

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 110 – 117

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

“V.G. Fesenkov Astrophysical Institute” SLLP, Almaty, Kazakhstan

* – vdv1942@mail.ru

**THE STUDY OF MOLECULAR ABSORPTION ON JUPITER
IN VISIBILITY SEASON OF 2016
II. LATITUDINAL VARIATIONS**

Abstract. Distributions of methane and ammonia absorption along the northern and southern tropical zones (STrZ and NTrZ) of Jupiter and its north and south equatorial belts (SEB and NEB) are presented. The results were obtained on the basis of observations of 2016 (during the confrontation of the planet). To study the variation of ammonia absorption in the infrared spectrum of Jupiter, the NH₃ absorption bands have been "cleared" from the strong bands of methane, which blend them. This required a using of special processing technique of the observations. It allowed obtaining the color maps that represent differences in the distribution of aerosol and methane absorption across the disk of Jupiter, including the Great Red Spot. For all the absorption bands there are the common features: the absorption has a zonal nature and the absorption minimum is removed relatively to the disk center towards the boundary between the light EZ and dark North Belt (NEB). A deep minimum in the NEB and a sharp decline of absorption in the polar regions is especially well shown in the NH₃ 790 nm band. The parameters characterizing the scatter-absorbing properties of the five main zones and cloud belts of Jupiter are determined.

Keywords: Jupiter, methane, ammonia, absorption bands, infrared region.

УДК 523.45

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

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
НА ЮПИТЕРЕ В СЕЗОН ВИДИМОСТИ 2016 ГОДА
II. ШИРОТНЫЕ ВАРИАЦИИ**

Аннотация. Представлены распределения метанового и аммиачного поглощения вдоль южной и северной тропических зон (STrZ и NTrZ) Юпитера и его южного и северного экваториальных поясов (SEB и NEB). Результаты получены на основе наблюдений 2016 г (в период противостояния планеты). Для исследования вариаций аммиачного поглощения в ИК спектре Юпитера, абсорбционные полосы NH₃ были «очищены» от сильных полос метана, blendирующих их. Это потребовало применения специальной техники обработки наблюдательного материала, в результате которой получены цветовые карты, характеризующие различия в распределении аэрозольного и метанового поглощения по диску Юпитера, включая Большое Красное Пятно. Для всех полос поглощения общим является зональный характер поглощения и смещение абсорбционного минимума относительно центра диска в сторону границы между светлой EZ и темным северным поясом (NEB). Особенно хорошо глубокий минимум в области NEB и резкий спад поглощения в полярных областях проявляется у полосы аммиака 790 нм. Получены параметры, характеризующие рассеивающе-поглощающие свойства пяти основных облачных зон и поясов Юпитера.

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

Облачные структуры на Юпитере, носящие названия зон и поясов, весьма многочисленны и разнообразны. Однако, наиболее доступными и удобными для наблюдений являются пять самых выделяющихся и стабильных из них: широкая экваториальная зона (EZ), которая простирается примерно между широтами 7°S и 7°N; выше и ниже EZ — Северный и Южный экваториальные пояса (NEB и SEB), простирающиеся до 18°N и 18°S, соответственно; дальше от экватора лежат Северная и Южная тропические зоны (NTrZ и STrZ). Разумеется, каждая из них обладает своими собственными характерными свойствами, являющимися предметом отдельных исследований.

Например, особенности поведения полос поглощения метана и аммиака вдоль экваториальной зоны (EZ) мы рассмотрели в предыдущей статье [1]. Для других облачных структур (NEB, SEB, NTrZ, STrZ) нами также получены аналогичные результаты, которые мы здесь и предлагаем. Для взаимной привязки всех исследуемых облачных зон и поясов использовались распределения яркости вдоль центрального меридиана Юпитера.

На рисунке 1 представлен скриншот программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» для центрального меридиана планеты. Программа обработки описана в предыдущей статье [1].

На рисунке слева сверху – спектрограмма центрального меридиана Юпитера в области 600-950 нм. Слева посередине – вариации интенсивностей полос поглощения метана и аммиака вдоль центрального меридиана, представленные в цветовой гамме. Слева внизу – профили полос поглощения метана и аммиака:

- 1 – центральной части диска Юпитера ($\mu = 1$);
- 2 – спектр Южной полярной зоны;
- 3 – отношение спектра Южной полярной зоны к спектру центра диска.

