

УДК 523.45-852

**А. В. Мороженко, А. С. Овсак**

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
e-mail: ovsak@voliacable.com

### **О возможности разделения аэрозольного и метанового поглощения в длинноволновой области спектра планет-гигантов**

*Разработан метод определения аэрозольной поглощательной составляющей  $\alpha_{\text{эф}}$  эффективной оптической глубины, в основу которого положен неправдоподобный эффект уменьшения аэрозольной рассеивательной составляющей  $\alpha_{\text{эф}}^a$  на зависимости от атмосферного давления  $P$ , полученной при  $\alpha_{\text{эф}} = 0$ . Устранение этого эффекта путем подбора значения  $\alpha_{\text{эф}}$  и позволяет определить величину последней. Апробация метода на данных наблюдений Северной Экваториальной Полосы (NEB) диска Юпитера в полосах поглощения метана на 619 и 727 нм позволила определить значения величины  $\alpha_{\text{эф}}$  и мнимой части показателя преломления аэрозольных частиц ( $n_i = 0.00063, 0.00065, 0.0007, 0.00069$  на 605.5, 631.3, 714.7 и 741.4 нм соответственно), а также уточнить характеристику вертикальной структуры облачного слоя планеты.*

*ПРО МОЖЛИВІСТЬ РОЗДІЛЕННЯ АЕРОЗОЛЬНОГО І МЕТАНОВОГО ПОГЛИНАННЯ У ДОВГОХВИЛЬОВІЙ ДІЛЯНЦІ СПЕКТРУ ПЛАНЕТ-ГІГАНТІВ, Мороженко О. В., Овсак О. С. — Розроблено метод визначення аерозольної поглинальної складової  $\alpha_{\text{эф}}$  ефективної оптичної глибини, в основу якого покладено неправдоподібний ефект зменшення аерозольної розсіювальної складової  $\alpha_{\text{эф}}^a$  на залежності від атмосферного тиску  $P$ , отриманій при  $\alpha_{\text{эф}} = 0$ . Саме усунення цього ефекту шляхом підбору значення  $\alpha_{\text{эф}}$  й дозволяє визначити значення останнього. Апробація методу на даних спостережень Північного Екваторіального Поясу (NEB) диска Юпітера у смугах поглинання метану на 619 і 727 нм дозволила визначити значення  $\alpha_{\text{эф}}$  та уявної*

частини показника заломлення аерозольних частинок ( $n_i = 0.00063, 0.00065, 0.0007, 0.00069$  відповідно на  $605.5, 631.3, 714.7$  та  $741.4$  нм), а також уточнити характеристику вертикальної структури хмарового шару планети.

*ON THE POSSIBILITY OF SEPARATION OF THE AEROSOLE AND METHANE ABSORPTIONS IN THE LONG WAVELENGTH REGION OF THE GIANT PLANETS SPECTRUM, by Morozhenko A. V., Ovsak A. S. — A method for determination of aerosol absorption component  $\tau_{eff}$  of the effective optical depth was been developed. It based on introducing the unreal effect of the decreasing of aerosol scattering component  $\tau_{eff}^a$  on the dependence on atmospheric pressure  $P$  in case of  $\tau_{eff}^a = 0$ . Eliminating this effect by adjusting the value of the  $\tau_{eff}$ , we have determined the its value. We have tested the method on observational data of North Equatorial Belt (NEB) of Jupiter's disk in the absorption bands of methane on  $619$  and  $727$  nm, which allowed us to determine the value of  $\tau_{eff}$  and the imaginary part of the refractive index of aerosol particles ( $n_i = 0.00063, 0.00065, 0.0007, 0.00069$  on  $605.5, 631.3, 714.7$  and  $741.4$  nm, respectively) and to specify a characteristic of vertical structure of the planet's cloud layer.*

