

УДК 523.45- 852

А. С. Овсак¹, В. Г. Тейфель², П. Г. Лысенко²

¹Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
ovsak@mao.kiev.ua

²Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова
Алматы, 050020, Казахстан
tejf@mail.ru

Вертикальная структура объемного коэффициента рассеяния аэрозоля в широтных поясах диска Юпитера

Представлены зависимости объемного коэффициента рассеяния аэрозоля $\alpha_a(P)$ от давления в атмосфере Юпитера. При расчетах методом разделения газового и аэрозольного поглощения учтено поглощение света в непрерывном спектре. Для анализа использованы данные спектрофотометрических измерений Юпитера в полосах поглощения метана на 727 и 619 нм — геометрического альбеда (1993 г.) и отражательной способности ряда широтных деталей (2013 г.). Зависимости $\alpha_a(P)$ для интегрального диска и у широтных поясов планеты-гиганта на высотных уровнях тропосферы, в диапазоне давлений 0.4—2 бар оказались похожими. В этой части атмосферы выявлено три ее самых мощных облачных слоя с наибольшим значением коэффициента $\alpha_a(P)$ в диапазоне давления от 0.8 бар в полосе NTB до 1.33 бар — в STB. В промежутке давления 2—4 бар в исследованных широтных поясах, кроме NTB и STB, выявлен четвертый аэрозольный слой, высотное расположение и вертикальная структура которого в поясах существенно различаются. На больших глубинах вероятно наличие еще одного аэрозольного слоя, начальный уровень и протяженность которого в разных широтных поясах разные. У большинства исследованных широтных поясов на уровнях атмосферы с давлением более 3 бар проявилась спектральная зависимость $\alpha_a(P)$, что, возможно, указывает на изменение размера аэрозольных частиц или их природы.

ВЕРТИКАЛЬНА СТРУКТУРА ОБ'ЄМНОГО КОЕФІЦІЄНТА РОЗСІЯННЯ АЕРОЗОЛЮ У ШИРОТНИХ СМУГАХ ДИСКА ЮПІТЕРА, Овсак А. С., Тейфель В. Г., Лисенко П. Г. — Представлено залежності об'ємного коефіцієнта розсіяння аерозолі $\sigma_a(P)$ від тиску в атмосфері Юпітера. При розрахунках методом розділення газового і аерозольного поглинання враховано поглинання світла в неперервному спектрі. Для аналізу використано дані спектрофотометричних вимірювань Юпітера у смугах поглинання метану на 727 і 619 нм — геометричного альбедо (1993 р.) та відбивної здатності ряду широтних смуг у (2013 р.). Залежності $\sigma_a(P)$ для інтегрального диску та в широтних смугах планети-гіганта на висотних рівнях тропосфери в діапазоні тиску 0.4—2 бар виявилися схожими. У цій частині атмосфери виявлено три її найпотужніші хмарові шари з найбільшим значенням коефіцієнта $\sigma_a(P)$ у діапазоні тиску від 0.8 бар у смузі NTB до 1.33 бар — у STB. У проміжку тиску 2—4 бар в досліджених широтних смугах, крім NTB і STB, виявлено четвертий аерозольний шар, висотне розміщення і вертикальна структура якого у смугах суттєво відрізняються. На більших глибинах ймовірна наявність ще одного аерозольного шару, початковий рівень і протяжність якого у різних широтних смугах також різні. У більшості з досліджених широтних смуг, на рівнях атмосфери з тиском більше 3 бар, проявилася спектральна залежність $\sigma_a(P)$, що, ймовірно, вказує на зміну розміру аерозольних частинок чи їхньої природи.

A VERTICAL STRUCTURE OF THE AEROSOL VOLUME SCATTERING COEFFICIENT IN LATITUDINAL BELTS OF JUPITER, by Ovsak A. S., Teifel V. G., Lysenko P. G. — A behavior with depth in the Jovian atmosphere for the values of aerosol volume scattering coefficient $\sigma_a(P)$ was showed. The absorption in the continuous spectrum considered, thanks to the use the method of separation an aerosol and gas absorption during the calculations. We used the data of spectrophotometric measurements of Jupiter in the methane absorption bands on 727 and 619 nm — geometrical albedo in 1993 and reflectivity for a number of latitudinal strips in 2013. The dependences of $\sigma_a(P)$ for the integral disc and in the latitudinal strips of the planet-giant, on the altitude levels of a troposphere in the pressure range 0.4—2 bar, was similar. The three most powerful cloud layers with a maximum value of coefficient $\sigma_a(P)$ in the pressure range from 0.8 bar in the strip NTB to 1.33 bar in the STB was found in this part of the atmosphere. The fourth, enough powerful cloud layer in the pressure range of 2—4 bar in all investigated bands, except NTB and STB, was detected. The altitude level and the vertical structure of this layer are significantly different. We have found a possible another layer on the great depths, the initial level and length of which in latitudinal bands also differ. A spectral dependence of $\sigma_a(P)$ in the most of the investigated latitudinal bands was been manifested deeper then 3 bars level. This probably indicates a change in the size of aerosol particles.