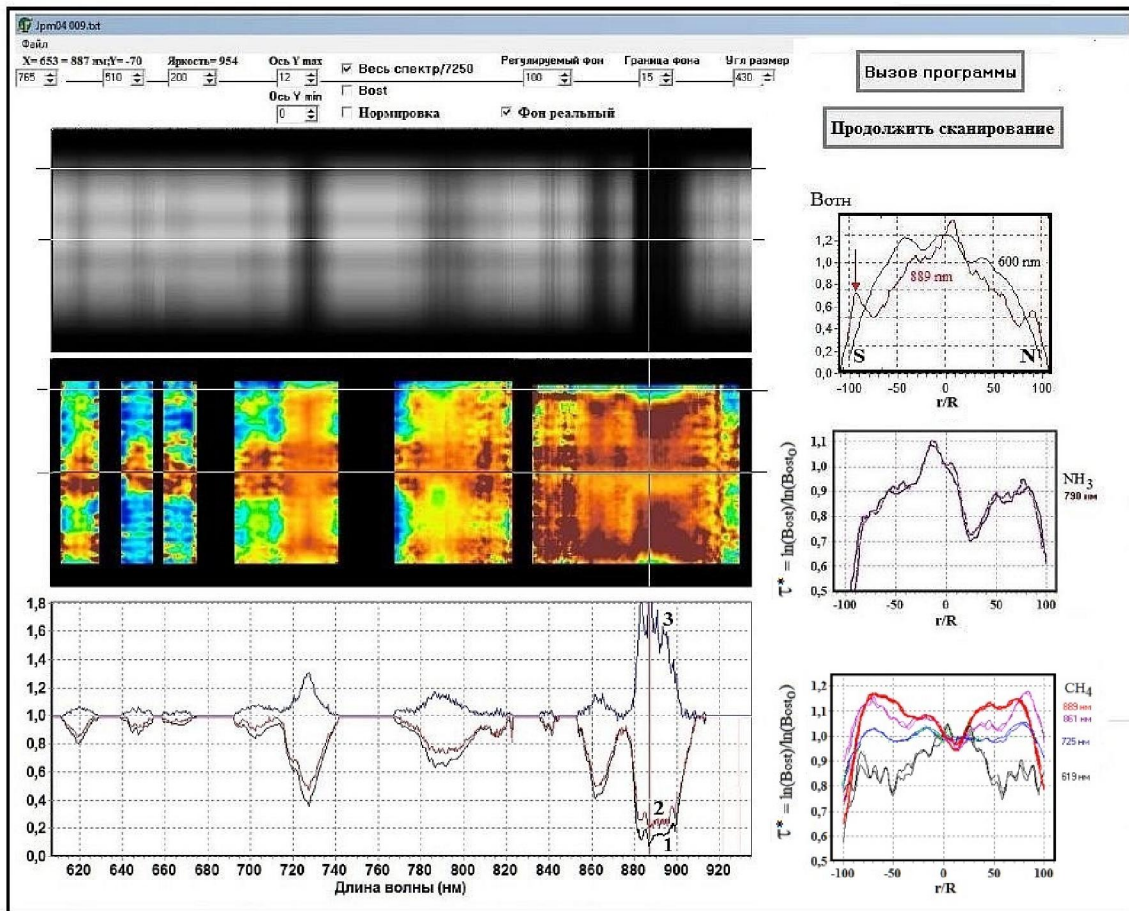


Рисунок 1 – Скриншот программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» для центрального меридиана планеты

Справа сверху – меридиональные профили яркости в непрерывном спектре (600 нм) и в центре сильной полосы поглощения метана 889 нм.

Вариации интенсивности полос поглощения выражены в вариациях логарифмов остаточных интенсивностей полос поглощения B_0 , которые можно представить в виде

$$B_0 = I_0 / I_c \sim \exp(-\tau^*)$$

где τ^* можно рассматривать как некую функцию длины волны, которая в рамках выбранной модели представляет величину, пропорциональную усредненному количеству молекул поглощающего газа в толще атмосферы исследуемого участка планеты [1-2].

На рисунке 1 справа посередине – вариации τ^* вдоль центрального меридиана в полосе аммиака 790 нм; Справа внизу – то же для полос метана 725, 800, 861, и 889 нм.

На рисунке 2 представлены сводные графики вариации интенсивности поглощения аммиака и метана вдоль центрального меридиана в 7 полосах поглощения, выраженные в τ^* .

