

УДК 523.45-852

А. С. Овсак

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
ovsak@mao.kiev.ua

Изменения характеристик верхних слоев атмосферы Юпитера по данным наблюдений интегрального диска планеты

По спектральным значениям геометрического альbedo Юпитера за 1993 и 1995 гг. в полосах поглощения метана 887, 864, 842, 727 и 619 нм получены данные об изменении с глубиной в атмосфере аэрозольной и газовой составляющих эффективной оптической глубины. По сравнению с 1993 г., в 1995 г. на 0—5 % (в зависимости от глубины уровня в атмосфере) увеличилась аэрозольная рассеивательная составляющая оптической глубины. Результаты обработки данных 1993 г. однозначно показывают наличие трех аэрозольных слоев с разрывами между ними на уровнях с атмосферным давлением примерно 0.38 и 0.52 бар. Выявлены признаки образования в 1995 г. нового аэрозольного слоя на уровне атмосферы с давлением 15—18 бар.

ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНІХ ШАРІВ АТМОСФЕРИ ЮПІТЕРА ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ІНТЕГРАЛЬНОГО ДИСКА, Овсак О. С. — За спектральними значеннями геометричного альbedo Юпітера за 1993 та 1995 рр. у смугах поглинання метану 887, 864, 842, 727 та 619 нм отримано дані про зміни з глибиною в атмосфері аерозольної й газової складових ефективної оптичної глибини. У порівнянні з 1993 р., у 1995 р. на 0—5 % (в залежності від глибини рівня в атмосфері) збільшилася величина аерозольної розсіювальної складової оптичної глибини. Результати обробки даних 1993 р. однозначно показують наявність трьох аерозольних шарів і розривів між ними на рівнях з атмосферним тиском приблизно 0.38 і 0.52 бар. Виявлено ознаки утворення у 1995 р. нового аерозольного шару на рівні атмосфери з тиском 15—18 бар.

SOME CHANGES OF UPPER LAYER CHARACTERISTICS FOR JOVIAN ATMOSPHERE FROM MEASUREMENTS OF THE PLANET'S WHOLE DISK, by Ovsak A. S. — Some changes in the behavior with depth for the optical thicknesses of the aerosol and gas scattering components in profiles of 887, 864, 842, 727, and 619 nm spectral absorption bands of atmospheric methane were studied. We examined the spectrophotometric data obtained from the measurements of the Jovian whole disk during 1993 and 1995. The aerosol scattering component increased by 0–5% (depending on the depth level) in 1995 as compared with 1993. Three different aerosol layers with gaps at the atmospheric levels near 0.38 and 0.52 bars were detected from the measurement data obtained in 1993. Some evidence of new aerosol layer formation at the atmospheric level with pressure from 15 to 18 bars in 1995 was revealed.

ВВЕДЕНИЕ

Работы по моделированию процессов образования облаков в атмосферах планет-гигантов [2, 11, 21, 35] и данные нефелометрического эксперимента, полученные при спуске зонда КА «Галилей» [30], указали на слоистую структуру облачного покрова Юпитера. Поэтому при анализе спектрофотометрических данных о распределении по диску остаточной интенсивности в центрах полос поглощения метана, а также при обработке фотоснимков планеты, полученных с применением узкополосных фильтров, начали применяться модели атмосферы с многослойной вертикальной структурой [12—14, 16, 18, 22—24, 29, 31—34, 36]. В перечисленных работах приемлемое согласие результатов анализа данных наблюдений и расчетов обеспечивается применением моделей атмосферы различной сложности. Для каждого дополнительного слоя в используемой модели, исходя из предпочтений и выводов авторов работ, подбираются значения параметров. При этом общее количество параметров может достигать десяти и более, что приводит к неоднозначности получаемых характеристик исследуемой атмосферы.