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве работ, посвященных исследованию широтных полос диска Юпитера, выполнялся только качественный анализ различий между измеряемыми для этих участков спектрофотометрическими параметрами [1, 5, 10, 18, 32, 35, 36—39], либо подбирались химические вещества — хромофоры, которые в условиях атмосферы планеты-гиганта могли бы сформировать соответствующую цветную окраску исследуемой полосы на диске планеты [8, 14, 34]. При этом из-за отсутствия данных о вертикальной структуре аэрозольных слоев в широтных деталях атмосферы Юпитера не выполнялись количественные оценки и сравнение характеристик их облачных покровов. И напротив, можно выделить работу [15], в которой инверсным методом по данным выполненных на КА «Кассини» в 2000 г. измерений излучения отдельных широтных участков диска Юпитера в ИК-диапазоне исследована зависимость оптической толщины облаков от широтного положения участка на диске планеты. В работе [15] определены два высотных уровня атмосферы, на которых коэффициент поглощения аэрозоля имел максимальные значения. Верхний облачный слой, на уровне с давлением 900–50 мбар, обнаруженный на широтных участках, имеющих большую оптическую толщину, идентифицирован как аммиачный снег. Второй, нижний слой, на уровне 1100–50 мбар, выявлен при небольшой оптической толщине облаков ($\tau < 2$) и определен как гидросульфид аммония. Для широтных деталей с очень большой оптической толщиной облачного покрова определить положение уровня с максимальной величиной коэффициента поглощения аэрозоля в указанной работе не удалось. Также отметим работу [7], где в ИК-диапазоне исследованы некоторые широтные детали диска Юпитера, и для широтного пояса STrZ выявлено наличие сгущения облака на 4–5 бар, идентифицированного как вода.

В то же время применение метода определения степени отклонения вертикальной структуры аэрозольного слоя от условия однородности в полубесконечных частично поглощающих атмосферах [3] для анализа данных спектрофотометрических измерений планет-гигантов позволяет рассчитать количественные характеристики вертикальной структуры облачных слоев в верхней части их атмосфер. Например, в работе [28] по спектральным значениям геометрического альбедо Юпитера в 1993 и 1995 гг., представленным в работах [11] и [12], была определена зависимость от давления объемного коэффициента рассеяния аэрозоля $\mu_a(P)$ в атмосфере планеты-гиганта. Результаты этой работы однозначно подтвердили наличие многослойной вертикальной структуры облаков в атмосфере Юпитера и выявили количественные изменения, произошедшие в ней за двухлетний период. По данным 1993 г. выявлено наличие в атмосфере планеты не менее четырех облачных слоев конечной оптической толщины, а также определено расположение высотного уровня при давлении около

1.2 бар, где значение коэффициента $a(P)$ было наибольшим. Также был обнаружен глубинный аэрозольный слой со слабо выраженным максимумом на уровне 16 бар. В 1995 г. значения коэффициента $a(P)$ в верхних облачных слоях увеличились на 5 %, а в глубинном слое он вырос на 60 % с четким проявлением максимума на том же уровне давления. Однако из-за использования для анализа данных измерений геометрического альbedo планеты результаты этой работы являются усредненными по всему диску Юпитера, объединяя в себе свойства всех широтных деталей, имеющих существенные различия. Кроме того, из-за пренебрежения в модельных расчетах поглощением света в непрерывном спектре вид зависимости $a(P)$ в крыльях слабых полос поглощения атмосферного метана также мог быть искажен.

Поэтому в настоящей работе мы выполнили анализ спектральных значений геометрического альbedo Юпитера с учетом поглощения света аэрозолями, а также отражательной способности отдельных широтных полос его диска в полосах поглощения метана на 727 и 619 нм. Для этой цели был применен метод разделения аэрозольного и газового поглощения света в длинноволновой части видимого диапазона световых волн [22]. С применением методики [28] определены зависимости от давления приведенных к длине волны 887.2 нм значений коэффициента $a(P)$. Для анализа использованы данные измерений в 1993 г. геометрического альbedo $A_g(\lambda)$ Юпитера [11], а также полученные в ноябре 2013 г. сотрудниками Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова значения отражательной способности широтных полос диска Юпитера [30]. Модельные расчеты и анализ результатов выполнены в Главной астрономической обсерватории НАН Украины.

ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И МОДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Исходные предпосылки и используемые модельные параметры в настоящей работе полностью аналогичны работе [28], поэтому здесь мы их просто перечислим, отсылая читателя за уточнениями к указанной работе:

1) в каждой исследуемой спектральной точке моделируемая атмосфера представляется полубесконечной однородной газовой-аэрозольной средой;

2) аэрозольные частицы в этой среде являются однородными сферами, их показатель преломления $n_r = 1.36$, параметры функции модифицированного гамма-распределения частиц по размерам не изменяются с глубиной и имеют следующие значения: эффективный радиус частиц $r_{эф} = 0.4$ мкм, дисперсия $v_{эф} = 0.35$ [2, 16, 20];

3) относительная концентрация метана в атмосфере Юпитера постоянна, и ее значение равно $\chi = 0.0021$ [23];

4) в расчетах используются спектральные значения монохроматических коэффициентов поглощения метана, переопределенные с учетом физических условий атмосферы Юпитера [19].

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА АНАЛИЗА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОДЫ

Применяемый нами метод анализа данных спектрофотометрических измерений планет-гигантов, аналитические формулы для вычислений физических величин и описание используемого комплекса компьютерных кодов приведены в работах [25—28].

Следует подчеркнуть, что вычисляемые по этому методу абсолютные значения физических величин не могут считаться истинными. Для этого имеется ряд причин.

- Для каждого исследуемого высотного уровня атмосферы планеты-гиганта мы определяем значения оптических характеристик, являющихся усредненными для всего атмосферного столба, начиная с его внешнего края. Это, конечно же, не соответствует реальной структуре атмосферы.

- При модельных расчетах мы используем предположение о наличии полидисперсного ансамбля однородных сферических частиц аэрозоля с одинаковыми характеристиками во всей толще атмосферы, что тоже не является истиной.

- Метод базируется на использовании численных значений эффективной оптической глубины $\tau_{\text{эф}}$ формирования линии поглощения атмосферного газа в спектре диффузно отраженного планетой-гигантом света. Разработанные на сегодня аналитические выражения для расчета этой величины дают погрешность вычислений, сопоставимую с самой величиной [40]. Поэтому абсолютные значения величины $\tau_{\text{эф}}$, а также и значения остальных величин, получаемые с ее использованием, имеют высокую погрешность и не могут считаться истинными.

В то же время относительные изменения указанных величин достаточно точно отражают реальные вертикальные изменения свойств исследуемой атмосферы. Таким образом, применяемый нами метод анализа позволяет однозначно выявить наличие неоднородностей в вертикальной структуре атмосферы планеты-гиганта, то есть аэрозольных слоев существенной мощности, а также определить их высоту и протяженность, оптическую толщину, рассчитать объемный коэффициент рассеяния и другие характеристики.

Применяемый комплекс компьютерных кодов был специально разработан для проведения автоматизированного анализа вертикальной структуры аэрозольных слоев в атмосферах планет-гигантов по данным их спектрофотометрических измерений. При модельных расчетах с применением теории переноса излучения по методике [9], находится численное решение уравнения Амбарцумяна для азимутальных гармоник коэффициента отражения полубесконечной, частично поглощающей атмосферы (μ, μ_0) (где μ_0 — косинусы углов падения и отражения света для исследуемого участка диска планеты). Эффективная оптическая глубина атмосферы $\tau_{\text{эф}}$ определяется по методике [24, 40]. Расчет зависимости от давления аэрозольной рас-

сеивательной составляющей оптической глубины $\alpha_{\text{эф}}^a(P)$ для каждой исследуемой широтной полосы диска Юпитера выполняется с учетом поглощения света в непрерывном спектре, согласно методике [4, 22]. Затем полученные зависимости $\alpha_{\text{эф}}^a(P)$ используются для расчета значений коэффициента $\alpha_a(P)$ согласно методике в работе [28]. Там же приведена необходимая для расчетов $\alpha_a(P)$ зависимость температуры атмосферы Юпитера от высоты, полученная объединением результатов работ [13] и [25]. Для модельных расчетов оптических характеристик полидисперсной аэрозольной среды, в комплекс интегрирован модуль программных кодов, разработанный М. И. Мищенко [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки степени влияния поглощения света аэрозолями на зависимость $\alpha_a(P)$, ранее рассчитанную в работе [28] по данным измерений $A_g(\lambda)$ в 1993 г., был выполнен перерасчет коэффициента $\alpha_a(P)$ в полосе поглощения на $\lambda = 619$ нм с расширением спектрального диапазона исходных данных для эффективного применения метода разделения аэрозольного и газового поглощения. Так как в полосе на $\lambda = 727$ нм влияние поглощения в непрерывном спектре на зависимость $\alpha_{\text{эф}}^a$ не проявилось, перерасчет $\alpha_a(P)$ для этой полосы не выполнялся. На рис. 1 приведены зависимости $\alpha_a(P)$, рассчитанные в полосе поглощения метана на $\lambda = 727$, а также в полосе на $\lambda = 619$ нм без учета поглощения света аэрозолями и с учетом такового. Как видно из рис. 1, а, пренебрежение поглощением аэрозолей приводит к значительному расхождению зависимостей $\alpha_a(P)$ в исследованных полосах поглощения на глубоких уровнях атмосферы с давлением от 8 бар и выше. При учете поглощения аэрозолями на зависимости $\alpha_a(P)$ для полосы на $\lambda = 619$ нм исчез глубокий «провал» на уровне 10.4 бар, и она почти повторяет зависимость $\alpha_a(P)$ для полосы $\lambda = 727$ нм (см. рис. 1, б).