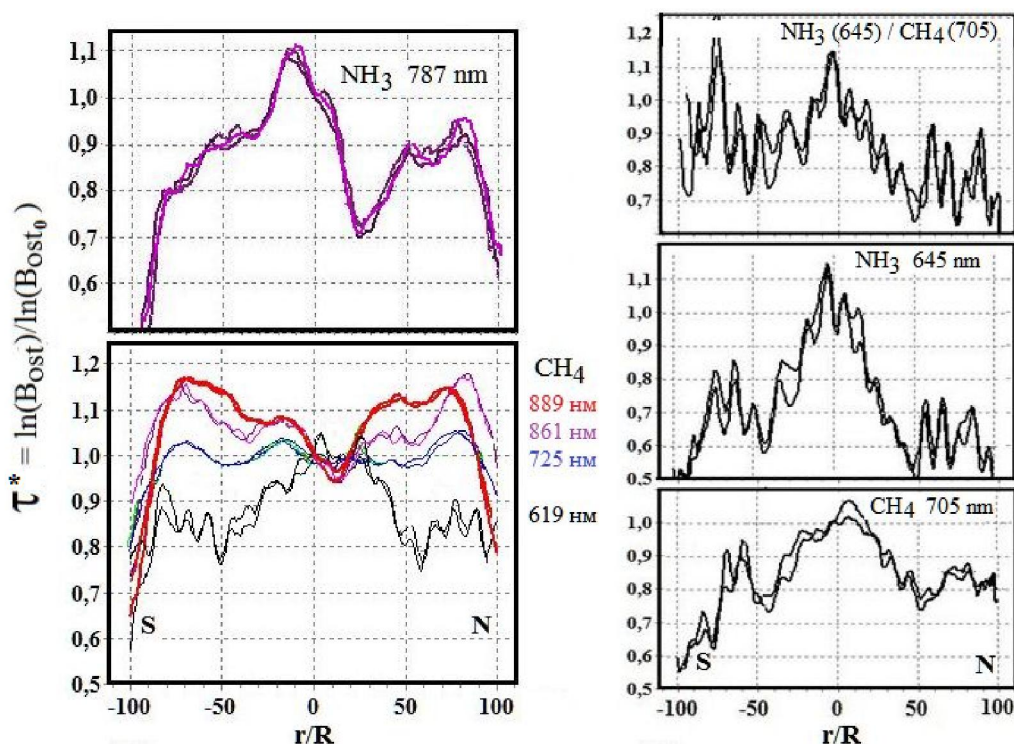


Рисунок 2 – Сравнение хода интенсивности поглощения метана и аммиака вдоль центрального меридиана Юпитера в 7 полосах поглощения

Согласно рисункам 1 и 2, для сильных и умеренных полос поглощения метана, как и в прошлые годы, характерным является почти симметричное усиление поглощения в умеренных широтах и резкий спад вблизи полюсов. Особенно хорошо это прослеживается в Южной полярной области (рис 3).

Для всех полос поглощения общим является зональный характер поглощения и смещение абсорбционного минимума относительно центра диска в сторону границы между светлой EZ и темным северным поясом (NEB). Особенно хорошо глубокий минимум в области NEB и резкий спад поглощения в полярных областях проявляется у полосы аммиака 790 нм.

Надо заметить, что Северный экваториальный пояс является одним из наиболее активных поясов планеты. Особенность, отмеченная нами выше, возможно, этим и объясняется. Действительно, NEB характеризуется наличием антициклонов («белые овалы») и циклонов («коричневые овалы»), причём, антициклоны обычно образуются севернее. Как и SEB, NEB иногда «пропадает» и «возрождается». Это происходит приблизительно раз в четверть века. В светлой EZ, вблизи границы с NEB, исследователи часто замечают голубые пятна, от которых нередко отходят темные диагональные полосы, носящие названия фестонов. Они выглядят самыми

ясными в сухих областях планеты и особенно хорошо видны в ИК области спектра, поскольку позволяют уловить излучение, поднимающееся из очень глубоких слоёв атмосферы Юпитера (в 1995 году космический аппарат «Галилео» отправил зонд в одно из таких пятен). Иногда они на определенное время исчезают, как это случилось в 2010-2011 годах. Затем, в июне 2012 года, они появились снова.