## ВВЕДЕНИЕ

Важной проблемой физики планетных атмосфер является определение спектральных значений действительной  $n_r$  и мнимой  $n_i$  частей показателя преломления аэрозоля, что до настоящего времени делалось на основе результатов анализа спектрополяриметрических наблюдений. Выполненные в моделях сферических [3, 10, 17, 18, 23] и хаотически ориентированных сфероидов и цилиндров [17, 18] определения не только значений  $n_r$  и  $n_i$ , но и параметров функции распределения частиц по размерам, показали высокую чувствительность этих характеристик к выбору формы аэрозольных частиц. Однако сомнительной оказалась спектральная зависимость  $n_i(\lambda)$ , в которой уменьшение  $n_i$  с увеличением длины волны  $\lambda$  в коротковолновой области спектра сменилось увеличением в длинноволновой области. Например, согласно [18] для аэрозоля на Юпитере на  $423, 600$  и  $798$  нм величины  $n_i$  оказались равными  $0.0012, 0.0006$  и  $0.0025$  для сфер и  $0.0017, 0.0008$  и  $0.0036$  для сфероидов со сплюснутостью  $1.5$  соответственно. По нашему мнению, увеличение  $n_i$  в длинноволновой области спектра обусловлено тем, что здесь из-за перекрытия полосами поглощения метана (см. [19—21]) аэрозольному поглощению в непрерывном спектре было приписано поглощение в крыльях полос поглощения метана. Подобная ситуация имеет место и при определении количества метана  $NL$ , когда каким-то образом требуется учитывать теперь уже аэрозольное поглощение. Так, например, в работе [9] было предложено его учитывать с помощью выражения

$$\ln[\tau / \tau^s] = \ln[\tau / \tau^s] + a + b \ln \tau,$$

в котором параметры  $a$  и  $b$  определялись по спектрофотометрическим наблюдениям на длинах волн  $\lambda < 530$  нм, где имеются участки спектра с практически нулевым метановым поглощением (здесь  $\tau$  — объемный коэффициент поглощения аэрозоля,  $\tau^s$  — объемный коэффициент рассеяния газовой-аэрозольной среды,  $a$  и  $b$  — соответствующие составляющие оптической толщины). Целью настоящей работы является разработка метода определения аэрозольной поглощательной составляющей в длинноволновой части ближней инфракрасной области спектра планет-гигантов, для которой отсутствуют интервалы длин волн с чисто аэрозольным поглощением.

### ИДЕЯ МЕТОДА

Метод базируется на изучении вертикальных структур облачных слоев атмосфер планет-гигантов по степени отклонения их характеристик от условия однородности [2, 5—9, 11, 12, 13, 16, 31, 32]. Анализ основан на предположении Чемберлена о том, что поле излучения, диффузно отраженного частично поглощающей атмосферой с чрезвычайно большой (полубесконечной) оптической толщиной, в действительности формируется только ее внешним слоем, имеющим конечную оптическую толщину [15]. Нижняя граница этого слоя расположена на эффективной оптической глубине  $\tau_{\text{эф}}$ . Величина  $\tau_{\text{эф}}$  является ключевой для используемого метода анализа, поэтому важно правильно ее определять. Впервые выражение для расчета  $\tau_{\text{эф}}$  было записано в работе [15] для случая изотропной среды, а дальнейшая его модернизация и исследование выполнена Э. Г. Яновицким и коллегами в работах [1, 14, 30, 34]. В применяемом нами методе анализа значение  $\tau_{\text{эф}}$  рассчитывается по величине альbedo однократного рассеяния среды  $\tau_{\text{эф}}$ , определяемого из сравнения наблюдаемых величин геометрического альbedo  $Ag(\lambda)$  либо отражательной способности  $(\mu, \mu_0, \mu_1)$  деталей диска планеты-гиганта (где  $\mu_0, \mu_1$  — углы падения и отражения света,  $\mu$  — фазовый угол) с модельными величинами, которые рассчитываются для однородного газовой-аэрозольного слоя полубесконечной оптической толщины при различных значениях  $\tau_{\text{эф}}$ . С использованием величин  $\tau_{\text{эф}}$  и  $\tau_{\text{эф}}$  определяются рассеивательная и поглощательная составляющие величины  $\tau_{\text{эф}}$ :

$$\tau_{\text{эф}}^s = \tau_{\text{эф}} + \tau_{\text{эф}}^s (1 - \tau_{\text{эф}}),$$