В то же время чрезвычайно простой метод однозначного определения вертикальной структуры облачного слоя предложил А. В. Морозенко [3]. В основе этого метода лежит определение величины эффективной оптической глубины $\tau_{\text{эф}}$ формирования поля излучения, диффузно отраженного полубесконечной оптически однородной частично поглощающей атмосферой [15]. В различных точках спектральных контуров полос поглощения атмосферного газа величина $\tau_{\text{эф}}$ принимает разные значения, что позволяет определять характер изменения вертикальной структуры исследуемой атмосферы по данным ее спектрофотометрических измерений [1, 4, 5, 7, 8]. Например, полученная в работе [7] зависимость изменения объемного коэффициента рассеяния аэрозоля с глубиной в атмосфере Юпитера качественно сов-

пала с результатами нефелометрического эксперимента на зонде КА «Галилей» [32]. Подчеркнем, что в перечисленных работах с применением метода Мороженко при моделировании среды использовалась трехпараметрическая индикатриса рассеяния Хеньи — Гринстейна, а также приближенно учитывалось изменение индикатрисы рассеяния из-за роста относительной концентрации водорода с глубиной в атмосфере планеты-гиганта. Эти ограничения были устранены в разработанном комплексе программных кодов [9, 29]. В комплекс интегрирован модуль программных кодов, составленный М. И. Мищенко. В этом модуле рассчитываются значения коэффициентов разложения индикатрисы рассеяния в ряд по полиномам Лежандра, а также объемные коэффициенты рассеяния моделируемой среды при заданных значениях показателя преломления, параметров и вида функции распределения частиц по размерам. Далее, методом последовательных корректировок коэффициентов разложения индикатрисы рассеяния, с использованием рассчитываемых значений величины молекулярной рассеивательной составляющей, учитывается влияние молекулярного рассеяния на исследуемом уровне атмосферы.

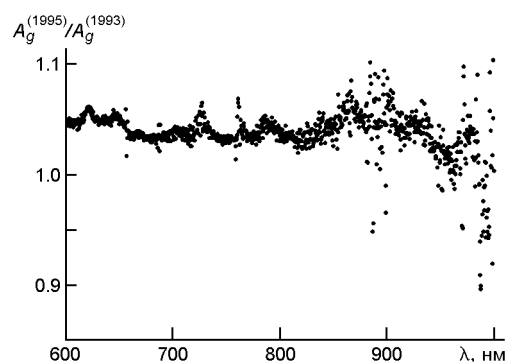


Рис. 1. Спектральная зависимость отношения значений величин геометрического альbedo диска Юпитера по данным измерений 1993 и 1995 гг. [19, 20]

В отличие от работ [9, 28], где анализировалась только зависимость от давления величины эффективной оптической глубины $a_{\text{эф}}$ аэрозольной рассеивающей составляющей, в настоящей работе используется и более информативная зависимость отношения $\frac{a_{\text{эф}}}{g_{\text{эф}}}$ величин аэрозольной и газовой рассеивающих составляющих. Таким образом, обрабатывая данные о величине геометрического альbedo Юпитера в 1993 г. [19] и 1995 г. [20], в настоящей работе мы уточним характер изменения вертикальной структуры аэрозольного слоя атмосферы Юпитера. Кроме того, учитывая очевидные изменения характеристик отраженного планетой светового поля (см. рис. 1), попытаемся оценить изменения, происшедшие за указанный период времени в характеристиках облачных слоев атмосферы Юпитера. Следует отметить, что в используемых нами исходных данных за 1995 г. есть большое количество значений, которые существенно отклоняются от средних величин, особенно в длинноволновой части спектра, что может привести к получению некоторых ошибочных результатов.

ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОД АНАЛИЗА

При выполнении анализа мы исходили из следующих предположений.

1. Физические свойства аэрозоля не изменяются с глубиной и соответствуют результатам анализа данных поляризационных измерений центра диска Юпитера в работах [25] и [26], а именно: значение действительной части показателя преломления $n_r = 1.36$, распределение частиц по размерам соответствует модифицированному гамма-распределению со значением эффективного радиуса $r_{\text{эф}} = 0.4$ мкм и дисперсией $v_{\text{эф}} = 0.35$.

2. Относительная концентрация метана в атмосфере Юпитера постоянна и равна $\chi = 0.0021$ [27].

3. При выполнении анализа данных в полосах молекулярного поглощения метана в спектральном диапазоне $\lambda > 600$ нм поглощением в непрерывном спектре можно пренебречь.

4. Для расчетов следует использовать монохроматические коэффициенты поглощения метана k , пересчитанные с учетом теплового режима атмосферы Юпитера [6].

Анализ выполнялся для каждой исследуемой спектральной точки в следующей последовательности операций.

1. Рассчитывались коэффициенты $x_i^a(\lambda)$ разложения индикатрисы рассеяния в ряд по полиномам Лежандра и объемные коэффициенты рассеяния $\sigma_0(\lambda)$ для полидисперсной среды с физическими свойствами, определенными в работах [26] и [25].