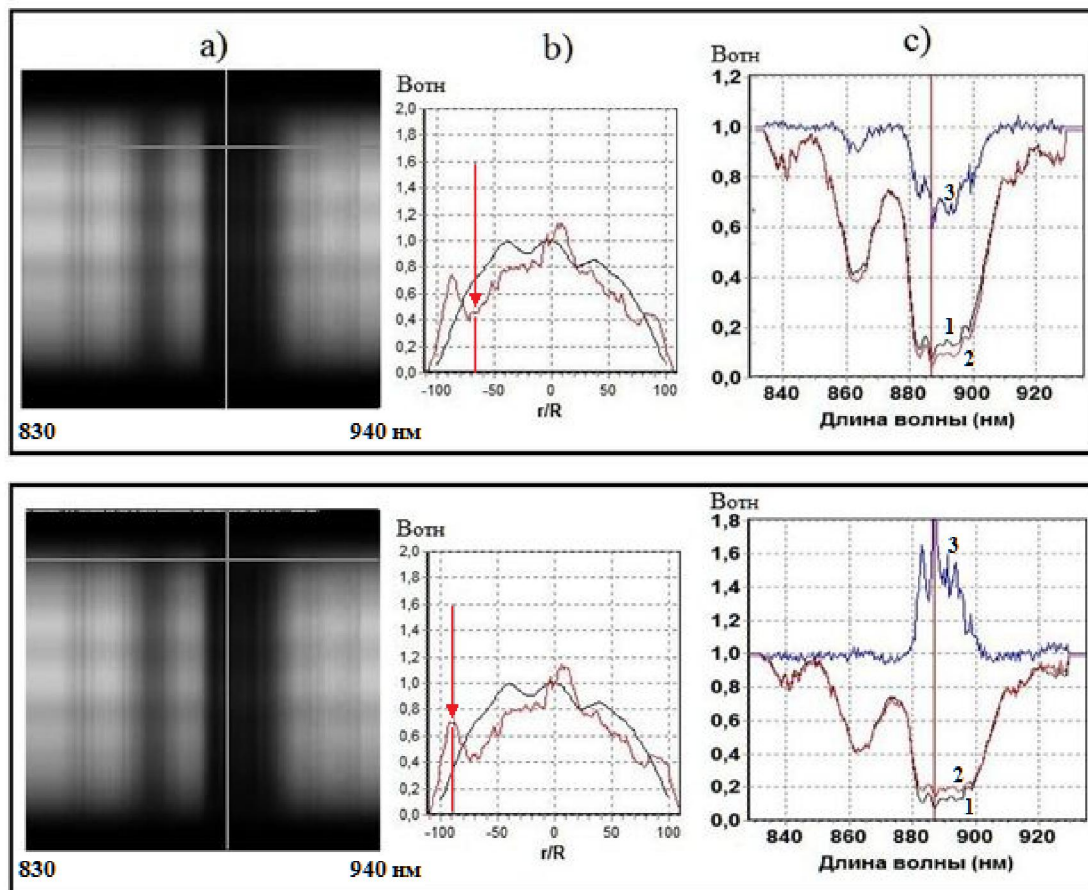


Рисунок 3 – Изменение интенсивности поглощения в полосе метана 889 нм вблизи Южной полярной области при переходе g/R от 0.7 (вверху) к 0.9 (внизу). а) – фрагмент спектрограммы в области спектра 830-950 нм, б) – меридиональный разрез в непрерывном спектре 830 нм и в центре полосы поглощения метана 884 нм, в) – профили полосы поглощения CH_4 в центре диска (1), в полярной области (2) и их отношение (3)=(2)/(1)

Кроме того, переходная область между светлой EZ и NEB считается самой неустойчивой в динамическом отношении.

Вертикальная структура облаков, их оптическая плотность и положение верхней границы облачного покрова на разных широтах планеты оказывают влияние на поведение полос поглощения метана (различной интенсивности) вдоль центрального меридиана (рисунок 2).

Но если говорить об аммиаке, то интенсивность его абсорбционных полос зависит от локального содержания газообразного аммиака на разных широтах планеты. Поглощение определяется радиационно-конвективным режимом атмосферы и равновесием между газовой и сконденсированной фазами, но поведение поглощения в зависимости от различных факторов и его пространственно-временные вариации изучены еще очень слабо.

Обращает на себя внимание сходство поведения самых мелких полос поглощения метана 705 нм и аммиака 645 нм (рисунок 2), формирующихся на большой глубине порядка 10-20 бар и их кардинальное отличие от поведения более сильных полос поглощения.

