

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

DTOO "V.G. Fessenkov Astrophysical Institute ", Almaty, Kazakhstan

* – ydv1942@mail.ru

THE VARIATIONS OF AMMONIA AND METHANE ABSORPTION ALONG THE JOVIAN EQUATOR AND CENTRAL MERIDIAN IN 2016. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EIGHT ABSORPTION BANDS

Abstract. A large array of new observational data obtained in February-April of 2016, allowed to carry out the further study of the distribution of the ammonia (NH_3) and methane (CH_4) absorption along individual belts and zones and also along the central meridian (CM) of Jupiter in the wavelength range of 600-950 nm. In order to improve processing methods, "The color absorption map on the disk of Jupiter" program (in "Delphi") was written. It provides information about 83 selected parameters of the absorption bands. The processing results allowed to make the atlases of latitudinal variations of the measured parameters. Primary characteristics of the investigated absorption bands by driving across the planetary disc vary between 30% and 40% that is much larger than the measurement errors. Variations of absorption intensities of all the bands have a zonal character. The properties of latitude variations of the CH_4 and NH_3 absorption band of various intensities were studied when moving along the CM. From these results the appropriate conclusions about an effect of the cloud layer and gaseous atmosphere above it on the absorption properties of the investigated gases were made. The conclusion about an absorption course by driving across the planetary disc (when the CH_4 bands are of moderate and strong intensity (725, 861, 889 nm)) to fit a two-layer model consisting of a scatter-absorbing homogeneous cloud layer and a gaseous atmosphere above it, was confirmed. For the NH_3 part, the measurements of its 7645 and 790 nm absorption bands showed them to form in the deeper layers and carry information about the vertical distribution, density and spread of the second and third NH_3 cloud layers and its compounds' ones.

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

УДК 523.45

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

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

ВАРИАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА И МЕТАНА ВДОЛЬ ЭКВАТОРА И ЦЕНТРАЛЬНОГО МЕРИДИАНА ЮПИТЕРА В 2016 ГОДУ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ 8 ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ

Аннотация. Большой массив нового наблюдательного материала, полученного в феврале-апреле 2016 года, позволил провести дальнейшее исследование распределения поглощения аммиака (NH_3) и метана (CH_4) вдоль отдельных облачных слоев и вдоль центрального меридиана (ЦМ) Юпитера в интервале длин волн 600-950 нм. В целях усовершенствования методов обработки, на языке Delphi была написана программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера», которая выдает информацию о 83 выбранных параметрах полос. Результаты обработки позволили составить атласы широтных вариаций измеренных параметров. Основные характеристики поглощения исследуемых полос при движении по диску планеты меняются в пределах 30-40%, что намного превышает ошибки измерений. Общим для всех полос является зональный характер их поведения. Широтные особенности поведения полос поглощения CH_4 и NH_3 различной интенсивности исследовались при движении вдоль ЦМ. Из полученных результатов сделаны соответствующие выводы о влиянии облачного слоя и надоблачной атмосферы на поглощающие свойства исследуемых газов. Подтверждается вывод о том, что в полосах CH_4 средней и сильной интенсивности (725, 861, 889 нм) ход поглощения по диску планеты соответствует двухслойной модели, состоящей из рас-

сеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Что касается NH_3 , то из измерений его полос поглощения $\lambda 645$ и 790 нм следует, что они формируются в более глубоких слоях, т. е. несут информацию о вертикальном распределении плотности и протяженности второго и третьего ярусов облаков из NH_3 и его соединений.

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

Введение.

Как известно, спектральный материал, получаемый астрономами-профессионалами с помощью регулярных наземных наблюдений Юпитера, весьма ценен. Такие наблюдения (а именно - мониторинг) позволяют проводить не только долгосрочное отслеживание сезонных (или относительно краткосрочных крупномасштабных) изменений на планете, но и служат своего рода поддержкой космических методов исследования планеты.

Из числа малых примесей в атмосфере Юпитера на первом месте по содержанию стоят метан (CH_4) и аммиак (NH_3). Метан не конденсируется в атмосфере Юпитера, и его содержание почти не меняется от места к месту. В отличие от него, на больших высотах газообразный аммиак конденсируется, образуя облака. Можно упомянуть, например, один из случаев наблюдений Юпитера в ИК области спектра, когда в районе SEB (Южный экваториальный пояс) были обнаружены ледяные аммиачные облака [1]. Они были обнаружены космическим аппаратом Galileo на широтах формирования т. н. plumes, относящихся к SEB, в местах расположения которых, как показывают исследования, аммиак способен конденсироваться (на высотах, близких к стратосфере), и вероятность возникновения облаков там очень велика. Поэтому спектрально обнаруженные Galileo облачные образования были идентифицированы как облака из свежего аммиачного льда. Уровень их формирования оценен как ~ 800 мбар, а радиус ледяных частиц - ~ 10 мкм.

Вследствие конденсации не только содержание NH_3 сильно меняется от глубины и широты места наблюдения, но в силу этой его особенности он (NH_3) еще и существенно влияет на динамические процессы в атмосфере Юпитера, а также на тепловое и метеорологическое состояние планеты.

В спектре Юпитера в области длин волн 500 - 1000 нм присутствуют полосы поглощения газообразного NH_3 разной интенсивности. Несмотря на то, что большинство из них полностью или частично блендируются полосами поглощения метана, и их «выделение» требует дополнительных методологических приемов, проблемы, связанные со спектральными исследованиями NH_3 в целях получения информации о вертикальном распределении аэрозольной непрозрачности, температуры, состава, динамических свойствах атмосферы Юпитера, и пр., постоянно находятся в поле зрения ученых, тем более, что пока еще однозначного решения этих проблем нет [2-7].

Полосы поглощения CH_4 в ближней ИК области спектра (например, CH_4 λ 619 нм, 727 нм, 889 нм) широко используются для зондирования атмосферы Юпитера. А именно - в зависимости от их интенсивности, они проникают на различную глубину, что позволяет из их изучения извлекать информацию о вертикальной структуре атмосферы на соответствующих уровнях. Например, по поглощению в полосе λ 889 нм можно судить о региональных вариациях высоты верхней части надоблачной дымки. Более мелкие полосы, как предполагается, зондируют глубины ~ 2 - 15 бар, т. е. несут информацию об этих слоях. Здесь следует упомянуть, например, о том, что в процессе обсуждения причин «обесцвечивания» SEB в период 2009 - 2010 годов, именно наблюдения полосы CH_4 λ $0,89$ мкм в 2010 г. [8] указали на то, что изменения в SEB, скорее всего, связаны с изменениями в конвективной зоне ($p > 300$ мбар), а не в районе верхней тропосферной дымки (100 - 200 мбар), которая, по наблюдениям CH_4 λ 889 мкм, не претерпела никаких изменений.