2. В широком диапазоне значений альbedo однократного рассеяния рассчитывались значения величин геометрического альbedo в модели оптически однородного полубесконечного частично поглощающего слоя.

3. Из сравнения наблюдаемых спектральных величин геометрического альbedo диска Юпитера и значений, рассчитанных в п. 2, определялись соответствующие им величины альbedo однократного рассеяния $\omega(\lambda)$.

4. Рассчитывались величины эффективной оптической глубины $g_{\text{эф}}(\lambda)$ по выражению из работы [10], ее рассеивательной составляющей

$$g_{\text{эф}}^s(\lambda)_{\text{эф}} \quad (1)$$

и количество метана (в км-амагат) на луче зрения

$$NL = (1 - \omega(\lambda))_{\text{эф}} / k \quad (2)$$

5. Для модели атмосферы Юпитера с относительными концентрациями водорода 0.85 и гелия 0.15, согласно работе [7], рассчитывались величины газовой рассеивательной составляющей эффективной оптической глубины:

$$\ln g_{\text{эф}}^g(\lambda) = \ln NL + \ln \left(8.123 + 4 \ln(887.2 \text{ нм} / \lambda) \right) \quad (3)$$

6. Вычислялись значения параметра

$$\left(\frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}} \right) / \left(\frac{s}{\varepsilon_{\text{эф}}} \right), \quad (4)$$

определяющего относительный вклад газовой составляющей в рассеивающие свойства исследуемого уровня атмосферы и по ним уточнялись значения коэффициентов разложения индикатрисы рассеяния x_i^c газовой-аэрозольной среды:

$$x_i^c = (1 - x_i^a) x_i^g. \quad (5)$$

7. Этапы 3—6 повторялись, пока текущее рассчитанное значение геометрического альбедо отличалось от расчета в предыдущей итерации не более чем на заданную малую величину.

8. По результатам расчетов последней итерации п. 7 вычислялись значения аэрозольной рассеивательной составляющей оптической глубины:

$$\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}(\lambda) = \frac{s}{\varepsilon_{\text{эф}}}(\lambda) - \frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}}(\lambda) \quad (6)$$

и атмосферного давления P на соответствующем эффективном уровне атмосферы Юпитера [7]:

$$\ln P = 4.465 \ln \left(\frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}} (887.2 \text{ нм}) \right). \quad (7)$$

9. После пересчета значений $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}(\lambda)$ на длину волны 887.2 нм:

$$\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}} (887.2 \text{ нм}) = \frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}(\lambda) \frac{0(887.2 \text{ нм})}{0(\lambda)} \quad (8)$$

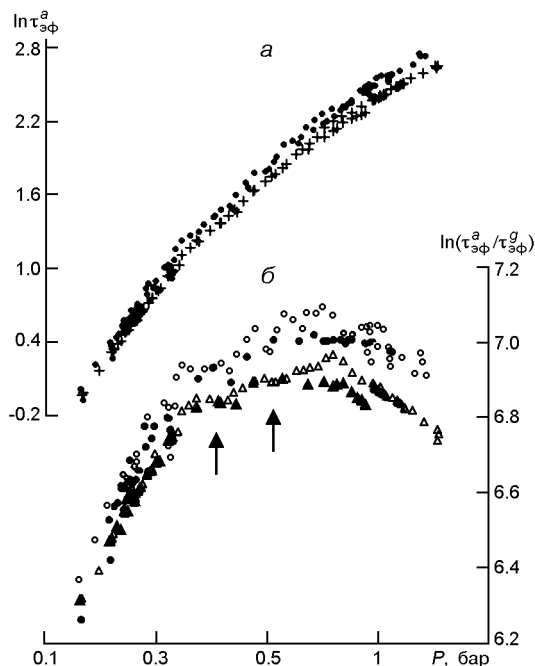
строились графические зависимости от давления величин $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}$ или $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}} / \frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}}$, по которым выполнялся анализ вертикальной структуры аэрозольной составляющей атмосферы.