Исходя из сказанного выше, из спектров планеты можно получить информацию о содержании поглощающего газа, в частности, - аммиака. Действительно, спектры Юпитера, полученные с высоким пространственным разрешением с помощью Voyager IRIS, позволили оценить

содержание аммиака на уровне облаков (680 мб) с точностью до 6% и определить его среднезональные значения, которые и приведены в работе [3]. Судя по этим данным, северное полушарие богаче аммиаком, чем южное, и вариации его от зоны к зоне там более заметны, чем в южном. Конденсация аммиака в верхней тропосфере и, как следствие, резкое уменьшение его количества в газовой фазе, влияет на распределение аммиака в горизонтальном и вертикальном направлениях.

На рисунке 4 представлен внешний вид Юпитера вблизи противостояния в 2016 году и полученные нами цветные карты, характеризующие различия в распределении аэрозольного и метанового поглощения по диску Юпитера, включая Большое Красное Пятно.

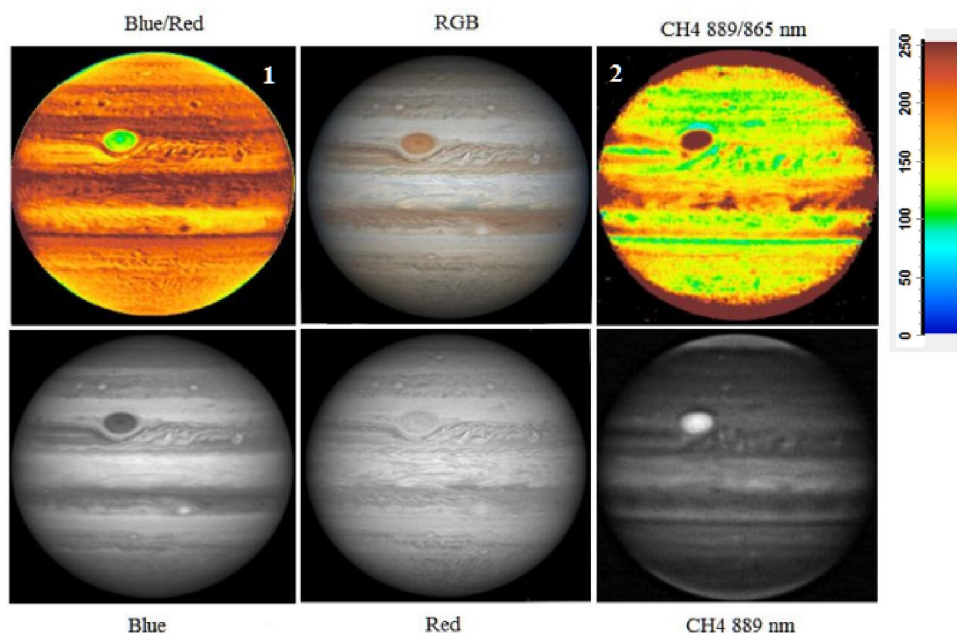


Рисунок 4 – Внешний вид Юпитера в трех участках спектра: Blue, Red,[5, Tiziano Olivetti] CH₄ 889 nm [5, Christopher Go]. Фото 1 и 2 – цветные карты, соответственно, аэрозольного и метанового поглощения по диску Юпитера

Иногда, при незначительной горизонтальной неоднородности облачного слоя вдоль светлых и темных поясов Юпитера и при наличии восточно-западной симметрии, что бывает при небольших углах фазы, для определения их рассеивающе-поглощающих свойств в качестве параметров, характеризующих вариации относительного хода яркости по диску в различных длинах волн, можно использовать нормальный коэффициент яркости ρ_0 , приведенный $\mu = 1$ и Миннаертский коэффициент потемнения к краю k . При этом распределение яркости должно хорошо описываться формулой Миннаерта:

$$V_\mu = V_0 \cdot \mu_0^k \cdot \mu^{k-1},$$

где V_μ – яркость элемента поверхности, μ_0 и μ – косинусы углов падения и отражения солнечного излучения для этого элемента поверхности; k – миннаертский коэффициент потемнения к краю; V_0 – яркость при $\mu_0 = \mu = 1$.