Соответствующие исследования отношений полос метана и аммиака (сравнимых по интенсивности и по расположению их в спектре) могут быть использованы и для определения относительных содержаний этих газов на планете. В работе [9], в результате подобных исследований, было показано, что аммиак в атмосфере Юпитера имеет неоднородное распределение. Наблюдаемые вариации отношения смеси метана к аммиаку (CH_4/NH_3) интерпретировались авторами как очевидное доказательство зависимости содержания газообразного аммиака от высоты в атмосфере, а именно: газовая фаза аммиака уменьшается с высотой.

Подводя итог сказанному, еще раз подчеркнем, что, несмотря на многочисленные исследования абсорбционных полос CH_4 и NH_3 , интерес к ним не ослабевает, поскольку их изучение дает исследователям огромную возможность проникнуть внутрь атмосферы еще далеко не изученной планеты и получить информацию о явлениях, в ней происходящих. Этим и мотивируются задачи, поставленные в предлагаемой работе.

Результаты исследования

Для комплексного представления распределения поглощения аммиака и метана вдоль отдельных облачных слоев и вдоль центрального меридиана (ЦМ) Юпитера в интервале длин волн 600-950 нм на языке Delphi была написана программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера».

С помощью данной программы обработан большой массив нового наблюдательного материала, полученного в феврале-апреле 2016 года. Наблюдения, в частности, проводились в момент противостояния Юпитера 3-5 марта 2016 года с помощью дифракционного спектрографа SGS с ПЗС-камерой ST-7XE, установленного на 0.6-м телескопе РЦ-600.

Для всех исследуемых полос поглощения определялись их профили, меридиональные или зональные распределения абсолютных и нормированных к центру диска остаточных интенсивностей в центрах полос, центральных глубин, эквивалентных ширин, логарифмов остаточных интенсивностей и корреляционных связей между определяемыми величинами.

В итоге, при обработке каждой спектрограммы программа выдает информацию по всем данным в количестве 83 параметров, которые выводятся в графическом и текстовом виде в отдельные файлы.

Были исследованы распределения яркости вдоль пяти основных облачных поясов и зон на Юпитере (EZ, SEB, NEB, STrZ, NTrZ), вдоль ЦМ планеты и вдоль STrZ в момент прохождения по нему Большого Красного Пятна. Для 8 полос поглощения метана и аммиака были определены вариации по диску центральных глубин (R), эквивалентных ширин (W), остаточных интенсивностей (B_{ost}) [10-12].

Ввиду большого перепада в интенсивностях исследуемых абсорбционных полос трудно сравнивать между собой вариации как их глубин, так и эквивалентных ширин. Поэтому эти величины представлялись как в абсолютном виде, так и в нормированном, когда их значения относились к соответствующему значению в центре диска.

Остаточные интенсивности центров полос поглощения B_0 , можно представить в виде

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

где I_0 – интенсивность полосы в ее центре, I_c – ее значение в непрерывном спектре, 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.

Логарифмируя остаточные интенсивности и строя их распределение по диску планеты, мы получим вариации хода τ_M^* для метана или τ_A^* для аммиака в разных полосах поглощения.

$$\tau^* \sim (\ln B_{\text{ost}} / \ln B_{\text{ost0}}),$$

где B_{ost} – остаточная интенсивность исследуемой полосы поглощения вдоль облачного слоя или центрального меридиана, B_{ost0} – ее значение в центре диска Юпитера,

Подобная методика, как мы считаем, дает более наглядную в сравнительном плане информацию о вариациях содержания поглощающего газа по диску планеты во всех исследуемых полосах поглощения (рисунок 1).

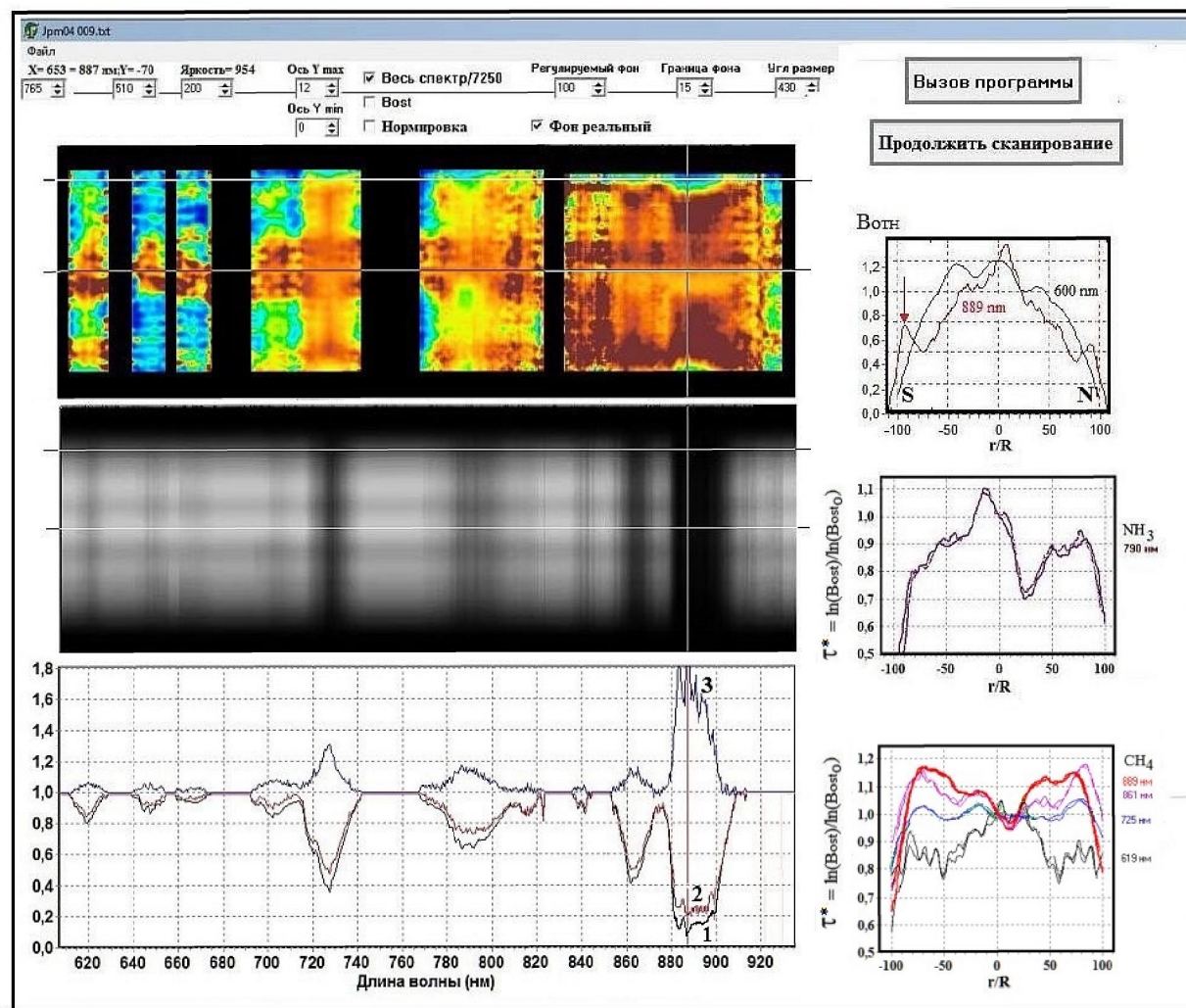


Рисунок 1 – Скриншот программы «Цветная карта поглощения по диску Юпитера» вдоль ЦМ планеты в 2016 году

На рисунке 1 слева сверху – вариации интенсивностей полос поглощения метана и аммиака вдоль ЦМ, представленные в цветовой гамме. Слева посередине – исходная спектрограмма ЦМ Юпитера в области 600-950 нм. Слева внизу – профили полос поглощения метана и аммиака:

- 1 – центральной части диска Юпитера,
- 2 – спектр Южной полярной зоны,
- 3 – отношение спектра Южной полярной зоны к спектру центра диска.