На рис. 2 и 3 приведены зависимости от давления P коэффициента α_a , рассчитанные по данным измерений отражательной способности у широтных полос диска Юпитера. Сравнение этих зависимостей с результатами, полученными для интегрального диска (рис. 1, б), указывает на подобие вертикальной структуры у их облачных слоев, расположенных в верхних уровнях тропосферы. Исключением здесь является лишь полоса NTB, существенно отличающаяся от других широтных деталей как вертикальным расположением и протяженностью облачных слоев, так и гораздо меньшими численными значениями аэрозольной рассеивающей составляющей и объемного коэффициента рассеяния аэрозолей. Рассчитанные зависимости $\alpha_a(P)$ указывают на слоистость облачного покрова во всех широтных деталях диска Юпитера и отображают сходство и различия его вертикальной структуры. Например, на уровнях с давлением от 0.4 до 2 бар у всех исследованных широтных полос наблюдалась группа из трех аэрозольных

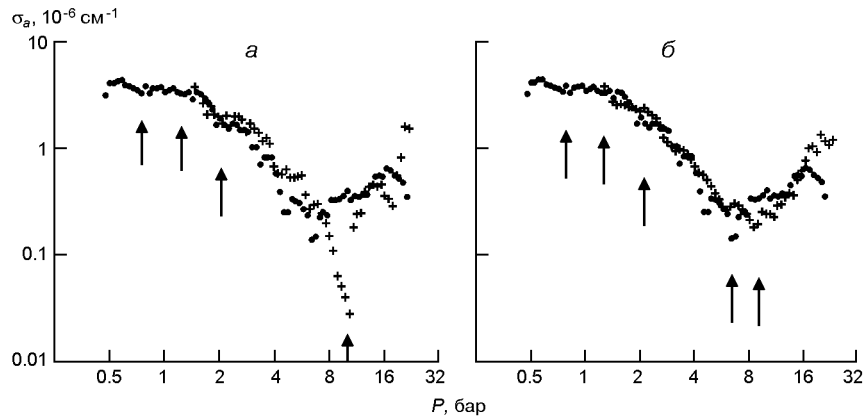


Рис. 1. Зависимости объемного коэффициента рассеяния аэрозоля от давления в полосах поглощения метана на $\lambda = 619$ и 727 нм по данным измерений интегрального диска Юпитера в 1993 г.: *a* — без учета поглощения аэрозолем [28]; *b* — с учетом такого поглощения. Стрелками отмечены положения прослоек между облачными слоями

слоев, включая слой с наибольшими значениями σ_a в исследованной части атмосферы планеты-гиганта.

Максимальное значение коэффициента $\sigma_a(P)$, соответствующее самой высокой концентрации аэрозольных частиц в верхней части атмосферы Юпитера в 2013 г., определено в диапазоне давлений от 0.8 бар в NTB до 1.33 бар в STB. В остальных широтных полосах диска Юпитера максимум коэффициента $\sigma_a(P)$ находился между указанных уровней давления, что при усреднении по всем полосам дает величину около 1.1 бар. Отметим, что это значение близко к результатам анализа данных интегрального диска планеты за 1993 г. [28], а также нефелометрического эксперимента, проведенного на зонде «Галилео» в 1995 г. на краю так называемой «горячей точки» на NEB [31].

В таблице приведены численные значения давления P и коэффициента $\sigma_a(P)$ в широтных полосах диска Юпитера для высотного уровня в атмосфере, где рассчитанная величина $\sigma_a(P)$ имела максимальное значение, а также эти же величины для первого, т. е. наивысшего среди выявленных нами у широтных деталей облачных слоев.