а также количество поглощающего газа (метана) на луче зрения

$$NL = [(1 - \tau_{\text{эф}}) / \tau_{\text{эф}}] / k, \quad (1)$$

где  $k$  — монохроматический коэффициент поглощения метана,  $\tau_{\text{эф}}$  — аэрозольная поглощательная составляющая.

Поскольку в исследуемой области спектра планеты-гиганта значение  $\varepsilon_{\text{эф}}$  неизвестно, а газовое поглощение в окрестностях ядер полос поглощения метана заведомо сильнее аэрозольного, вкладом  $\varepsilon_{\text{эф}}$  в указанных выше работах, как правило, пренебрегалось. В результате при расчетах на длинах волн, удаленных от области ядра полосы поглощения метана, получались априори завышенные значения величин не только количества метана

$$NL = (1 - \varepsilon_{\text{эф}}) / k, \quad (2)$$

но и газовой составляющей оптической толщины и атмосферного давления:

$$\varepsilon_{\text{эф}}^g(\lambda) = (NL / \lambda) \varepsilon_g(\lambda), \quad (3)$$

$$P(\lambda) = \varepsilon_{\text{эф}}^g(\lambda)^4 Rg / (24 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \lambda^2), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_g(\lambda)$  — объемный коэффициент рассеяния газа,  $\lambda$  — относительная концентрация метана,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $g$  — ускорение свободного падения,  $\mu$  — удельная рефракция,  $M$  — молекулярный вес атмосферы,  $k$  — постоянная Больцмана.

Соответственно значения аэрозольной рассеивательной составляющей на уровнях атмосферы с давлением  $P_i$ , определяемые из выражения

$$\varepsilon_{\text{эф}}^a(\lambda, P_i) = \varepsilon_{\text{эф}}^s(\lambda, P_i) + \varepsilon_{\text{эф}}^g(\lambda, P_i), \quad (5)$$

оказывались заниженными. Поэтому на зависимостях для величин  $\varepsilon_{\text{эф}}^a$ , приведенных к одной длине волны (например  $\lambda = 887.2$  нм), вначале наблюдались увеличение или неизменность значений величины  $\varepsilon_{\text{эф}}^a$ , которые после некоторого значения давления  $P_i$  изменялись на их уменьшение. Примеры такого эффекта демонстрируют зависимости  $\ln \varepsilon_{\text{эф}}^a$  от давления  $P$  в полосах поглощения метана на 619 и 727 нм (см. рис. 1 и 2), полученные в работе [13].

Именно эффект уменьшения значений величины  $\varepsilon_{\text{эф}}^a$  с ростом давления и положен в основу способа определения величины  $\varepsilon_{\text{эф}}^g(\lambda)$ . Он выполняется методом последовательных приближений по отдельности для коротко- и длинноволнового крыльев исследуемой полосы поглощения и включает в себя следующие операции.

1. В каждом крыле полосы поглощения с использованием выражения (1) и в приближении  $\varepsilon_{\text{эф}}^g = 0$  рассчитывается зависимость  $\varepsilon_{\text{эф}}^a$  от давления  $P$  (см., например, [13]);

2. Подбором в выражении (1) определяется значение  $\varepsilon_{\text{эф}}^g$ , при котором на длине волны  $\lambda$ , отвечающей наименьшему значению  $\varepsilon_{\text{эф}}^a(\lambda)$  (см. рис. 1 и 2), вновь полученное значение становится равным наибольшему в исследуемом крыле полосы поглощения;

