре Юпитера отсутствовал аммиак, то все изменения интенсивности полосы поглощения по диску планеты в трех длинах волн (780, 790 и 803 нм) должны были бы вести себя совершенно синхронно.

Анализ нескольких сотен спектров центрального меридиона Юпитера показал, что, в отличие от участка в  $\lambda$  790 нм, участки 780 и 803 нм действительно ведут себя совершенно синхронно. Следовательно, все различия в поведении интенсивности поглощения в  $\lambda$  790 нм по диску Юпитера по отношению к участкам 780 и 803 нм можно отнести за счет вариаций относительного содержания аммиака по отношению к метану. В общей сложности было обработано около 500 спектров центрального меридиона Юпитера. Программа обработки написана на языке Delphi и позволяет в потоковом режиме обрабатывать большое число спектров за считанные минуты [6]. На рис. 2 приведен один из скриншотов программы.

В общей сложности исследовались вариации интенсивности полос поглощения метана в области спектра 619, 725, 790, 861 и 886 нм и двух полос аммиака в области 645 и 790 нм. Сразу следует отметить, что за период 2009-2011 г.г. наши спектральные измерения выявили сезонные вариации поглощения метана и аммиака не только в SEB, но и в других широтных облачных поясах и зонах, а также значительные их долготные вариации. Однако в данной статье мы приведем лишь наиболее характерные результаты, связанные именно с исчезновением SEB на Юпитере в период 2009-2011 гг.

На рис. 3, а представлены вариации эквивалентной ширины полосы поглощения аммиака в 645 нм вдоль центрального меридиона Юпитера для трех лет (2009-2011 г.). Хорошо видно, что в период исчезновения SEB содержание газообразного аммиака в этой области было меньше по сравнению с 2009 и 2011 годами. Аналогичным было и поведение эквивалентной ширины полосы поглощения метана в 725 нм (Рисунок 3б). Это можно рассматривать как свидетельство того, что верхняя граница облачного покрова в районе SEB в 2010 году была заметно выше, чем в 2009 и 2011 годах. Подобный факт можно объяснить и более высокой плотностью рассеивающего