Численные значения давления P и коэффициента $\sigma_a(P)$ в широтных полосах диска Юпитера на уровнях атмосферы с наибольшей плотностью аэрозоля и для наивысшего облачного слоя

Пояс	P , бар	$\sigma_a(P)$, 10^{-6} см $^{-1}$	P , бар	$\sigma_a(P)$, 10^{-6} см $^{-1}$
	Наибольшая плотность аэрозоля		Наивысший облачный слой	
EZ	1.017	4.18	0.481	3.47
NTrZ	1.010	4.49	0.453	3.70
NEB	1.110	3.01	0.450	2.36
NTB	0.807	3.55	0.807	0.355
SEB	1.290	2.13	0.513	1.92
STrZ	1.130	3.76	0.499	3.55
STB	1.330	2.28	0.696	2.26

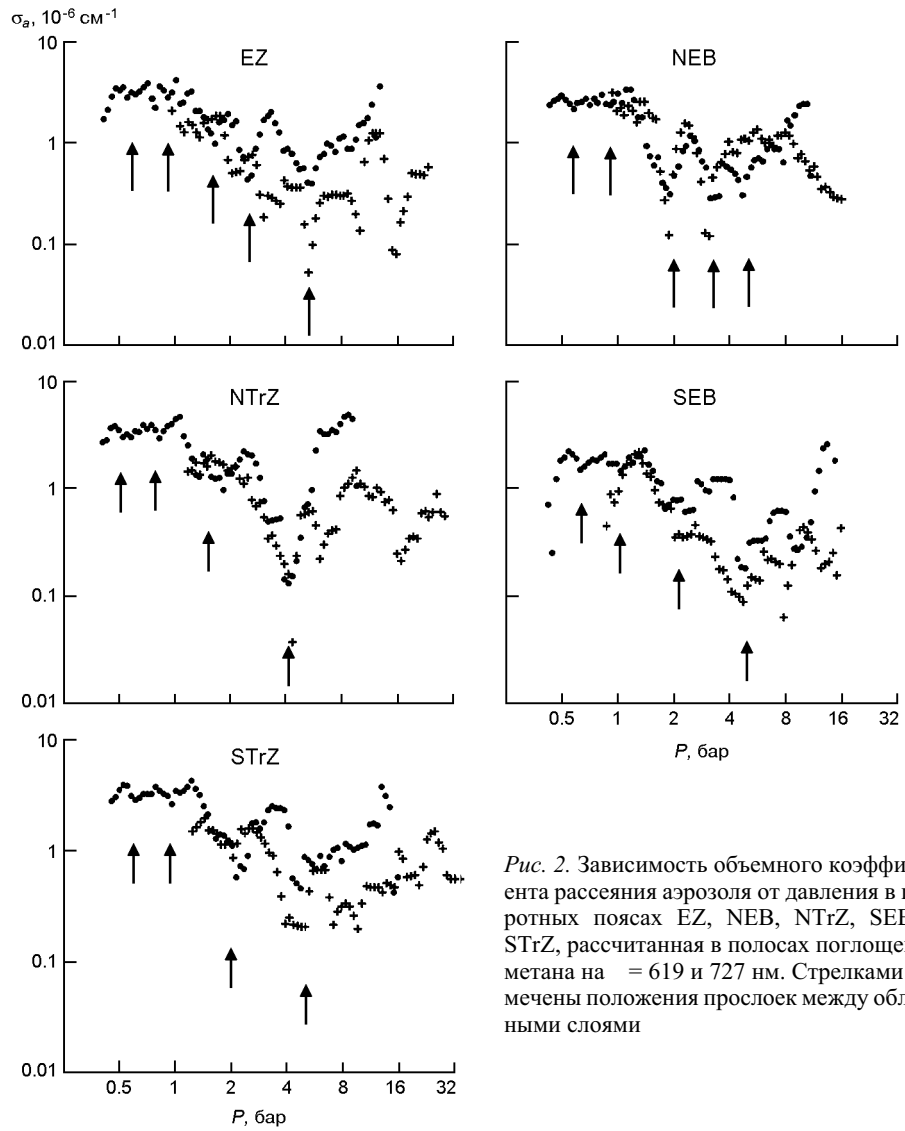


Рис. 2. Зависимость объемного коэффициента рассеяния аэрозоля от давления в широтных поясах EZ, NEB, NTrZ, SEB и STrZ, рассчитанная в полосах поглощения метана на $\lambda = 619$ и 727 нм. Стрелками отмечены положения прослоек между облачными слоями