3. В работах по изучению вертикальной структуры облачного слоя используется модель оптически однородного газовой-аэрозольного слоя, согласно которой альbedo однократного рассеяния аэрозоля  $\alpha$  не изменяется с глубиной в пределах исследуемого крыла полосы по-

глощения. Это позволяет по найденному значению  $\varepsilon_{\text{ф}}(\lambda)$  рассчитать спектральные значения  $\varepsilon_{\text{ф}}(\lambda_i)$  (если пренебречь спектральной зависимостью  $\varepsilon_a$  в каждом отдельном крыле полосы поглощения):

$$\varepsilon_{\text{ф}}(\lambda_i) = \frac{\varepsilon_{\text{ф}}(\lambda)}{\varepsilon_{\text{ф}}(\lambda_i)} \varepsilon_a(\lambda_i)$$

для всех точек крыла и затем, повторяя операции расчетов по выражениям (1)—(5), уточнить зависимость  $\varepsilon_a$  от  $P$ .

4. Операции 1—3 повторяются до минимизации эффекта уменьшения величины  $\varepsilon_a$  с ростом давления в рассматриваемом крыле полосы поглощения.

#### АПРОБАЦИЯ МЕТОДА

Проверку метода разделения аэрозольного и газового поглощения было проведено по данным измерений Северного Экваториального Пояса (NEB) Юпитера [13] с доработкой уже применявшихся нами ранее специальных программных кодов [31, 32].

Поскольку согласно результатам работы [13] эффект уменьшения с глубиной значений величины  $\varepsilon_a$  проявляется для глубин с давлением от 5 бар и более, то (см. температурную зависимость атмосферы Юпитера [22, 33]), аммиак там находится в жидком состоянии. При этом его частицы принимают сфероидальную форму, а значение действительной части их показателя преломления может находиться в диапазоне значений от 1.35 до 1.42 [11]. Моделирование рассеяния света в полидисперсных аэрозольных средах, содержащих частицы в форме эллипсоидов вращения, показало высокую чувствительность действительной и мнимой частей комплексного показателя преломления, а также параметров функции распределения аэрозольных частиц по размерам к их форме [17, 18].

Расчеты для тропосферных пылеобразных частиц также демонстрируют изменение формы индикатрисы рассеяния, существенное при больших фазовых углах [25].

Однако альбедо однократного рассеяния сред, содержащих аэрозоль, не имеет выраженной зависимости от формы частиц [11, 25]. Также отметим, что при наземных наблюдениях Юпитера фазовый угол не превышает  $12^\circ$ , что уменьшает влияние несферичности частиц на результаты модельных расчетов. И наконец, из-за отсутствия достоверных данных о химической природе, агрегатном состоянии и форме аэрозольных частиц на различных высотных уровнях атмосферы Юпитера выбор любой геометрической формы частиц при модельных расчетах является равноправным. Учитывая перечисленное, а также наличие отработанной методики Лоренца — Ми и соответствующих доступных программных кодов для расчета характеристик рассеяния средой, заполненной однородными сферическими частица-

ми, в работе нами принимались следующие значения модельных параметров:

— полученные из анализа поляризационных наблюдений экваториального пояса Юпитера в модели сферических частиц [3, 23, 28] значения действительной части показателя преломления  $n_r = 1.36$  и параметров модифицированной гамма-функции распределения частиц по размерам  $r_{эф} = 0.4$  мкм и  $\nu_{эф} = 0.35$ ;

— относительная концентрация метана  $= 0.0021$  [29];

— относительные концентрации основных составляющих атмосферы планеты газов водорода и гелия принимались 0.85 и 0.15, соответственно;

— монохроматические коэффициенты поглощения метана  $k$ , отвечающие температурному профилю атмосферы Юпитера [26, 32].

Спектральные значения величин  $\tau_{эф}^a$  и коэффициентов  $x_i$  разложения в ряд по полиномам Лежандра индикатрисы рассеяния среды, состоящей из полидисперсных однородных сфер, рассчитывались по программным кодам М. И. Мищенко [24].