Отметим, что рассчитанные в спектральных точках отношения $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}} / \frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}}$ дают усредненные по глубине (на луче зрения) относительные плотности аэрозольного слоя и поэтому однозначно указывают на характер изменения вертикальной структуры аэрозольной составляющей в атмосфере. Необходимо также подчеркнуть, что погрешность вычислений величины $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}$ может достигать 100 % [10], то и абсолютные значения производных от нее величин $\frac{a}{\varepsilon_{\text{эф}}}$ и $\frac{g}{\varepsilon_{\text{эф}}}$ не могут считаться достоверными. В то же время относительные изменения указанных величин достаточно точно отражают вертикальную структуру верхних слоев исследуемой атмосферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проверка показала, что изменение исходных значений геометрического альбедо в пределах 1—2 % приводит примерно к таким же вариациям вычисленных значений оптической толщины и давления. Поэтому наблюдаемый на рис. 1 разброс значений отношения величин геометрического альбедо за 1995 и 1993 гг., особенно в длинноволновом диапазоне, привел к соответствующему разбросу результа-

Рис. 2. Полоса поглощения метана $\lambda = 887.2$ нм. Рассчитанные по данным измерений 1993 и 1995 гг. зависимости от давления: а) аэрозольной (точки — 1995 г., крестики — 1993 г.); б) отношения аэрозольной и газовой рассеивательных составляющих оптической глубины атмосферы Юпитера (точки и кружки — 1995 г., коротковолновое и длинноволновое крылья соответственно, темные и светлые треугольники — 1993 г., коротковолновое и длинноволновое крылья соответственно). Стрелками отмечены участки разрывов между облачными слоями



Уровни формирования и характеристики облачного слоя Юпитера для центров полос поглощения метана в 1993 г. и 1995 г.

λ , нм	1993 г.			1995 г.		
	P , бар	$\ln a$	$\ln(a/g)$	P , бар	$\ln a$	$\ln(a/g)$
887.2	0.157	-0.024	6.315	0.158	-0.065	6.263
864.0	0.466	1.576	6.824	0.447	1.622	6.913
727.6	0.479	1.581	6.803	0.455	1.630	6.902
841.6	1.195	2.383	6.690	1.117	2.450	6.825
619.2	1.477	2.470	6.565	1.286	2.610	6.843

тов расчетов, особенно заметному в длинноволновых полосах $\lambda = 887.2$ и 864.0 нм (см. рис. 2, 3). Возможно, по этой же причине на графических зависимостях проявилось различие между результатами расчетов для длинноволнового и коротковолнового крыльев полосы $\lambda = 864.0$ нм за 1995 год (рис. 3, б), а у полосы $\lambda = 887.2$ нм для обоих годов наблюдений (рис. 2, б).

2. Приведенные на рис. 2—5 зависимости качественно подтверждают данные КА «Галилей» [30] о том, что основная часть облачного слоя, принимающего участие в формировании диффузно отраженного Юпитером света, находится в верхних слоях атмосферы с давлением менее 10 бар.

3. Как следует из таблицы и рис. 2—5, в 1995 г. эффективные уровни формирования излучения всех исследованных полос поглощения метана, за исключением участка в центре полосы $\lambda = 887.2$ нм, несколько поднялись, а относительная концентрация аэрозоля увеличи-

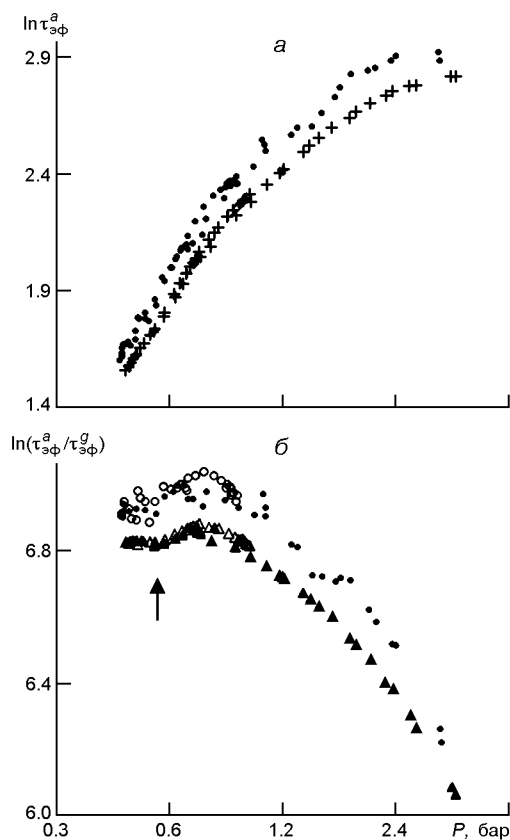


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для полосы поглощения метана $\lambda = 864.0$ нм

лась. В то же время эффективный уровень формирования излучения в участке центра полосы 887.2 нм опустился, а относительная концентрация аэрозоля уменьшилась.