Для момента оппозиции, когда $\mu_0 = \mu$,

$$V_\mu = V_0 \cdot \mu^{2k-1}.$$

Для вычисления k умножим обе части уравнения на μ , поделим на V_0 и прологарифмируем:

$$\log(\mu V_\mu / V_0) = 2k \log(\mu) \text{ или } k = \log(\mu V_\mu / V_0) / 2 \log(\mu).$$

Для таких случаев на языке Delphi была написана программа “Определение коэффициентов потемнения”, рабочий скриншот которой представлен на рисунке 5.

Программа работает с *.bmp файлами 250x250 пкс.

Для расчета косинусов углов освещения и углов наблюдения отраженной радиации (μ_0 и μ) использовались формулы Шенберга [4].

Обозначения:

V_s – планетоцентрическое склонение Солнца; V_e – планетоцентрическое склонение Земли; Фаза – фазовый угол; Центр – фазовое смещение центра диска; F_i – планетографическая широта; ΔF_i – ширина полосы сканирования в процентах от F_i ; μ и μ_0 – углы освещения и наблюдения, равные μ и μ_0 , соответственно.

Линия сканирования рисуется на изображении в виде синей полоски шириной $\Delta(\varphi)$.

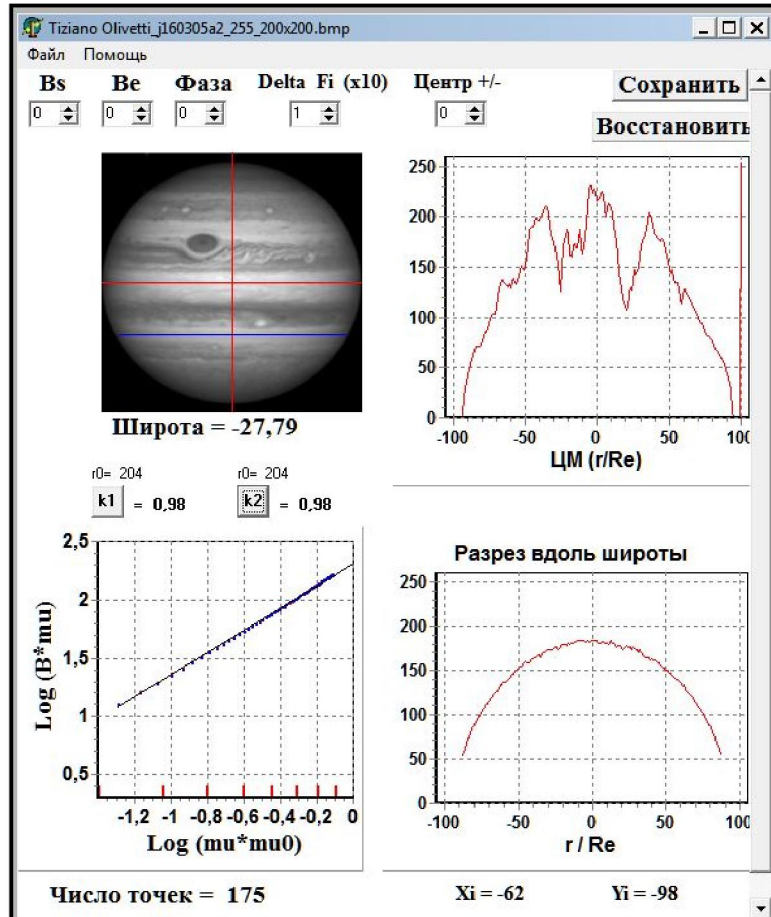


Рисунок 5 - Скриншот программы “Определение коэффициентов потемнения”

Работа программы.

При запуске программы вводятся следующие исходные величины:

a – экваториальный радиус диска планеты в масштабе изображения, равный 100 пкс; e – эксцентриситет; $e = 0.3960$ для Юпитера (или $e = 0.46317$ для Сатурна); V_s – планетоцентрическое склонение Солнца; V_e – планетоцентрическое склонение Земли.

Вычисляются:

b – полярный радиус диска в масштабе изображения; e_1 – коэффициент сжатия с учетом наклона экватора; k – видимый полярный радиус диска планеты с учетом наклона экватора.

При перемещении курсора мыши по кадру (X, Y) вычисляются:

текущие координаты планеты X_i и Y_i относительно центра диска; широта $\varphi_{пт}$ на центральном меридиане; значения μ и μ_0 .