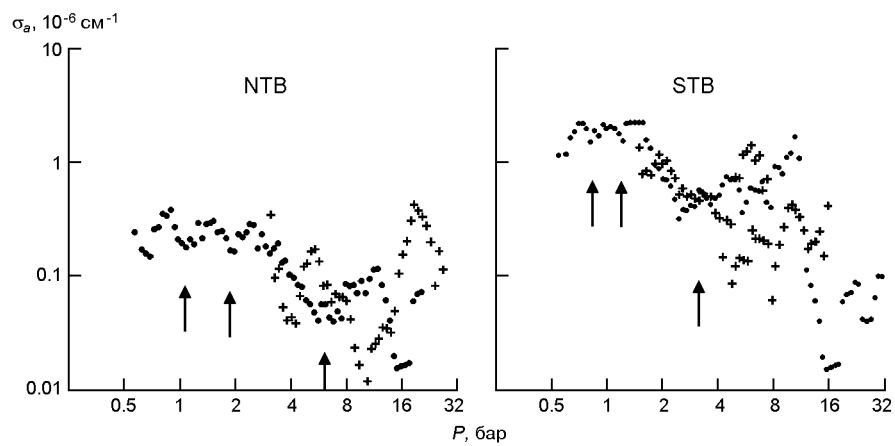


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для NTB и STB

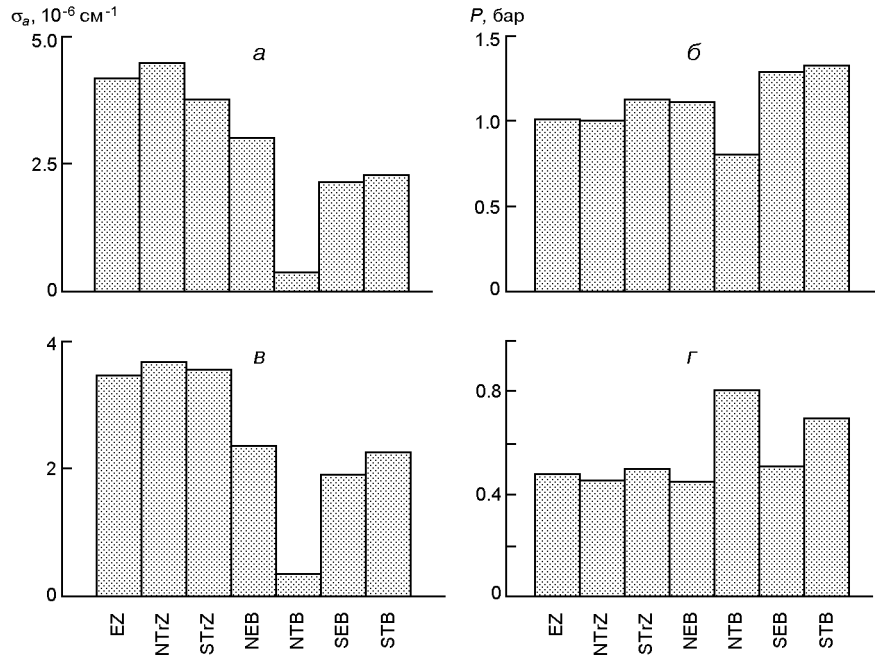


Рис. 4. Сравнение характеристик aerosольного слоя с наибольшим объемным коэффициентом рассеяния aerosоля в широтных полосах Юпитера: *a* — объемный коэффициент рассеяния aerosоля, *б* — давление, *в*, *г* — то же для наивысшего из облачных слоев

На рис. 4 данные таблицы приведены в графическом виде. Полученные здесь значения объемного коэффициента рассеяния aerosоля соответствуют результатам его оценок в работах [21] и [6].

На больших глубинах проявились существенные различия между широтными полосами как по количеству расположенных там облачных слоев, так и по их высотному положению и мощности. Так, например, в диапазоне давлений 2–4 бар в исследованных широтных полосах, кроме NTB и STB, обнаружен четвертый, довольно мощный aerosольный слой.

Вероятное наличие следующего, пятого по счету, облачного слоя выявлено у всех широтных деталей, а высотное положение в нем максимума значения коэффициента $\sigma_a(P)$ и протяженность этого слоя сильно разнятся. Вопреки результатам работы [7], по нашим расчетам в широтной полосе STrZ в диапазоне давлений 4–5 бар коэффициент $\sigma_a(P)$ имел наименьшие значения. В большинстве широтных полос на уровнях атмосферы с давлением от 3 бар и выше проявляется спектральная зависимость коэффициента $\sigma_a(P)$, что указывает на вероятное изменение размеров aerosольных частиц или их природы.

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на существенные различия рассчитанных для интегрального диска Юпитера и для его отдельных широтных полос зависимостей коэффициента $\sigma_a(P)$ на уровнях атмосферы с давлением

более 2 бар, в диапазоне давлений 0.4—2 бар они оказались похожими. Таким образом, для оценки в первом приближении вертикальной структуры верхних облачных слоев любого участка атмосферы планеты-гиганта можно использовать анализ спектральных значений величины ее геометрического альbedo либо отражательной способности достаточно большого участка диска.

2. Так как расчетами для 1993, 1995 и 2013 гг. наибольшее значение величины коэффициента $\mu_a(P)$ определено на уровнях с близким значением давления, можно заключить, что высотное положение аэрозольного слоя с максимальной плотностью частиц в верхней части тропосферы Юпитера с 1993 по 2013 г. оставалось неизменным.

3. В светлых широтных зонах планеты-гиганта самый верхний из выявленных нами облачных слоев имел наибольшие значения величины объемного коэффициента рассеяния аэрозоля и занимал преимущественно более высокое высотное расположение, чем в темных поясах.