Справа сверху – меридиональные профили яркости в непрерывном спектре (630 нм) и в центре сильной полосы поглощения метана 889 нм.

Справа посередине – вариации τ^* вдоль ЦМ 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 ЦМ Юпитера в 2016 году в 7 соответствующих полосах поглощения, выраженные в τ^* .

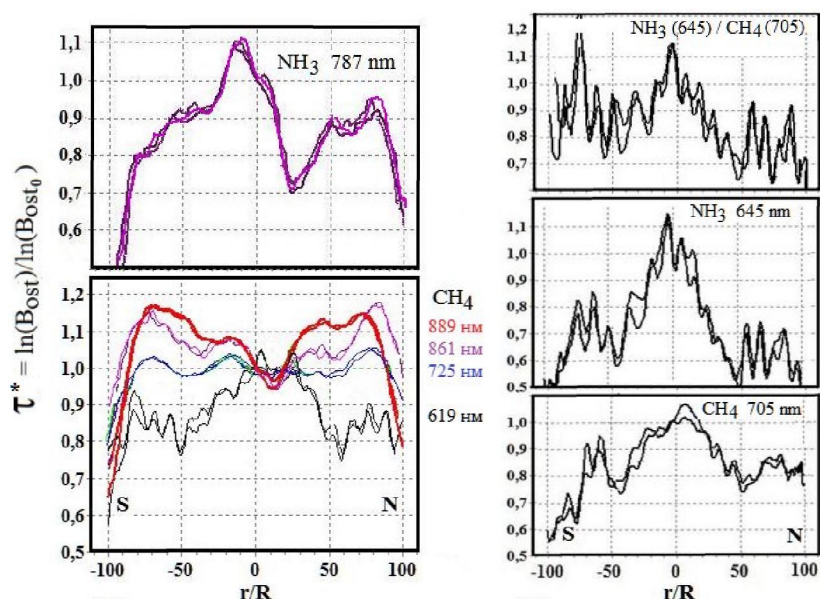


Рисунок 2 – Сравнение хода интенсивности поглощения метана и аммиака вдоль ЦМ Юпитера в 7 полосах поглощения

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). На рисунке 3 представлены: 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, с) – профили полосы поглощения CH_4 в центре диска (1), в полярной области (2) и их отношение (3)=(2)/(1).

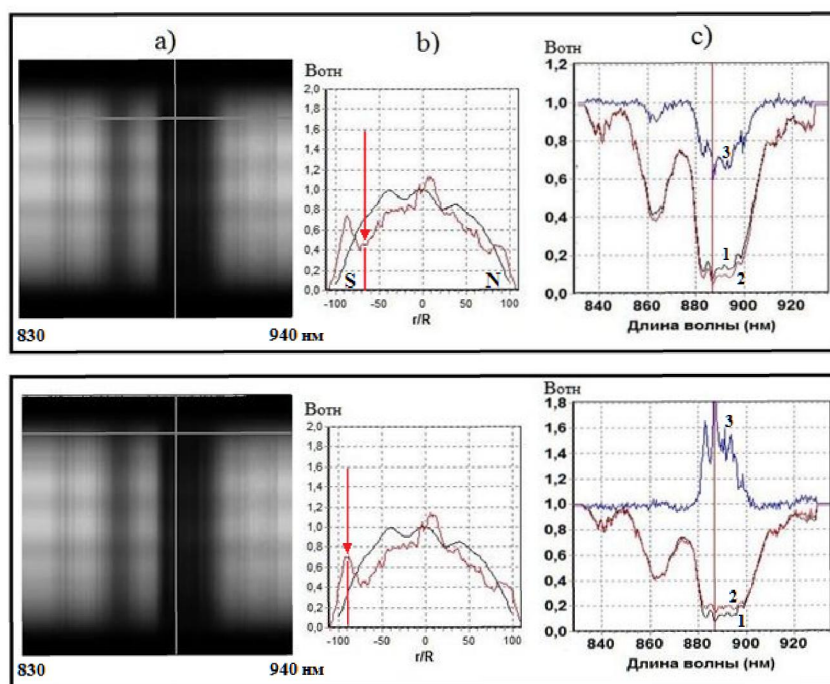


Рисунок 3 – Изменение интенсивности поглощения в полосе метана 889 нм вблизи Южной полярной области при изменении относительного радиуса r/R вдоль центрального меридиана от 0.7 (вверху) до 0.9 (внизу).

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 экваториальным 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 NEB 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 яркими 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 Galileo 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.

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 ЦМ (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 справа), 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. Конденсация аммиака в верхней тропосфере и, как следствие, резкое уменьшение его количества в газовой фазе, влияет на распределение аммиака в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Результаты обработки большого количества спектрограмм, представленные в графическом виде, послужили основой составления атласов широтных вариаций этих параметров.

Фрагменты атласа для 8 полос поглощения представлены на рисунках 4-11. Слева – вдоль EZ, справа – вдоль ЦМ Юпитера. На каждом рисунке показаны профили полос поглощения метана или аммиака в соответствии с указанным интервалом длин волн, справа от них – по оси ординат - вариации центральных глубин R , эквивалентных ширин W , остаточных интенсивностей B_{ost} и логарифмы остаточных интенсивностей $\text{Ln}(B_{\text{ost}})$ в зависимости от положения на диске (r/R – относительный радиус).