Линия сканирования рисуется на изображении в виде синей полоски шириной $\Delta(\varphi)$; вдоль $\varphi_{пт}$ снимаются отсчеты яркости B и выполняется расчет μ и μ_0 в зависимости от X и Y ; результат выводится на график зависимости $\log(B \cdot \mu)$ от $\log(\mu \cdot \mu_0)$, где $B = B_\mu / B_0$;

в итоге, вычисляются коэффициенты потемнения k_1 и k_2 для западного и восточного полушарий.

Значения k , ρ_0 , $\mu_{\text{дм}}$, $\mu_{\text{оцм}}$ выводятся на табло.

На рисунке 6 приведен пример внешнего вида района SEB и ход потемнения к краю для этого пояса в трех участках спектра: Red – область непрерывного спектра, свободная от аэрозольного и газового поглощения, Blue – область аэрозольного поглощения и 889 нм – центр сильной полосы поглощения метана. Несмотря на небольшую неоднородность облачного слоя в этом районе, коэффициенты потемнения и нормальные коэффициенты яркости определяются довольно уверенно и хорошо совпадают как для западного полушария (синие точки), так и для восточного (красные точки).

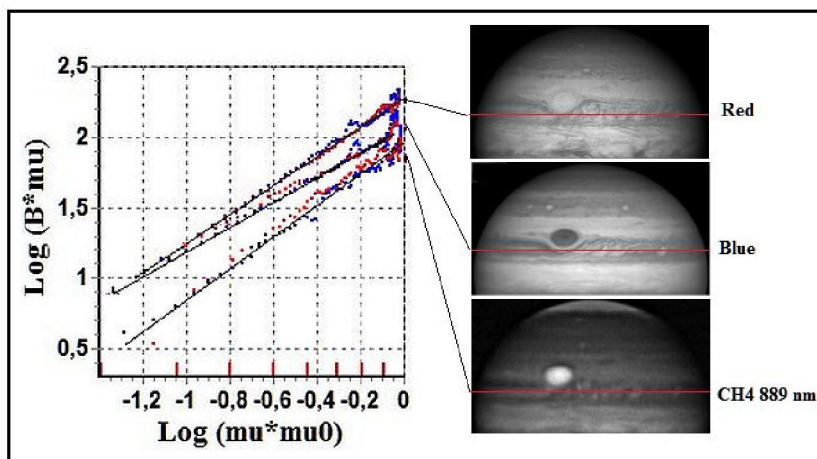


Рисунок 6 – Вариации хода потемнения к краю для SEB в трех участках спектра

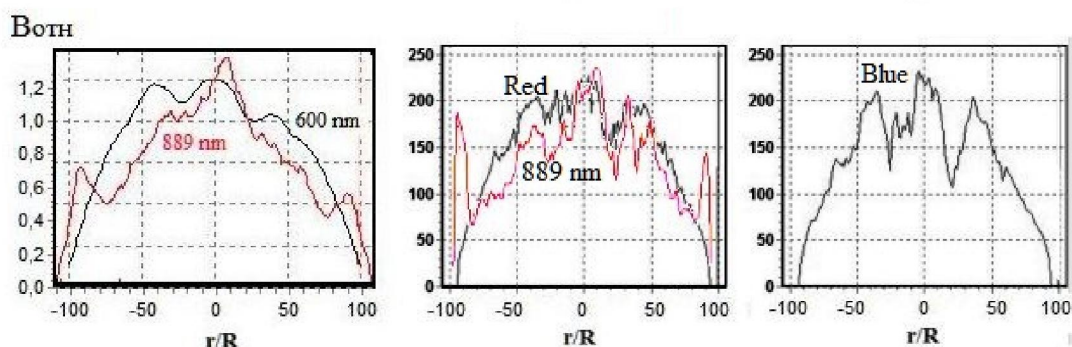


Рисунок 7 – Распределения яркости вдоль центрального меридиана Юпитера в опорных длинах волн. Слева – наши данные по поперечным разрезам спектрограмм 05.03.2016 г. Два графика справа получены по лучшим снимкам Tizianj Olivetti и Christopher Go [5] в эту же дату