4. На графических зависимостях $\frac{a}{\text{эф}} / \frac{g}{\text{эф}}$ 1993 г. в полосе поглощения $\lambda = 887.2$ нм (рис. 2, б) проявляется не менее трех облачных слоев конечной оптической толщины, в пределах которых наблюдается увеличение $\frac{a}{\text{эф}} / \frac{g}{\text{эф}}$ с глубиной.

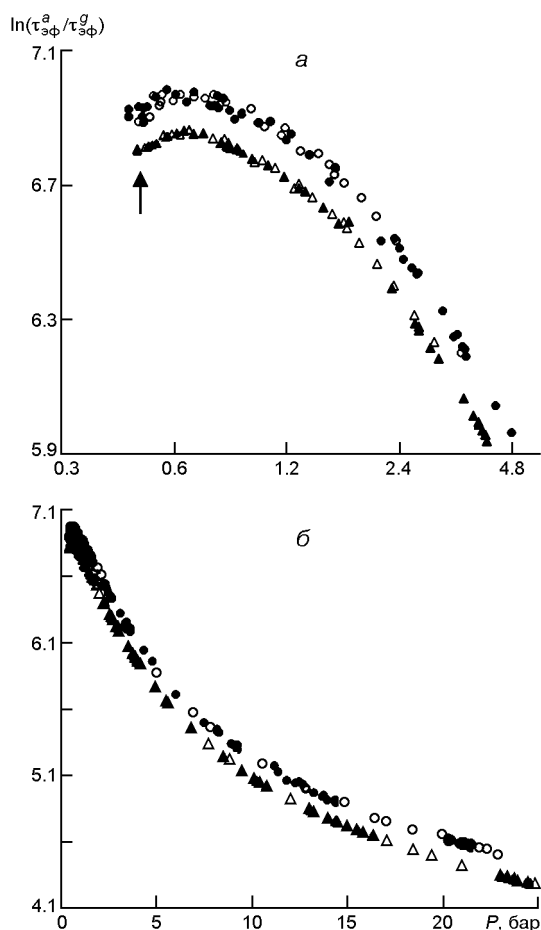
Первый слой, в котором при давлении около 0.16 бар формируется ядро полосы $\lambda = 887.2$ нм и который возможно включает в себя расположенную выше стратосферную дымку, характеризуется значительным увеличением относительной концентрации аэрозоля и простирается до уровня с давлением примерно 0.33 бар. Второй и третий слой расположены соответственно в интервалах давлений 0.4—0.46 и 0.61—0.78 бар. В промежутках 0.33—0.40 и 0.46—0.61 бар наблюдается уменьшение, либо отсутствие изменений относительной концентрации аэрозоля.

Аналогичная ситуация характерна и для 1995 г., однако из-за значительного разброса рассчитанных значений $\frac{a}{\text{эф}} / \frac{g}{\text{эф}}$ здесь однозначно проявляется только первая прослойка.

5. Графические зависимости в полосах поглощения $\lambda = 864.0$ и 727.6 нм (рис. 3, 4) включают в себя частично второй и полностью третий облачные слои (интервал давлений 0.4—0.78 бар). Отметим, что если у полос 887.2 и 864.0 нм зависимости для части второго и пол-

Рис. 4. Полоса поглощения метана

727.6 нм. Рассчитанные по данным 1993 и 1995 гг. зависимости от давления отношения аэрозольной и газовой рассеивательных составляющих эффективной оптической глубины атмосферы Юпитера: *а* — участок формирования области ядра полосы 0.3—5.0 бар (логарифмическая шкала давления), *б* — весь диапазон глубин формирования полосы (линейная шкала давления). Точки и кружки — 1995 г., коротковолновое и длинноволновое крылья соответственно, темные и светлые треугольники — 1993 г., коротковолновое и длинноволновое крылья соответственно. Стрелкой отмечен участок разрыва между облачными слоями



ностью третьего аэрозольных слоев практически идентичны, то у полосы поглощения $\lambda = 727.6$ нм наблюдается смещение всех точек зависимостей в сторону меньших давлений на $\ln P \approx 0.1 \dots 0.2$ бар. Причиной этого смещения может быть систематическая ошибка определения значений монохроматического коэффициента поглощения в работе [17].