4. На уровнях атмосферы с давлением от 3 бар и более у исследованных широтных полос имелись существенные различия в вертикальной структуре их аэрозольных слоев. Полосы, расположенные симметрично относительно экватора планеты, также существенно отличались структурой облаков на уровнях с давлением от 4 бар и выше.

5. У всех широтных полос, за исключением NTB и STB, в диапазоне давлений 2—4 бар выявлен четвертый облачный слой. За ним у всех полос выявлено вероятное наличие следующего, пятого аэрозольного слоя, вертикальная структура которого у всех полос различна. Анализ данных измерений интегрального диска Юпитера вероятно показал именно этот глубинный слой с максимумом коэффициента $\mu_a(P)$ на уровнях давления 16—17 бар, см. рис. 1, б и работу [28].

6. У части широтных полос на уровнях атмосферы с давлением более 3 бар проявилась спектральная зависимость $\mu_a(P)$, что вероятно указывает на изменение размера аэрозольных частиц или их природы.

Авторы выражают признательность А. В. Мороженко за ценные советы и консультации при выполнении расчетов и подготовке рукописи. Авторы также благодарят рецензента за критические замечания, с учетом которых в тексте работы было расширено изложение особенностей применяемого нами метода анализа.

1. Бондаренко Н. Н. Исследование вариаций полосы поглощения аммиака NH_3 787 нм в атмосфере Юпитера // Изв. Нац. акад. наук Республики Казахстан. Сер. физ.-мат.—2012.—№ 3.—С. 67—71.
2. Мороженко А. В. Результаты поляризационных исследований Юпитера // Астрометрия и астрофизика.—1976.—Вып. 30.—С. 47—54.
3. Мороженко А. В. О структуре облачного слоя Юпитера // Письма в Астрон. журн.—1984.—10, № 10.—С. 775—779.
4. Мороженко А. В., Овсак А. С., Видьмаченко А. П., Тейфель В. Г., Лысенко П. Г. Мнимая часть показателя преломления аэрозоля в широтных поясах диска Юпитера // Кинематика и физика небес. тел.—2016.—32, № 1.—С. 43—55.

5. Тейфель В. Г., Харитоновна Г. А. Особенности распределения поглощения метана на Юпитере по данным квазинепрерывного охвата всех долгот планеты // Изв. Нац. акад. наук Республики Казахстан. Сер. физ.-мат.—2013.—№ 5.—Р. 93—98.
6. Физические характеристики планет-гигантов // Ред. В. Г. Тейфель.—Алма-Ата: Наука.—1971.—С. 64.
7. Bjoraker G. L., Wong M. H., de Pater I., Adamkovics M. Jupiter's deep cloud structure revealed using Keck observations of spectrally resolved line shapes // *Astrophys. J.*—1998.—**810**, N 2.— article id. 122.
8. Chanover N., Simon A., Hudson R. Colors in the giant planet atmospheres // AGU Chapman Conference on Crossing Boundaries in Planetary Atmospheres: From Earth to Exoplanets, Annapolis, Maryland.—24-28, June 2013, Abstract T-21.
9. Dlugach J. M., Yanovitskij E. G. The optical properties of Venus and the Jovian planets. II. Methods and results of calculations of the intensity of radiation diffusely reflected from semi-infinite homogeneous atmospheres // *Icarus*.—1974.—**22**, N 1.—Р. 66—81.
10. Giles R. S., Fletcher L. N., Irwin P. G. J. Cloud structure of Jupiter's troposphere from Cassini VIMS // American Astronomical Society, DPS meeting #46, Nov 2014, abstract #511. 02.
11. Karkoschka E. Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300 to 1000 nm wavelength: The methane spectrum // *Icarus*.—1994.—**111**, N 3.—Р. 967—982.
12. Karkoschka E. Methane, ammonia, and temperature measurements of the Jovian planets and Titan from CCD-spectrophotometry // *Icarus*.—1998.—**133**, N 1.—Р. 134—146.
13. Lindal G. F. The atmosphere of Neptune: an analysis of radio occultation data with Voyager 2 // *Astron. J.*—1992.—**103**, N 3.—Р. 967—982.
14. Loeffler M. J., Hudson R. L., Chanover N. J., Simon A. A. Giant-planet chemistry: Ammonium hydrosulfide (NH₄SH), its IR spectra and thermal and radiolytic stabilities // *Icarus*.—2015.—**258**, N 15.—Р. 181—191.
15. Matcheva K. I., Conrath B. J., Gierash P. J., Flasar F. M. The cloud structure of the Jovian atmosphere as seen by the Cassini/CIRS experiment // *Icarus*.—2005.—**179**, N 2.—Р. 432—448.
16. Mishchenko M. I. Physical properties of the upper tropospheric aerosols in the equatorial region of Jupiter // *Icarus*.—1990.—**84**, N 2.—Р. 296—304.
17. Mishchenko M. I. The FORTRAN code for computing the scattering of an ensemble of polydisperse, homogeneous spherical particles is based on the Lorenz—Mie theory.—<http://www.giss.nasa.gov/staff/mmishchenko/ftpcode/spher.f>.
18. Moreno F., Rodrigo R., Sanchez-Lavega A., Molina A. Spectroscopic observations of the CH₄-6190 A and NH₃-6450 A absorption bands at different regions of the Jovian disk // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1988.—**74**, N 2.—Р. 233—238.
19. Morozhenko A. V. New determination of monochromatic methane absorption coefficients with regard to the thermal conditions in the atmospheres of giant planets. IV. Jupiter and Saturn // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2007.—**23**, N 6.—Р. 245—257.
20. Morozhenko A. V., Ovsak A. S. On the possibility of separation of aerosol and methane absorption in the long-wavelength spectral range for giant planets // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2015.—**31**, N 5.—Р. 225—231.
21. 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.—Р. 583—592.
22. Morozhenko A. V., Yanovitskii E. G. Vertical structure parameters for the upper layers of the Jovian atmosphere // *Soviet Astron. Lett.*—1976.—**2**, N 6.—Р. 218—220.
23. Niemann H. B., Altreya 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.—Р. 22831—22845.