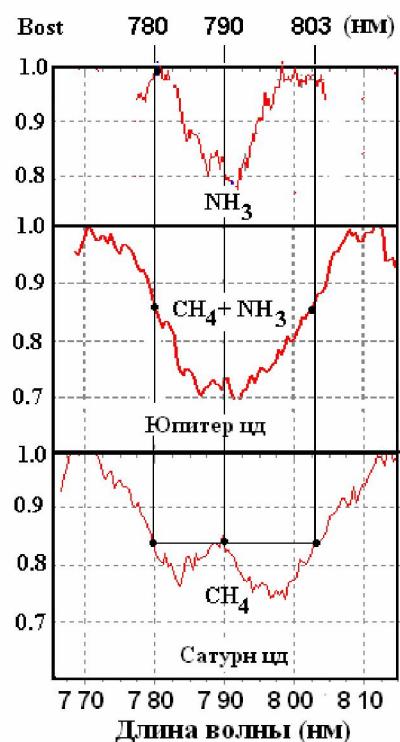


Рисунок 1. Пояснения в тексте

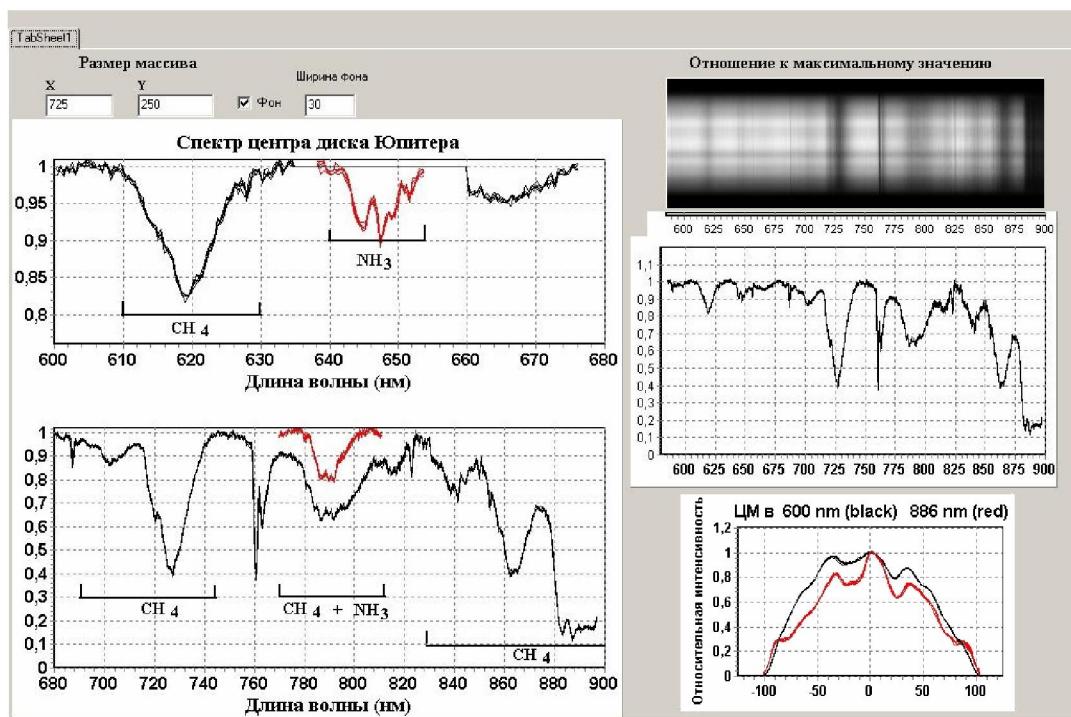


Рис. 2. Скриншот программы выявления вариаций аммиачного и метанового поглощения по диску Юпитера

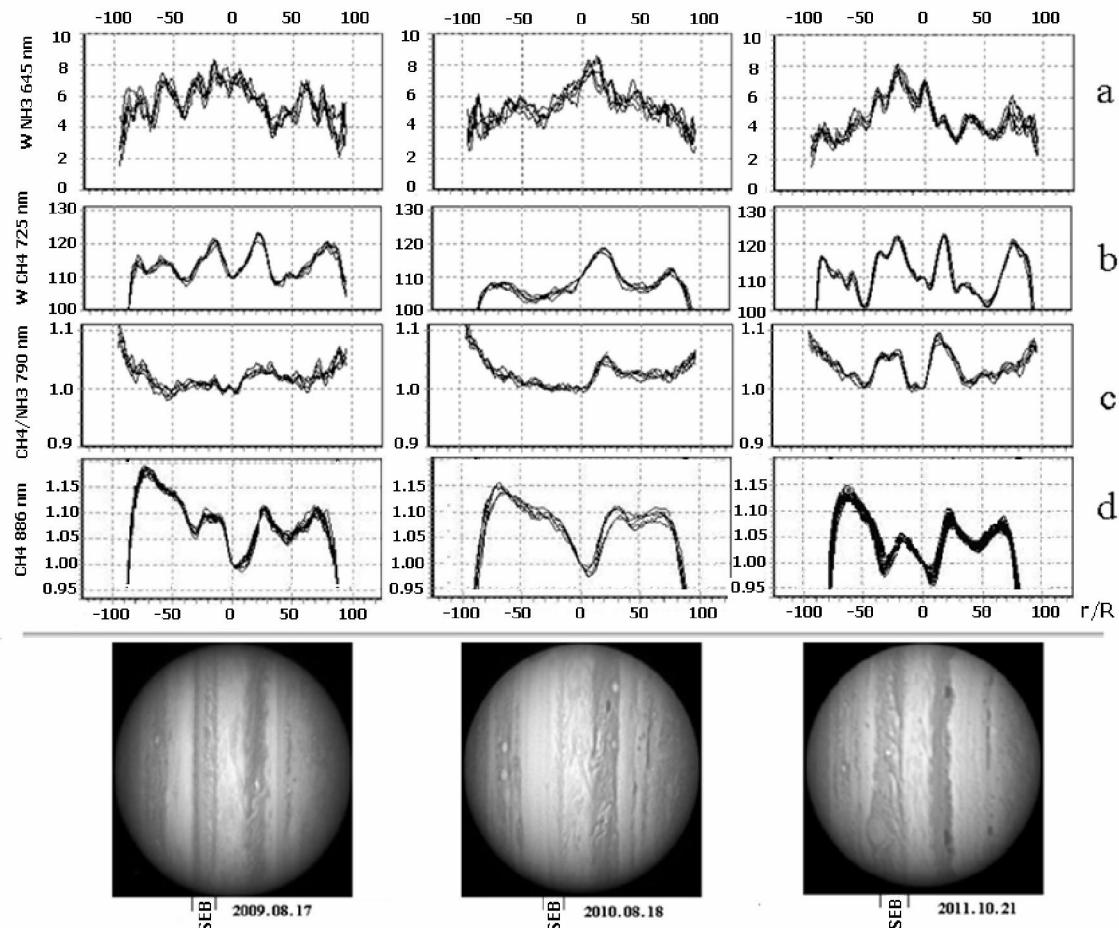


Рис. 3. Внешний вид Юпитера и широтные вариации аммиака и метана по диску планеты в периоды видимости 2009-2011 годы

аэрозоля в результате дополнительной конденсации аммиака вследствие понижения температуры в районе SEB в 2010 г. Возможно, что оба эффекта действовали одновременно. Однако широтный ход отношения содержаний метана и аммиака ( $\text{CH}_4/\text{NH}_3$ ), полученный из наблюдений этих лет, свидетельствует о более интенсивном изменении содержания метана в рассматриваемый период по сравнению с таковым для аммиака. Следует подчеркнуть, что этот наблюдательный факт был характерен для всех поясов и зон Юпитера (рис. 3, с).