6. В диапазоне давлений 0.78—5.0 бар, где формируются крылья полос поглощения $\lambda = 887.2, 864.0$ и 727.6 нм (рис. 2—4), а также центральные части полос $\lambda = 841.6$ и 619.2 нм (рис. 5), наблюдается быстрое уменьшение с глубиной относительной концентрации аэрозоля.

7. Начиная с уровня атмосферы с давлением 5.0 бар и глубже все три полосы $\lambda = 727.6, 841.6$ и 619.2 нм показывают замедление скорости убывания относительной концентрации аэрозоля (см. рис. 4, б, 5).

8. На уровнях атмосферы, в диапазоне давлений 15—18 бар, на зависимостях слабых полос $\lambda = 841.6$ и 619.2 нм для 1995 г. проявилось некоторое увеличение относительной концентрации аэрозоля (см. рис. 5). На длинноволновом крыле зависимости полосы $\lambda = 727.6$ нм

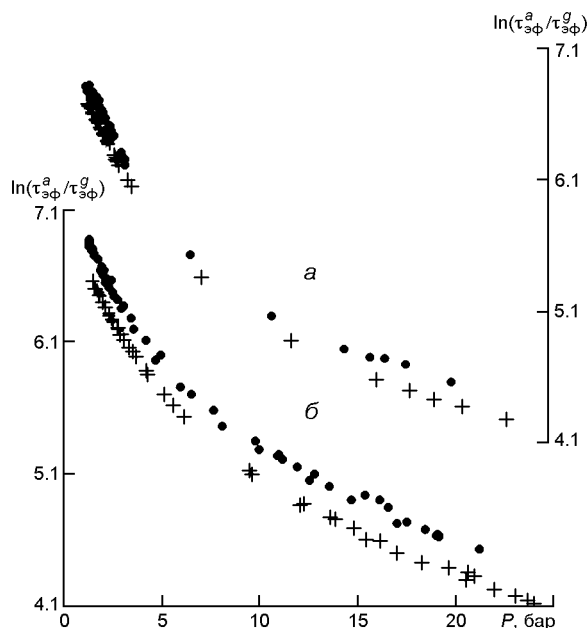


Рис. 5. Зависимости от давления отношения аэрозольной и газовой рассеивательных составляющих эффективной оптической глубины атмосферы Юпитера, рассчитанные по данным 1993 г. (точки) и 1995 г. (крестики) для полос поглощения метана: $a = 841.6$ нм, $b = 619.2$ нм

также, хотя и менее выражено, наблюдается подобная тенденция. Возможно, что эти результаты указывают на появление в 1995 г. нового облачного слоя на указанных глубинах, однако малое количество точек измерений в соответствующих спектральных диапазонах исходных данных не позволяет дать однозначный ответ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполненный анализ подтвердил наличие слоистой вертикальной структуры у верхнего облачного слоя атмосферы Юпитера. По данным измерений 1993 г. определено высотное расположение в верхней части атмосферы Юпитера трех облачных слоев конечной оптической толщины. Из-за отсутствия экспериментальных данных о природе облачных частиц и их распределения по размерам с глубиной в атмосфере Юпитера определить физические различия между обнаруженными аэрозольными слоями используемый нами метод не позволяет.

2. Определены количественные изменения рассеивательной составляющей оптической глубины за период с 1993 г. по 1995 г. А именно, на 0—5 % (в зависимости от глубины уровня в атмосфере) увеличилось значение аэрозольной рассеивательной составляющей. Эффективные уровни формирования отраженного планетой излучения для всех исследованных полос поглощения метана, за исключением участка в центре полосы $\lambda = 887.2$ нм, несколько поднялись, а относительная концентрация аэрозоля уменьшилась.

3. Полученные зависимости показывают, что основная часть облачного слоя атмосферы, формирующего поле диффузно отраженного Юпитером света, находится в верхних уровнях атмосферы планеты при давлении до 10 бар.

4. Определенные в работе уровни расположения в атмосфере максимумов и минимумов относительной концентрации аэрозоля соответствуют результатам работ [36] (аэрозоль над уровнем 0.3 бар в EZ и GRS), [30] (минимум коэффициента ослабления при 0.51 бар), [15] (уплотнение облака при 0.75 бар), [23] (уплотнение облаков около 0.8 бар).

5. Результаты, полученные с использованием данных измерений геометрического альbedo, представляют усредненные по всему диску характеристики, не отражая особенностей отдельных областей атмосферы планеты-гиганта, поэтому с практической стороны могут использоваться лишь для предварительной оценки вертикальной структуры облаков. Кроме отработки применяемого метода анализа и программного обеспечения, показана возможность их применения для оценки вертикальной структуры аэрозольных слоев в атмосферах планет-гигантов, для которых отсутствуют данные измерений альbedo отдельных участков или зон.