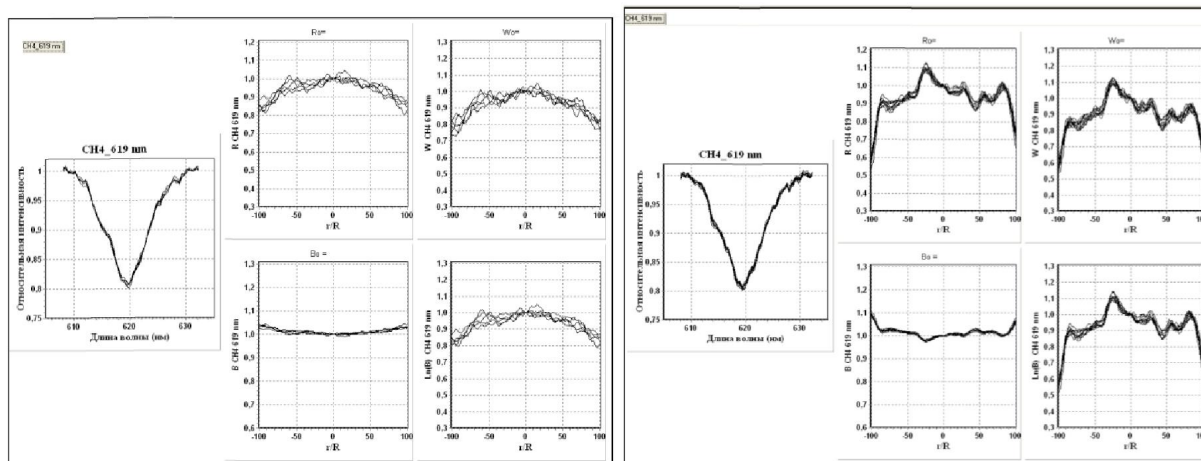


Рисунок 4– Вариации поглощения в полосе метана 619 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

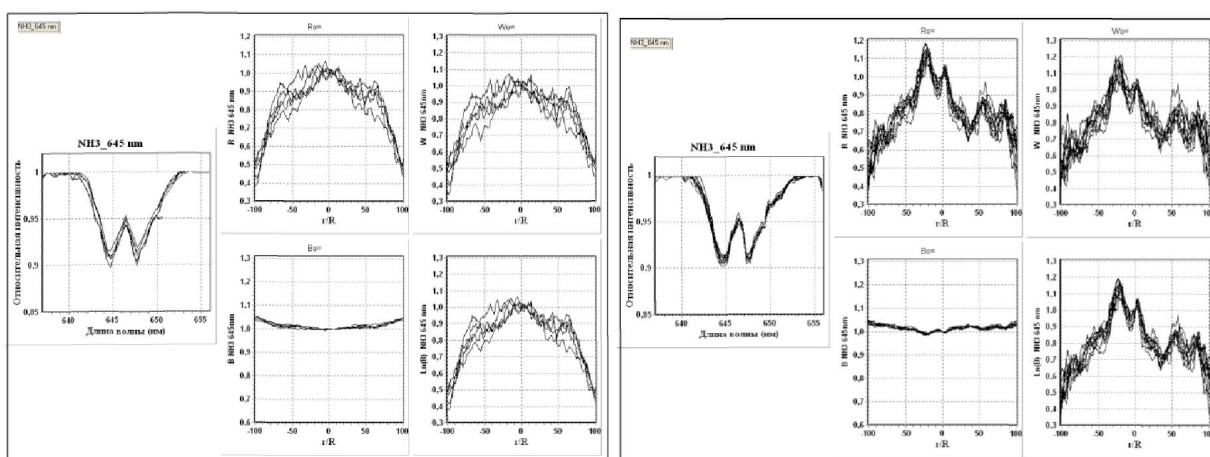


Рисунок 5 – Вариации поглощения в полосе аммиака 645 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

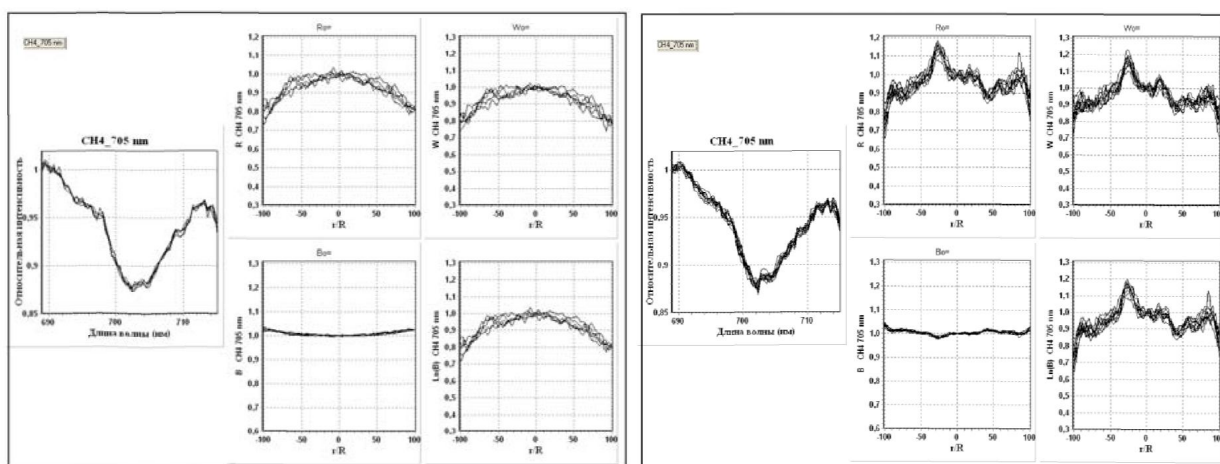


Рисунок 6 – Вариации поглощения в полосе метана 705 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

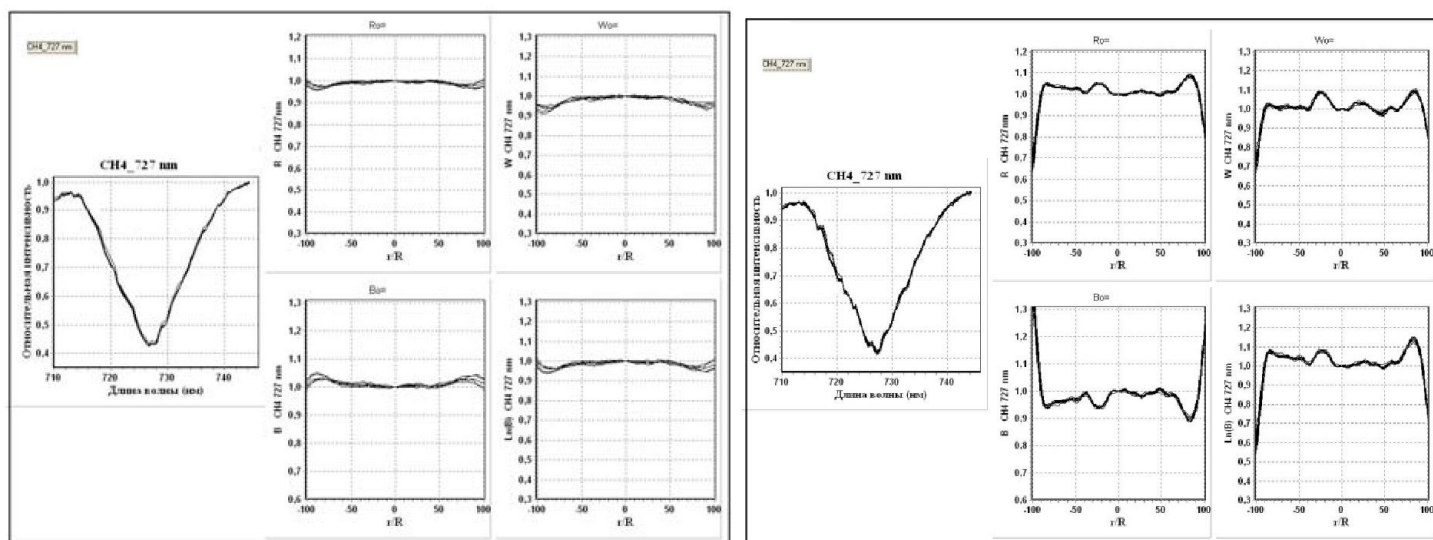


Рисунок 7 – Вариации поглощения в полосе метана 727 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