24. *Ovsak A. S.* Calculation of effective optical depth of absorption line formation in homogeneous semi-infinite planetary atmosphere during anisotropic scattering // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2010.—**26**, N 2.—P. 86—88.
25. *Ovsak A. S.* Upgraded technique to analyze the vertical structure of the aerosol component of the atmospheres of giant planets // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2013.—**29**, N 6.—P. 291—300.
26. *Ovsak A. S.* Changes in the characteristics of the upper layers of the Jovian atmosphere from the data on the integral observations of the planetary disk // *Kinematics and Phys. Celestial Bodies*.—2015.—**31**, N 1.—P. 25—32.
27. *Ovsak A. S.* Variations of the volume scattering coefficient of aerosol in the Jovian atmosphere from observations of the planetary disk // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2015.—**31**, N 4.—P. 197—204.
28. *Ovsak A. S.* Vertical structure of cloud layers in the atmospheres of giant planets. I. On the influence of variations of some atmospheric parameters on the vertical structure characteristics // *Solar Syst. Res.*—2015.—**49**, N 1.—P. 46—53.
29. *Ovsak O., Kostogryz N.* The method of computer analysis a vertical structure of aerosol component in the atmospheres of the Giant planets // *AGU Chapman Conference on Crossing Boundaries in Planetary Atmospheres: From Earth to Exoplanets*, Annapolis, Maryland.—24-28, June 2013, abstract W3.
30. *Ovsak A. S., Teifel' V. G., Vid'machenko A. P., Lysenko P. G.* Zonal differences in the vertical structure of the cloud cover of Jupiter from the measurements of the methane absorption bands at 727 and 619 nm // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2015.—**31**, N 3.—P. 119—130.
31. *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.
32. *Rojas J., Arreg J., Garcia-Melendo E., et al.* New measurements of Jupiter's Equatorial Region in visible wavelengths // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—Oct. 2010.—**42**.—P. 1017.
33. *Seiff A., Kirk D. B., Knight T. C. D., et al.* Thermal structure of Jupiter's atmosphere near the edge of a 5- m hot spot in the North Equatorial Belt // *J. Geophys. Res.*—1998.—**103**, N 10.—P. 22857—22889.
34. *Simon A. A., Sanchez-Lavega A., Legarreta J., Carlson R. W.* Spectral comparison and stability of Red Regions on Jupiter // *J. Geophys. Res.*—2015.—**120**, N 3.—P. 483—494.
35. *Teifel V. G.* Molecular absorption and the possible structure of the cloud layers of Jupiter and Saturn // *J. Atmos. Sci.*—1969.—**26**.—P. 854—859.
36. *Teifel V. G.* The morphology of molecular absorption on disk of Jupiter / Ed. by T. Gehrels. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1976.—P. 441—485.
37. *Teifel V. G.* The mapping of longitudinal-latitude variations of the methane absorption on Jupiter // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—2000.—**32**.—P. 1007.
38. *Teifel V. G., Kharitonova G. A., Khudiaeva G. I.* Zonal spectrophotometric properties of the Jovian cloud cover // *Solar Syst. Res.*—1981.—**15**, N 2.—P. 71—78.
39. *West R. A., Tomasko M. G.* Spatially resolved methane band photometry of Jupiter. III: Cloud vertical structures for several axisymmetric bands and the GRS // *Icarus*.—1980.—**41**.—P. 278—292.
40. *Yanovitskij E. G., Ovsak A. S.* Effective optical depth of absorption line formation in semi-infinite planetary atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—1997.—**13**, N 4.—P. 1—19.

Стаття надійшла до редакції 05.11.15