6. В работе использовались данные измерений в диапазоне длин волн $\lambda = 600 \dots 1000$ нм. Полученные результаты показали, что даже ядро самой сильной в этом диапазоне спектральной полосы поглощения метана на $\lambda = 887.2$ нм формируется на высотном уровне, где аэрозольная рассеивательная составляющая имеет некоторое ненулевое значение. Таким образом, определить положение уровня верхнего края облачного слоя и тем более свойства расположенных еще выше слоев (возможно чисто газового, а возможно разреженной «дымки») и их влияние на суммарную оптическую глубину, используемые данные не позволяют.

Автор признателен А. В. Мороженко за советы и существенные замечания, данные в процессе выполнения расчетов и при обсуждении содержания данной статьи, а также М. И. Мищенко за возможность использования его программных кодов при расчете характеристик среды, заполненной полидисперсным ансамблем однородных сферических частиц.

1. Дементьев М. С., Мороженко А. В. Зоны и полосы диска Юпитера. Различие в вертикальной структуре облачных слоев // *Астрон. вестн.*—1990.—24, № 4.—С. 275—287.
2. Ибрагимов К. Ю. Численное моделирование слоистообразной облачности в атмосферах планет-гигантов. — Алма-Ата: Наука, 1990.—239 с.
3. Мороженко А. В. О структуре облачного слоя Юпитера // *Письма в Астрон. журн.*—1984.—10, № 10.—С. 775—779.
4. Мороженко А. В. Вертикальная структура широтных облачных поясов Юпитера // *Астрон. вестн.*—1985.—24, № 1.—С. 64—76.
5. Мороженко А. В. Проблемы изучения вертикальных структур атмосфер планет-гигантов // *Кинематика и физика небес. тел.*—1993.—9, № 6.—С. 3—26.
6. Мороженко А. В. Переопределение значений монохроматических коэффициентов поглощения метана с учетом тепловых режимов планет-гигантов. II. Юпитер // *Кинематика и физика небес. тел.*—2003.—19, № 6.—С. 483—500.

7. *Мороженко А. В., Овсак А. С.* Зависимости аэрозольной составляющей оптической толщины и относительной концентрации метана от глубины в атмосферах планет-гигантов // *Кинематика и физика небес. тел.*—2009.—**25**, № 4.—С. 243—258.
8. *Мороженко А. В., Овсак А. С., Корсун П. П.* Вертикальная структура облачного слоя Юпитера до и после столкновения с кометой Шумейкер — Леви 9 // *Кинематика и физика небес. тел.*—1995.—**11**, № 4.—С. 3—20.
9. *Овсак А. С.* Модернизация метода анализа вертикальной структуры аэрозольной составляющей атмосфер планет-гигантов // *Кинематика и физика небес. тел.*—2013.—**29**, № 6.—С. 53—67.
10. *Яновицкий Э. Г., Овсак А. С.* Эффективная оптическая глубина формирования линии поглощения в полубесконечной планетной атмосфере // *Кинематика и физика небес. тел.*—1997.—**13**, № 4.—С. 3—21.
11. *Atreya S. K., Wong A. S.* Coupled clouds and chemistry of the giant planets — a case for multiprobes // *Space Sci. Revs.*—2005.—**116**, N 1.—P. 121—136.
12. *Axel L.* Inhomogeneous models of the atmosphere of Jupiter // *Astrophys. J.*—1972.—**173**, N 2.—P. 451—468.
13. *Baines C. J.* Contribution to the study of Jupiter's atmosphere // *Icarus.*—1971.—**15**, N 1.—P. 58—67.
14. *Banfield D., Gierasch P. J., Bell M., et al.* Jupiter's cloud structure from Galileo imaging data // *Icarus.*—1998.—**135**, N 1.—P. 230—250.
15. *Chamberlain J. W.* The atmosphere of Venus near cloud top // *Astrophys. J.*—1965.—**141**, N 4. P. 1184—1205.
16. *Danielson R. E., Tomasko R. G.* A two-layer model of the Jovian clouds // *J. Atmos. Sci.*—1969.—**26**, N 5.—P. 889—897.
17. *Giver L. P.* Intensity measurements of the CH₄ bands in the region of 4350 to 10600 Å // *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transpher.*—1978.—**19**, N 2.—P. 311—322.
18. *Irwin P. G. J., Sihra K., Bowles N., et al.* Methane absorption in the atmosphere of Jupiter from 1800 to 9500 cm⁻¹ and implications for vertical cloud structure // *Icarus.*—2005.—**176**, N 2.—P. 255—271.
19. *Karkoschka E.* Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300 to 1000 nm wavelength: The methane spectrum // *Icarus.*—1994.—**111**, N 3.—P. 967—982.
20. *Karkoschka E.* Methane, ammonia, and temperature measurements of the Jovian planets and Titan from CCD-spectrophotometry // *Icarus.*—1998.—**133**, N 1.—P. 134—146.
21. *Lewis J. S.* The clouds of the Jupiter's and the NH₃—H₂O and NH₃—H₂S systems // *Icarus.*—1969.—**10**, N 3.—P. 365—378.
22. *Macy W.* An analysis of Saturn's methane 3 3 band profiles in the terms of an inhomogeneous atmosphere // *Icarus.*—1976.—**29**, N 1.—P. 49—56.
23. *Matcheva K. I., Conrath B. J., Gierasch P. J., Flasar F. M.* The clouds on Jupiter — the Cassini/CIRS perspective // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—2004.—**36**—P. 1133.
24. *Matcheva K. I., Conrath B. J., Gierasch P. J., Flasar F. M.* The cloud structure of the Jovian atmosphere as seen by the Cassini/CIRS experiment // *Icarus.*—2005.—**179**, N 2.—P. 432—448.
25. *Mischenko M. I.* Physical properties of the upper tropospheric aerosols in the equatorial region of Jupiter // *Icarus.*—1990.—**84**, N 2.—P. 296—304.
26. *Morozhenko A. V., Yanovitskij E. G.* The optical properties of Venus and Jovian planets. I. The atmosphere of Jupiter according to polarimetric observations // *Icarus.*—1973.—**18**, N 4.—P. 583—592.