Результирующие зависимости величины  $\ln \tau_{эф}^a$  от давления в полосах поглощения 619 и 272 нм, полученные с учетом поглощения аэрозолем, показаны на рис. 1 и 2.

Рис. 1. Зависимости  $\ln \tau_{эф}^a$  от  $\ln P$  в крыльях полосы поглощения метана на 619 нм для NEB Юпитера, полученные в работе [13] (точки и светлые кружки) и с учетом поглощения аэрозолем (темные и светлые треугольники)

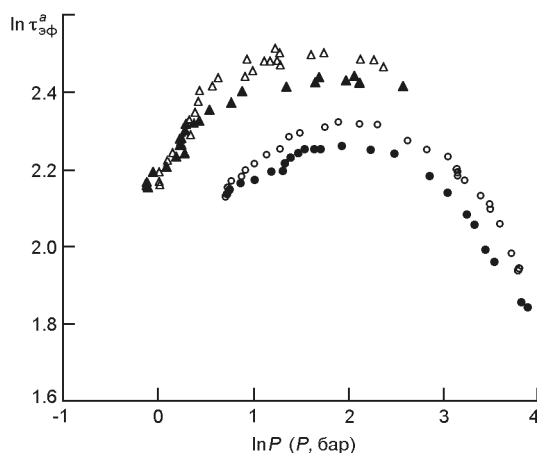
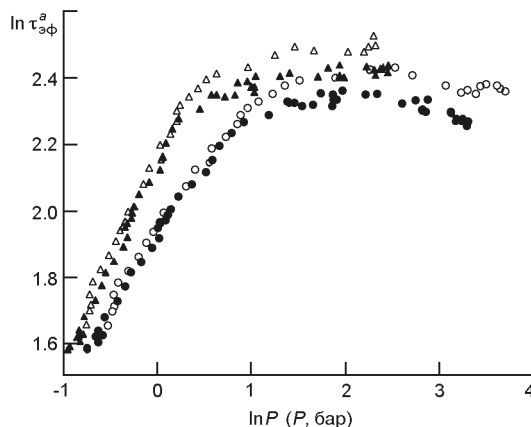


Рис. 2. То же для полосы поглощения метана на 727 нм



Рассчитанные для NEB значения величин  $a$ , отношения  $\tau_{\text{эф}}^a(\lambda) / \tau_{\text{эф}}(\lambda)$  и  $n_i$ , определенные для спектральных точек, расположенных на внешних краях крыльев полос поглощения

$\lambda$ , нм	$a$	$\tau_{\text{эф}}^a(\lambda) / \tau_{\text{эф}}(\lambda)$	$n_i$
605.5	0.99471	3.23	0.00063
631.3	0.99472	3.56	0.00065
714.7	0.99475	1.578	0.00070
741.4	0.99495	1.843	0.00069

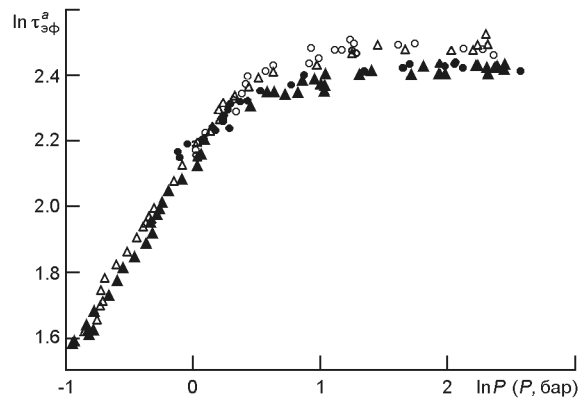


Рис. 3. Объединение зависимостей  $\ln \tau_{\text{эф}}^a$  от  $\ln P$  в полосах поглощения 619 и 727 нм, рассчитанных для NEB Юпитера с учетом поглощения аэрозолем

По определенным на длинах волн  $\lambda$  величинам  $a$  и  $\tau_{\text{эф}}^a$  вычислялись значения

$$a \tau_{\text{эф}}^a / [\tau_{\text{эф}}^a \tau_{\text{эф}}^a]$$

Затем они сравнивались с величинами  $Mie_a$ , рассчитанными по теории Лоренца — Ми для моделируемой полидисперсной аэрозольной среды при различных значениях величины  $n_i$ , что и позволило определить спектральные значения последней (для расчетов применялись программные коды [24]).