В рамках простейших моделей атмосферы полученные нами вариации интенсивности полосы поглощения аммиака можно интерпретировать как вариации его содержания в пределах  $\sim 35\%$ . Вариации эквивалентной ширины в полосе метана 725 нм также показывают уменьшение (на  $\sim 20\%$ ) содержания метана на луче зрения в этом облачном поясе в 2010 году по сравнению с 2009 и 2011 годами.

Аналогичные выводы делаются и авторами работы [7]. Описанные ими ИК фотометрические наблюдения SEB в девяти длинах волн в интервале от 4.8 до 19.5 мкм, показали, что процесс освещения SEB в 2009-2010 годах происходил под влиянием падения температур в центре этого облачного образования и связанного с этим возникновения там конденсатного аммиачного облака. По мере падения температуры аэрозольная непрозрачность (оптическая толщина) облака росла вместе с его альбедо, достигнув, наконец, 80% от его первоначальной (в 2008 г.) величины. Зарегистрированное авторами [7] весьма ощутимое увеличение оптической толщины SEB в рассматриваемый период, обусловленное возникновением мощного аммиачного облака на высотах с давлением  $\sim 800$  мб, могло повлечь за собой уменьшение концентрации газовой компоненты  $\text{NH}_3$  в надоблачной атмосфере Юпитера. При этом авторы считают, что происходящие в тропосферных слоях процессы никак не сказалась на характеристиках стратосферы. А именно - фотометрические измерения, например, в фильтрах с  $\lambda$  пропускания 7.9 и 12.27 мкм, зондирующих высокие слои атмосферы (при давлениях 5 и 6 мб, соответственно), не показали аномальных изменений температуры, состава атмосферы или оптической толщины на этих высотах.

Авторы делают вывод, что их фотометрических наблюдений для выявления тонких эффектов в поведении указанных малых примесей в атмосфере Юпитера было недостаточно, и полезны были бы спектроскопические измерения полос поглощения этих газов, в частности, аммиака - с целью обнаружения возможных изменений его концентрации.

Поэтому неудивительно, что их выводы находятся в некотором противоречии с результатами наших спектральных наблюдений в интенсивной полосе поглощения метана 886 нм, несущей информацию о самых верхних облачных слоях атмосферы Юпитера, включая и надоблачный слой (рис. 3, d). Эти результаты показывают, что основные, и довольно ощутимые, изменения интенсивности поглощения в самых верхних облачных слоях атмосферы Юпитера происходили на границах темных поясов и светлых зон облачного покрова планеты. Но обсуждение этого вопроса уже выходит за рамки объема данной статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Baines K., Carlson R., Kamp L. Fresh ammonia ice clouds in Jupiter. I. Spectroscopic identification, spatial distribution, and dynamical implications // Icarus. – 2002. – V. 159, № 1. – P. 74-94.
2. Ingersoll A.P., Dowling T.E., Gierash P.J. et al. Dynamics of Jupiter's atmosphere. Jupiter // Planet, Satellites Magnetosphere. – 2004. – P. 105-128.
3. Baines K. H. et al. Polar lightning and decadal-scale cloud variability on Jupiter // Science. – 2007. – V. 318. – P. 226-228.
4. Тейфель В.Г., Бондаренко Н.Н., Каримов А.М., Харитонова Г.А., Кириенко Г.А., Синяева Н.В. Сравнение поведения молекулярных полос поглощения на Юпитере до и во время исчезновения южного экваториального пояса // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2011. – № 4. С. 91-94.
5. Tejfel V.G., Vdovichenko V.D., Bondarenko N.N., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Sinyaeva N.V. Comparative study of the molecular absorption bands behavior on Jupiter before and at the Southern Equatorial belt disappearance // 42-nd Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, TX, USA, 2011.
6. Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Синяева Н.В., Тейфель В.Г. Исследование вариаций молекулярного поглощения в атмосферах Юпитера и Сатурна. I. Методика экспресс-обработки и анализа зональных спектров // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2010. – № 4. – С. 92-96.
7. Fletcher L.N., Orton G.S. et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt // Icarus. – 2011. – V. 213. – P. 564-580.