27. Niemann H. B., Atreya S. K., Carignan G. R., et al. The composition of the Jovian atmosphere as determined by the Galileo probe mass spectrometer // J. Geophys. Res.—1998.—**103**, N 10.—P. 22831—22845.
28. Ovsak O., Kostogryz N. The method of computer analysis a vertical structure of aerosole component in the atmospheres of the giant planets // AGU Chapman Conference on Crossing Boundaries in Planetary Atmospheres: From Earth to Exoplanets. — 2013.—ID: 1677256.
29. Perez-Hoyos Santiago, Sanchez-Lavega A., Orton G., et al. The 2007 Jupiter's north temperate belt disturbance. II. Vertical cloud structure models // Bull. Amer. Astron. Soc.—2007.—**39**.—P. 443.
30. Ragent B., Colburn D. S., Rages K. A., et al. The clouds of Jupiter: Results of the Galileo Jupiter mission probe nephelometer experiment // J. Geophys. Res.—1998.—**103**, N 10.—P. 22891—22909.
31. Sato T., Kasaba Y., Takahashi Y., et al. Latitudinal variations in vertical cloud structure of Jupiter as determined by ground-based observation with multispectral imaging // Fall Meeting 2008, Amer. Geophys. Union.—abstract #P11B—1271.
32. Sato T., Satoh T., Kasaba Y. Scattering Properties of Jovian Tropospheric Cloud Particles Inferred from Cassini/ISS: Mie Scattering Phase Function and Particle Size in South Tropical Zone III // Fall Meeting 2010, Amer. Geophys. Union.—abstract #P31A—1518.
33. Stoker C. R., Hord Ch. W. Vertical cloud structure of Jupiter's equatorial plumes // Icarus.—1985.—**64**, N 3.—P. 557—575.
34. Tejfel V. G., Kharitonova G. A. Probable signs of the vertical inhomogeneity of Jovian cloud layer // European Planetary Science Congress 2013. — <http://meetings.copernicus.org/epsc2013>, id.EPSC2013-352
35. Weidenschilling S. J., Lewis L. S. Atmospheric and cloud structures of the Jovian planets // Icarus.—1973.—**20**, N 4.—P. 465—476.
36. West R. A., Tomasko M. G. Spatially resolved methane band photometry of Jupiter III. Cloud vertical structures for several axisymmetric bands and the Great Red Spot // Icarus.—1980.—**41**, N 2.—P. 278—292.

Статья поступила в редакцию 17.03.14