В таблице приведены рассчитанные для NEB Юпитера значения величин  $a$ , отношения  $\tau_{\text{эф}}^a(\lambda) / \tau_{\text{эф}}(\lambda)$  и  $n_i$ , определенные для спектральных точек, расположенных на внешних краях крыльев исследованных полос поглощения.

Отметим, что после выполнения перечисленных операций результирующие зависимости от давления приведенных к одной длине волны величин  $\tau_{\text{эф}}^a$  приобрели более достоверный вид (см. рис. 3). Полученное нами практически одинаковое для обеих исследованных полос поглощения разделение коротко- и длинноволновых крыльев требует дальнейшего изучения.

### ВЫВОДЫ

Предложенный метод определения величины аэрозольного поглощения является достаточно простым и эффективным при его практическом применении. При наличии соответствующих экспериментальных

данных он позволяет достаточно уверенно выявлять и оценивать относительные изменения значения мнимой части показателя преломления аэрозольных частиц, как для различных высотных уровней, так и для различных участков и широтных деталей диска планеты-гиганта.

При получении достоверных данных о высотном распределении параметров функции распределения по размерам и форме частиц аэрозоля в рассмотренной широтной детали Юпитера, с помощью данного метода можно уточнить полученные здесь значения  $n_{\text{эф}}(\lambda)$  и  $n_i(\lambda)$ . Также отметим, что в результате учета поглощения аэрозоля получены более достоверные характеристики вертикальной структуры облачного слоя атмосферы планеты-гиганта.

1. Аврамчук В. В., Бугаенко Л. А., Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г. Результаты исследований Юпитера, выполненные в Главной астрономической обсерватории АН УССР // Астрометрия и астрофизика.—1977.—Вып. 31.—С. 54—68.
2. Дементьев М. С., Мороженко А. В. О вертикальной неоднородности атмосфер Урана и Нептуна // Астрон. вестн.—1990.—24, № 2.—С. 127—134.
3. Мороженко А. В. Результаты поляризационных исследований Юпитера // Астрометрия и астрофизика.—1976.—Вып. 30.—С. 47—54.
4. Мороженко А. В. О структуре облачного слоя Юпитера // Письма в Астрон. журн.—1984.—10, № 10.—С. 775—779.
5. Мороженко А. В. Вертикальная структура широтных облачных поясов Юпитера // Астрон. вестн.—1985.—19, № 1.—С. 64—76.
6. Мороженко А. В. Проблемы изучения вертикальных структур облачных слоев атмосфер планет-гигантов // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 1.—С. 3—26.
7. Мороженко А. В. Вероятные пределы для размеров частиц и относительных концентраций аэрозоля и метана на уровнях формирования центров полос поглощения метана на 727, 619, 543 и 441 нм в атмосфере Нептуна // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 2.—С. 110—122.
8. Мороженко А. В. Различие вертикальных структур облачных слоев атмосфер планет-гигантов // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 3.—С. 261—278.
9. Мороженко А. В. Переопределение монохроматических коэффициентов поглощения метана с учетом тепловых режимов планет-гигантов. II. Юпитер // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 6.—С. 483—500.
10. Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г. Параметры оптической модели атмосферы Юпитера для непрерывного спектра в области 0,35—0,92 мкм // Письма в Астрон. журн.—1976.—2, № 1.—С. 50—54.
11. Мороженко О. В. Методи і результати дистанційного зондування планетних атмосфер.— Київ. Наукова думка, 2004.—647 с.
12. Овсак А. С. Изменения объемного коэффициента рассеяния аэрозоля в атмосфере Юпитера по данным наблюдений интегрального диска планеты // Кинематика и физика небес. тел.—2015.—31, № 4.—С. 61—71.
13. Овсак А. С., Тейфель В. Г., Видьмаченко А. П., Лысенко П. Г. Зональные различия облачного покрова Юпитера: Результаты анализа наблюдений в полосах поглощения метана 727 и 619 нм // Кинематика и физика небес. тел.—2015.—31, № 3.—С. 23—39.
14. Яновицкий Э. Г. Эффективная оптическая толщина облачного слоя атмосферы, в