REFERENCES

1. Baines K., Carlson R., Kamp L. Fresh ammonia ice clouds in Jupiter. I. Spectroscopic identification, spatial distribution, and dynamical implications *Icarus* 2002. V.159, №1. P. 74-94.
2. Ingersoll A.P., Dowling T.E., Gierash P.J. et al. Dynamics of Jupiter's atmosphere. *Jupiter Planet, Satellites Magnetosphere* 2004. P. 105-128.
3. Baines K. H. et al. Polar lightning and decadal-scale cloud variability on Jupiter *Science* 2007. V. 318. P. 226-228.
4. Tejfel' V.G., Bondarenko N.N., Karimov A.M., Haritonova G.A., Kirienko G.A., Sinyava N.V. Sravnenie povedenija molekuljarnyh polos poglowenija na Jupitere do i vo vremja ischeznenija juzhnogo jekvatorial'nogo pojasa *Izvestija NAN RK. Ser. fiz.-mat.* №4. 2011, S.91-94 (in Russ).
5. Tejfel V.G., VdovichenkoV.D., BondarenkoN.N., Karimov A.M., Kharitonova G.A., Kirienko G.A., Sinyava N.V. Comparative study of the molecular absorption bands behavior on Jupiter before and at the Southern Equatorial belt disappearance 42-nd Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, TX. USA, 2011.
6. Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Sinyava N.V., Tejfel' V.G Issledovanie variacij mo-lekuljarnogo poglowenija v atmosferah Jupitera i Saturna. I. Metodika jekspress-obrabotki i analiza zonal'nyh spektrov. *Izvestija NAN RK, serija fiz.-mat.* №4, 2010, S. 92-96 (in Russ).
7. Fletcher L.N., Orton G.S. et al. Jovian temperature and cloud variability during the 2009-2010 fade of the South Equatorial Belt *Icarus* 2011, V. 213. P. 564-580.

*B. Д. Вдовиченко, Г. А. Кириенко, В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова*

**2009–2011 ЖЫЛДАРДАҒЫ ЮПИТЕРДЕГІ ДРАМАЛЫҚ ОҚИҒАЛАР**

2009–2011 жылдары Юпитер планетасына жүргізілген көп жылдық спектрлік бақылаулар негізінде қаранды Оңтүстік Экваторлық Жолаққа (SEB) жарық түсінен кезде, Юпитердің жоғарғы атмосферасында болатын үдерістерді түсіндіруге талпыныс жасалды. 2010 жылы SEB аумағындағы бұлтты жабылудың жоғарғы шегі, 2009–2011 жылдарға қарағанда біршама жоғары болған жағдайлармен байланысты дәлелдер көлгірілген. Осы деректі температураның төмөндеуі әсерінен аммиактың қосымша конденсациясы ретінде, бұдан жоғарғы тығыздықпен таралатын аэрозоль арқылы түсіндіруге болады. Екі жағдай да бір сәтте әрекет етуі мүмкін. Қаралайым атмосфера моделі аясында, аммиакты жұту қарқынды жолағының жиі бақыланатын вариациясы, құрамында 35 % вариация бар деп түсіндіруге болады. Метан жолағында эквивалентті еннің вариациясы 725 нм болуы да, 2010 жылы осы бұлтты белдіктे 2009–2011 жылдармен салыстырғанда көрінетін соулемегі метанның құрамы шамен 20 %-ға төмөнделгенін көрсетеді.

*V. D. Vdovichenko, G. A. Kirienko, V. G. Tejfel, G. A. Kharitonova*

**THE 2009-2011 DRA MATIC EVENTS ON JUPITER**

An attempt of explanation the processes happening at the Jovian upper atmosphere during the 2009-2011 whitening of dark Jupiter's Equatorial Belt (SEB) is done from the spectral observations being carried out during this period. There are given the arguments for the fact that these processes might be caused by moving the cloud deck over SEB to the higher atmospheric levels in 2010 compared to the one in 2009 and 2011. They can be explained also a higher density of scattering aerosols in consequence of enhanced ammonia condensation while the cooling of the SEB in 2010. Perhaps, these effects influenced simultaneously. When proceeding from the simplest atmospheric models one can interpret observational variations of the ammonia absorption band intensity as change of gaseous ammonia abundance by ~ 35% (decreasing towards 2009). The variations of equalent widths of the 725 nm methane absorption band show the methane abundance (along a sight-line) increasing by ~ 20% in this cloud belt in 2010 compared to 2009 and 2011.