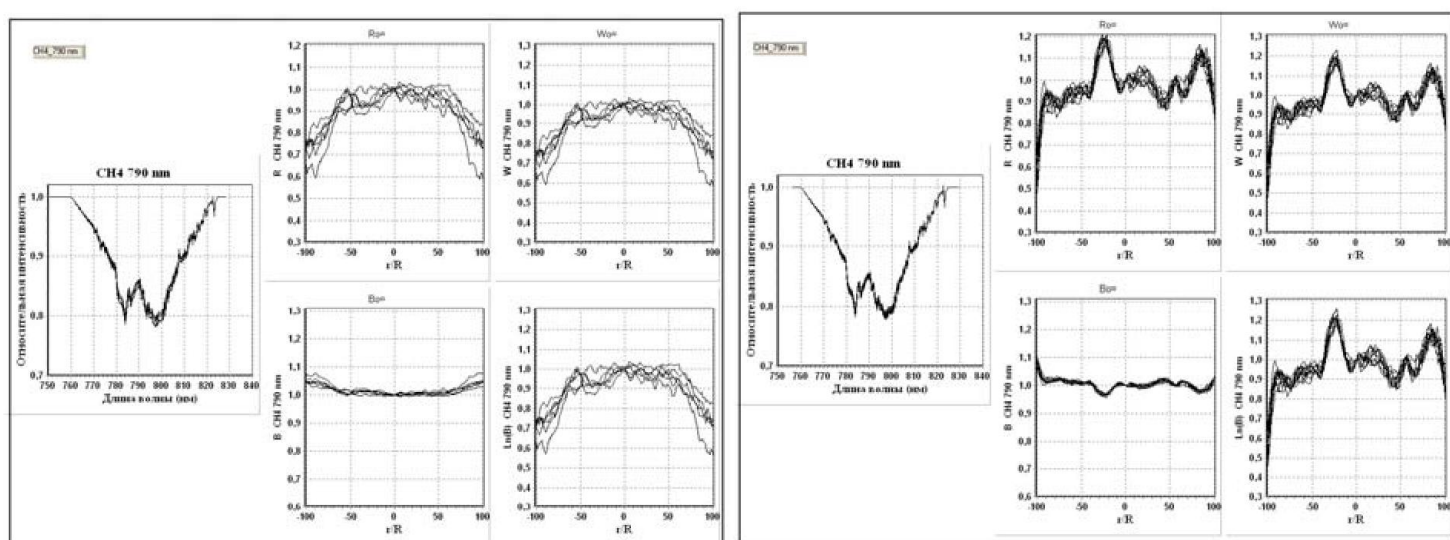


Рисунок 8 – Вариации поглощения в полосе метана 800 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

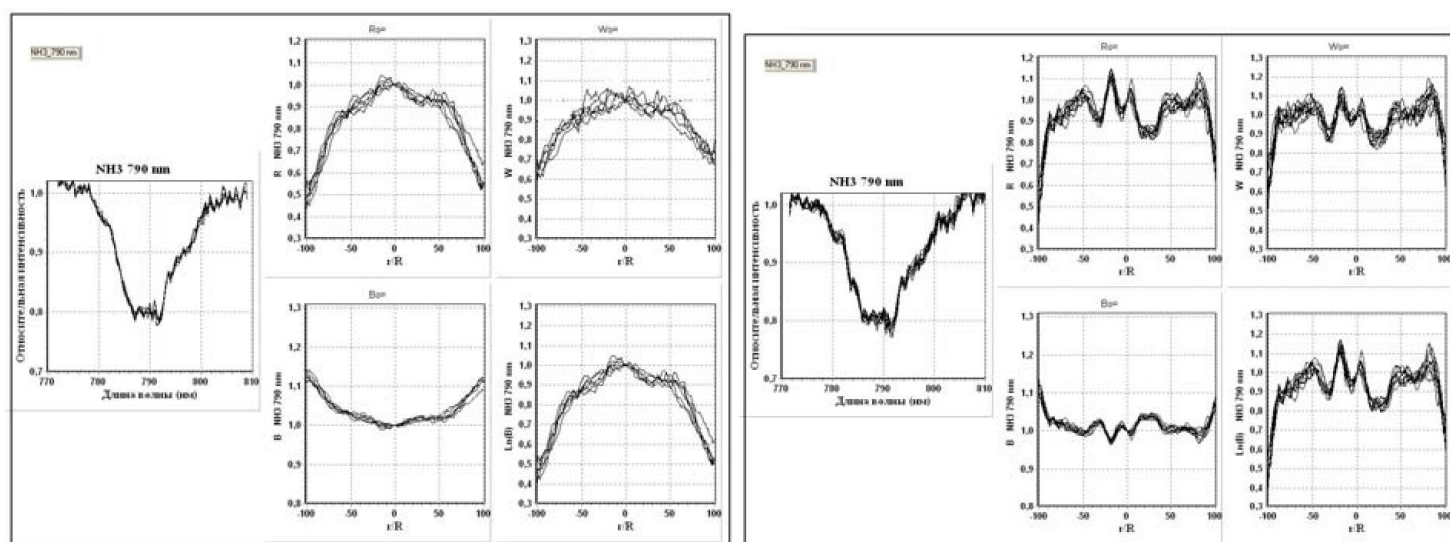


Рисунок 9 – Вариации поглощения в полосе аммиака 790 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