- котором формируется наблюдаемый спектр планеты. Концепция и элементарные оценки // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—**13**, № 6.— С. 18—25.
15. Chamberlain J. W. The atmosphere of Venus near cloud top // *Astrophys. J.*—1965.—**141**, N 4.—P. 1184—1205.
  16. Dementiev M. S., Morozhenko A. V. Zones and belts of Jupiter's disk. The difference in the vertical structure of cloud layers // *Solar Syst. Res.*—1990.—**24**, N 4.—P. 275—287.
  17. Dlugach Z. M., Mischenko M. I. The effect of aerosol shape in retrieving optical properties of cloud particles in the planetary atmospheres from the photopolarimetric data. Jupiter // *Sol. Syst. Res.*—2005.—**32**.—P. 102—111.
  18. Dlugach Z. M., Mischenko M. I. Photopolarimetry of planetary atmospheres: what observational data are essential for a unique retrieval of aerosol microphysics? // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2008.—**384**.—P. 64—70.
  19. Giver L. P. Intensity measurements of the CH<sub>4</sub> bands in the region of 4350 to 10600 Å // *J. Quant. Spectroscop. and Radiat Transpher.*—1978.—**19**, N 2.—P. 311—322.
  20. 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.
  21. Karkoschka E. Methane, ammonia, and temperature measurements of the Jovian planets and Titan from CCD-spectrophotometry // *Icarus.*—1998.—**133**, N 1.—P. 134—146.
  22. Lindal G. F. The atmosphere of Neptune: an analysis of radio occultation data with Voyager 2 // *Astron. J.*—1992.—**103**, N 3.—P. 967—982.
  23. Mishchenko M. I. Physical properties of the upper troposphere aerosols in the equatorial region of Jupiter // *Icarus.*—1990.—**84**, N 2.—P. 296—304.
  24. 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>.
  25. Mishchenko M. I., Travis L. D., Kahn R. A., West R. A. Modeling phase functions for dustlike tropospheric aerosols using a shape mixture of randomly oriented polydisperse spheroids // *J. Geophys. Res.*—1997.—**102**.—P. 16831—16847.
  26. 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 Phys. of Celestial Bodies.*—2007.—**23**, N 6.—P. 245—257.
  27. Morozhenko A. V., Ovsak A. S., Korsun P. P. The vertical structure of Jupiter's cloud layer before and after the impact of comet Shoemaker-Levy 9 // *European SL-9/Jupiter Workshop.*—1995.—P. 267.
  28. 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.
  29. Niemann H. B., Atrea 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.—**103E**, N 10.—P. 22831—22845.
  30. Ovsak A. S. Calculation of effective optical depth of absorption line formation in homogeneous semi-infinite planetary atmosphere during anisotropic scattering // *Kinematics and Phys. of Celestial Bodies.*—2010.—**26**, N 2.—P. 86—88.
  31. Ovsak A. S. Upgraded technique to analyze the vertical structure of the aerosol component of the atmospheres of giant planets // *Kinematics and Phys. of Celestial Bodies.*—2013.—**29**, N 6.—P. 291—300.

32. *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.
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. *Yanovitskij E. G., Ovsak A. S.* Effective optical depth of absorption line formation in semi-infinite planetary atmospheres // *Kinematics and Phys. of Celestial Bodies.*—1997.—**13**, N 4.—P. 1—19.

Статья поступила в редакцию 29.12.14