Таблица 1 – Основные параметры облачного слоя в пяти поясах и зонах Юпитера

Область спектра	Параметр	EZ	NEB	SEB	NTrZ	STrZ
Red (660 нм)	ρ_0	0.75	0.61	0.64	0.73	0.81
	k	1.06	1.00	1.02	1.01	1.02
	g	0.50	0.40	0.45	0.25	0.20
	ω	0.995	0.982	0.985	0.992	0.994
Blue (435 нм)	ρ_0	0.56	0.29	0.35	0.51	0.53
	k	1.00	0.90	0.94	0.98	1.02
	g	0.45	0.55	0.50	0.50	0.60
	ω	0.978	0.924	0.940	0.972	0.980
CH ₄ 889нм	ρ_0	0.075	0.047	0.050	0.071	0.057
	k	1.07	1.08	1.06	1.07	0.98
	g	0.50	0.40	0.45	0.25	0.20
	ω	0.720	0.63	0.61	0.73	0.655
	τ	0.16	0.25	0.24	0.15	0.17

По распределением яркости вдоль центрального меридиана в опорных длинах волн (рис. 7) осуществлялась взаимная привязка яркости детали к центру диска. Слева на рисунке – наши данные по поперечным разрезам спектрограмм 05.03.2016 г. Два графика справа получены с помощью программы «Определение коэффициентов потемнения» по лучшим снимкам Tizianj Olivetti и Christopher Go [5] в эту же дату.

Итоговые результаты исследования пяти основных облачных зон и поясов Юпитера в 2016 году, характеризующие их рассеивающе-поглощающие свойства, приведены в таблице 1.

Обозначения в таблице:

ρ_{\square} – нормальный коэффициент яркости, приведенный к $\mu = 1$; k – миннаертковский коэффициент потемнения; g – параметр вытянутости индикатрисы Хенни-Гринштейна; ω_{\square} – вероятность выживания кванта; τ_{\square} – толщина надоблачной атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 5 (настоящий сборник).
- [2] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование метаново-аммиачного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2015 года. I. Экваториальная область //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2015. № 5. С. 82-86.
- [3] 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.
- [4] Шенберг Э. Об освещении планет. Юрьев. 1917, 104 с.
- [5] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>

REFERENCES

- [1] Vdovichenko, V. D. Kirienko, G. A., Lysenko P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. I. Equatorial region. //Izvestija NAN RK. The mathematics series. 2016. No. 5 (this volume) (in Russ.).
- [2] Vdovichenko V. D., Kirienko G. A., Lysenko P. G. A study of the methane-ammonia absorption on Jupiter season appearances 2015. I. Equatorial region. //Izvestija NAN RK. The mathematics series. 2015. No. 5 P. 82-86 (in Russ.).
- [3] 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.
- [4] Schoenberg E. About lighting planets. Yuryev. 1917, 104 p. (in Russ.).
- [5] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>

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

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

2016 ЖЫЛЫ ЮПИТЕРДІҢ КӨРІНЕРЛІК МЕЗГІЛІНДЕ ДИСКІ БОЙЫНША МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЖҰТЫЛУДЫ ЗЕРТТЕУ II. ЕНДІК ВАРИАЦИЯЛАР

Түйін сөздер: Юпитер, метан, аммиак, жұту жолақтары, инфрақызыл аймақ.

Аннотация. Юпитердің оңтүстік және солтүстік тропикалық аймақтары (STrZ және NTrZ) және оның оңтүстік және солтүстік экватор белдіктері (SEB және NEB) бойында метанның және аммиақтың жұтудың таралуы ұсынылған. Нәтижелер 2016 жылғы бақылаулар негізінде алынды (планеталардың қарсы тұруы кезеңінде). Юпитер спектрінде ИҚ аммиак жұту вариациясын зерттеу үшін NH₃ жұту жолақтары оларды араластыратын метанның күшті жолақтарынан «тазарылды». Бұл Юпитер дискісі бойынша, Үлкен Қызыл Дақпен қоса аэрозольді және метанның жұту таралуы айырмашылықтарын сипаттайтын нәтижесінде түрлі түсті карта алынған бақылау материалдарын өңдеудің арнайы техникасын қолдануды талап етті. Барлық жұту жолақтары үшін жұтудың аймақтық сипаты және EZ жарық және қараңғы солтүстік белдіктері (NEB) аралығында шекараға қарай диск орталығы қатысты және минималды жұту араласуы жалпы болып табылады. Әсіресе жақсы терең минимум NEB аймағында және полярлық аймақтарда жұтудың күрт төмендеуі 790 нм аммиак жолақтарында көрінеді. Юпитердің бес негізгі бұлт аймағын және белдіктерін шашыранқы-сіңіруші қасиетін сипаттайтын параметрлері алынды.