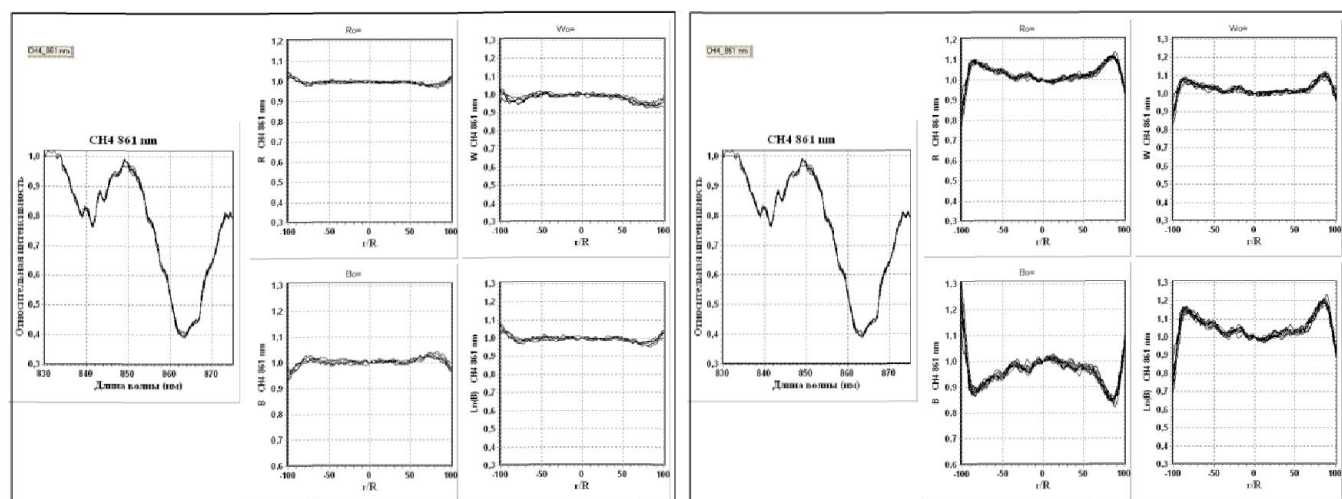


Рисунок 10 – Вариации поглощения в полосе метана 861 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа)

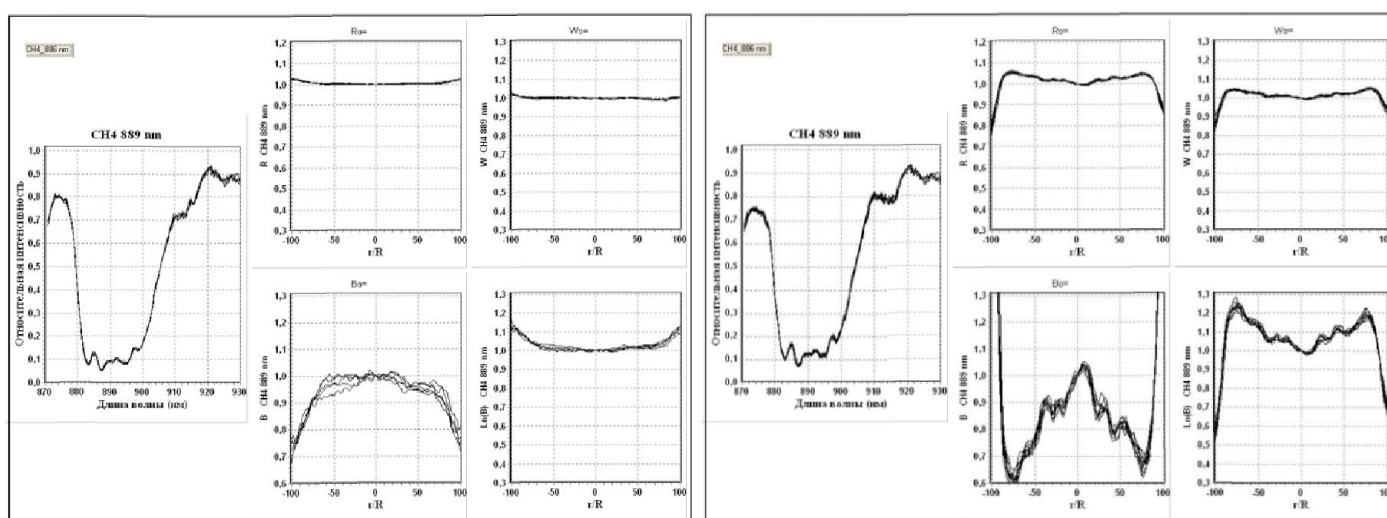


Рисунок 11 – Вариации поглощения в полосе метана 886 нм вдоль экватора (слева) и вдоль ЦМ Юпитера (справа).

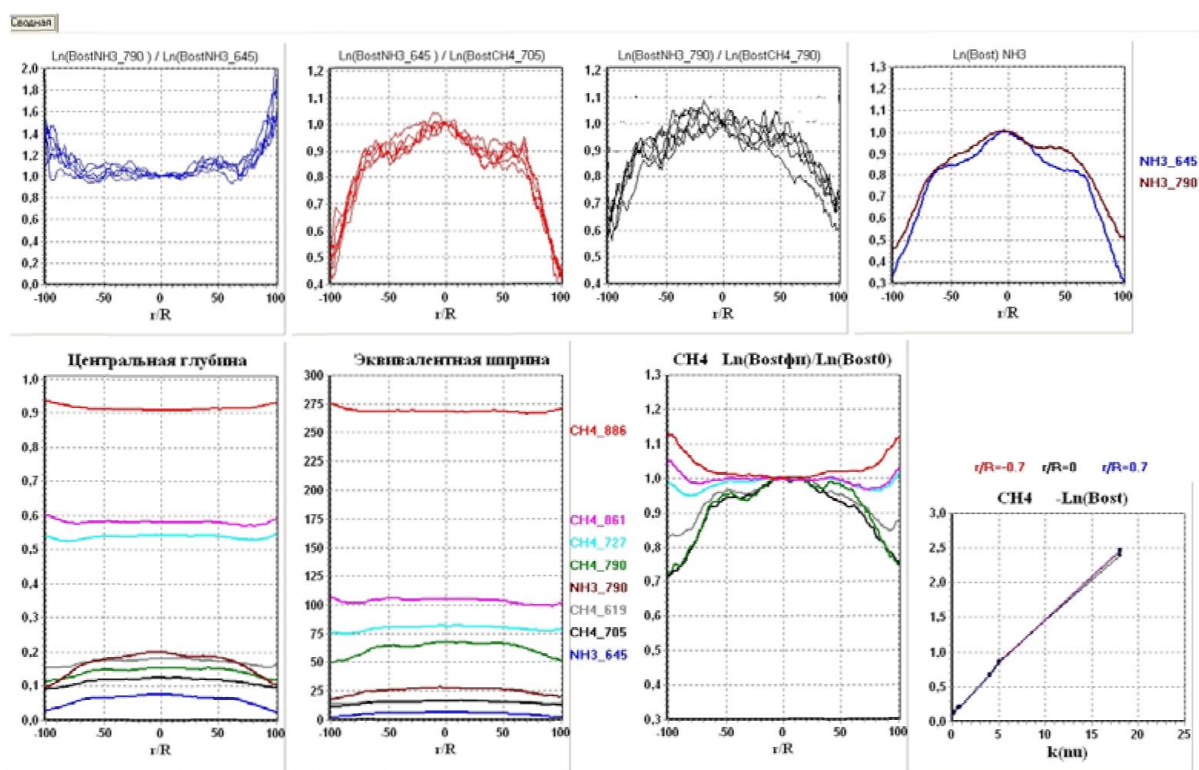


Рисунок 12 – Сводные данные вариаций поглощения вдоль экватора Юпитера в 7 полосах поглощения аммиака и метана различной интенсивности

На сводных графиках программа выводит в графическом виде абсолютные значения центральных глубин и эквивалентных ширин для всех исследуемых 8 полос поглощения метана и аммиака, относительное распределение по диску отношения аммиака к метану и зависимость логарифма остаточной интенсивности $\tau^* = \text{Ln}(\text{Bost})$ от лабораторного коэффициента поглощения k_0 (рисунки 12-13).

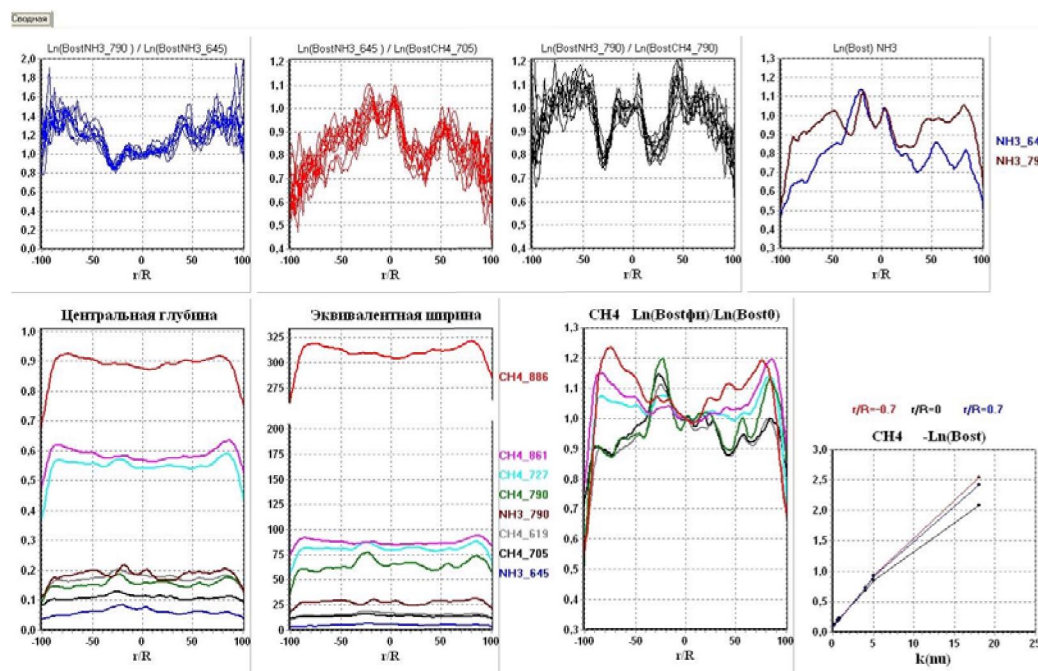


Рисунок 13 – Сводные данные вариаций поглощения вдоль ЦМ Юпитера в 7 полосах поглощения аммиака и метана различной интенсивности

Значения центральных глубин R для разных полос поглощения достигают следующих величин: CH_4 705 нм – 0.12, 790 нм – 0.16, 619 нм – 0.18, 727 нм – 0.55, 861 нм – 0.59, 886 нм – 0.91, NH_3 645 нм – 0.08, 790 нм – 0.21.

Значения эквивалентных ширин W для разных полос поглощения достигают следующих величин: NH_3 645 нм – 8А, 790 нм – 26А, CH_4 705 нм – 18А, 790 нм – 26А, 619 нм – 18А, 727 нм – 85А, 861 нм – 105А, 886 нм – 275-325А,

Вариации центральных глубин R и эквивалентных ширин W по диску планеты достигают 30-40%, намного превышая ошибки измерений.

В полосах метана средней и сильной интенсивности (725, 861, 889 нм) ход поглощения по диску Юпитера качественно хорошо укладывается в рамки двухслойной модели, состоящей из рассеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Измерения в этих полосах указывают на усиление поглощения к краям диска за счет ощутимого влияния надоблачной атмосферы, эквивалентный путь через которую к краю диска увеличивается за счет косинус-эффекта. В умеренных полосах метана 790 и 619 нм роль надоблачной атмосферы практически неощутима, проявляясь только у самого лимба, и поглощение, в основном, обусловлено рассеивающе-поглощающими свойствами аммиачного облачного слоя.

Что касается хода поглощения аммиака вдоль характерных зон и поясов Юпитера в течение ряда лет, то их анализ по нашим спектрограммам показывает его сильное, довольно монотонное, уменьшение к краям диска, вплоть до самого лимба, что, скорее всего, целиком определяется рассеивающими свойствами аэрозоля. Как и следовало ожидать, роль надоблачной атмосферы в абсорбционных полосах аммиака практически сводится к нулю, вследствие его вымерзания на этих высотах. Наблюдения вблизи противостояния, когда режимы освещения и наблюдения симметричны относительно центра диска, показывают небольшую восточно-западную асимметрию хода поглощения аммиака, что, по-видимому, связано с вертикальной неоднородностью

слоистообразной облачности в атмосфере Юпитера или различиями в плотности облачных структур на утреннем и вечернем лимбах.

В отличие от метана, ход поглощения в полосах аммиака NH_3 645 и 790 нм нельзя описать просто рассеивающе-поглощающим слоем с параметром вытянутости индикатрисы $0 \leq g \leq 0.75$. Сильный спад к краям указывает на то, что эти полосы формируются в более глубоких слоях, предоставляя информацию о вертикальном расположении, плотности и протяженности второго и третьего ярусов облаков из аммиака и его соединений. Не исключено, что между ними расположена разреженная диффузная дымка со сферической индикатрисой рассеяния или протяженная чисто газовая прослойка, рассеивающая по закону Релея.

По распределению яркости в EZ в непрерывном спектре (830 нм) и в полосе поглощения метана 889 нм определены параметры рассеивающе-поглощающего слоя в этой области:

ρ_0 – нормальный коэффициент яркости центра диска Юпитера; k – миннаертовский коэффициент потемнения к краю; g – параметр вытянутости индикатрисы Хенли-Гринштейна; ω – вероятность выживания кванта; τ – толщина надоблачной атмосферы.

Таблица 1 - Параметры облачного слоя экваториальной зоны

	ρ_0	k	g	ω	τ
830 нм	0.75	1.06	0.50	0.995	
889 нм	0.075	1.07	0.50	0.720	0.16
435 нм	0.56	1.00	0.45	0.978	

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Baines K. H., Carlson R. W., Kamp L. W. *Icarus* 159 (2002), 74–94.
- [2] Fletcher L.N., Orton G.S., Yanamandra-Fisher P., et al. Retrievals of atmospheric variables on the gas giants from ground-based mid-infrared imaging // *Icarus* 200 (2009), 154–175.
- [3] de Pater I., Dunn D., Zahnle K., Romani P.N. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter // *Icarus* 49 (2001). Issue 1. P. 66–78.
- [4] Achterberg R.K., Conrath B.J., Gierasch P.J. Cassini CIRS retrievals of ammonia in Jupiter's upper troposphere // *Icarus* 182 (2006), 169–180.
- [5] Fletcher, L.N., et al.: The aftermath of the July 2009 impact on Jupiter: Ammonia, temperatures and particulates from Gemini thermal infrared spectroscopy. *Icarus* 211 (2011), 568–586
- [6] Ordonez-Etxeberria, R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos I. Spatial distribution of jovian clouds, hazes and colors from Cassini ISS multi-spectral images *Icarus* 267 (2016), 34–50.
- [7] Edgington S. G. and S. K. Atreya, L. M. Trafton, J. J. Caldwell, R. F. Beebe and A. A. Simon, and R. A. West. Ammonia and eddy mixing variations in the upper troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph observations. *Icarus* 142 (1999), 342–356.
- [8] Mousis O., R. Hueso et al. Instrumental methods for professional and amateur collaborations in planetary astronomy. *Exp Astron* (2014) 38:91–191 DOI 10.1007/s10686-014-9379-0 (A. Sánchez-Lavega, персональное сообщение).
- [9] Lutz B.L., Owen T.. The visible bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *The Astroph. Journal*, **235**: 285–293, 1980 Jan. 1.
- [10] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 104–110.
- [11] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. II. Широкие вариации // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 5. С. 110–118.
- [12] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года III. Большое Красное Пятно (БКП) // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. - 2016. - №5. - С. 118–124.

REFERENCES

- [1] Baines K. H., Carlson R. W., Kamp L. W. *Icarus*, **2002**, 159, p.74–94. (in Eng.).
- [2] Fletcher L.N., Orton G.S., Yanamandra-Fisher P., et al. Retrievals of atmospheric variables on the gas giants from ground-based mid-infrared imaging. *Icarus*, **2009**, 200, p. 154–175. (in Eng.).
- [3] de Pater I., Dunn D., Zahnle K., Romani P.N. Reconciling Galileo Probe Data and Ground-Based Radio Observations of Ammonia on Jupiter. *Icarus* **2001**. 49, Issue 1. P. 66–78. (in Eng.).

- [4] Achterberg R.K., Conrath B.J., Gierasch P.J. Cassini CIRS retrievals of ammonia in Jupiter's upper troposphere. *Icarus* **2006**, 182, 169-180. (in Eng.).
- [5] Fletcher, L.N., et al.: The aftermath of the July 2009 impact on Jupiter: Ammonia, temperatures and particulates from Gemini thermal infrared spectroscopy. *Icarus*, **2011**, 211, p. 568-586 (in Eng.).
- [6] Ordonez-Etxeberria, R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos I. Spatial distribution of jovian clouds, hazes and colors from Cassini ISS multi-spectral images. *Icarus*, **2016**, 267, 34-50. (in Eng.).
- [7] Edgington S. G. and S. K. Atreya, L. M. Trafton, J. J. Caldwell, R. F. Beebe and A. A. Simon, and R. A. West. Ammonia and eddy mixing variations in the upper troposphere of Jupiter from HST Faint Object Spectrograph observations. *Icarus* **1999**, 142, 342-356. (in Eng.).
- [8] Mousis O., R. Hueso et al. Instrumental methods for professional and amateur collaborations in planetary astronomy. *Exp Astron.*, **2014**, 38:91-191 DOI 10.1007/s10686-014-9379-0 (A. Sánchez-Lavega, персональное сообщение). (in Eng.).
- [9] Lutz B.L., Owen T.. The visible bands of ammonia: band strengths, curves of growths, and the spatial distribution of ammonia on Jupiter. *The Astroph. Journal*, **1980** Jan. 1. **235**: p. 285-293, (in Eng.).
- [10] 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. *Izvestiya NAN RK. The mathematics series.* **2016**. No. 5 p. 104-110. (in Russ.).
- [11] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. II. Latitudinal variations. *Izvestiya NAN RK. The mathematics series.* **2016**. No. 5 p. 110-118. (in Russ.).
- [12] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. The study of molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. III. Great Red Spot (GRS). *Izvestiya NAN RK. The mathematics series.* **2016**. No. 5 p. 118-124 (in Russ.).

ӨОЖ: 523.45

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

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

**2016 ЖЫЛЫ ЭКВАТОР БОЙЫНДА ЖӘНЕ ЮПИТЕРДІҢ ОРТАЛЫҚ МЕРИДИАНЫНДА
АММИАК ЖӘНЕ МЕТАННЫҢ ЖҰТУ ВАРИАЦИЯСЫ. 8 ЖҰТУ ЖОЛАҒЫ ҮШІН
САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

Аннотация. 2016 жылдың ақпан-сәуірінде алынған жаңа бақылау материалдарының үлкен ауқымы жекелеген бұлт қабаттарында және 600-950 нм толқындар ұзындығы интервалында Юпитердің орталық меридианы (ОМ) бойында аммиак (NH_3) және метанның (CH_4) жұтылуының таралуының ары қарайғы зерттеуін жүргізуге мүмкіндік берді. Өңдеу әдістерін жетілдіру мақсатында 83 таңдалған жолақ параметрлері жөнінде ақпарат беретін Delphi тілінде «Юпитер дискісі бойынша жұтудың түсті картасы» бағдарламасы жазылды. Өңдеудің нәтижелері өлшенген параметрлердің ендік вариациясының атласын құруға мүмкіндік берді. Планета дискісі бойынша қозғалыс кезінде зерттелген жолақтардың жұтылуының негізгі сипаттамалары 30-40% шамасында өзгереді, өлшем қателігінен анағұрлым артады. Барлық жолақтар үшін олардың беталысы аймақтық сипаттама болып табылады. CH_4 және NH_3 жұту жолақтарының беталысы ендік ерекшеліктері әртүрлі қарқындылықта ОМ бойында қозғалысы кезінде зерттелді. Алынған нәтижелерден зерттеліп отырған газдардың жұту қасиеттеріне бұлт қабаты және бұлт үстіндегі атмосфераның әсері жөнінде сәйкес шешімдер жасалды. Орташа және күшті қарқындылықта CH_4 (725, 861, 889 нм) жолақтарында жұту жолы планета дискісі бойынша шашыраңқы-жұту біртекті бұлт қабатынан және олардың үстіндегі таза газды атмосферадан тұратын екіқабатты үлгілерге сәйкес келетіні жөніндегі шешім дәлелденді. NH_3 қатысты оның 1645 және 790 нм жұту жолақтары өлшемінен олар өте терең қабаттарда қалыптасатыны яғни, тығыздықтың тік орналасуы жөнінде және NH_3 және оның қосылуынан екінші және үшінші бұлт қабаттары бойлығы жөнінде ақпаратты алып жүретіндігі шығады.

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