

(ДТОО «Астрофизический институт им. Фесенкова», Алматы, Республика Казахстан)

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНА  
НА ЮПИТЕРЕ ПО ДАННЫМ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО  
ОХВАТА ВСЕХ ДОЛГОТ ПЛАНЕТЫ**

**Аннотация.** Выполнены спектрофотометрические наблюдения Юпитера в течение четырех ночей в ноябре-декабре 1999 г. Получено и обработано 388 ПЗС-спектрограмм центрального меридиана планеты с двойным перекрытием всех долгот при шаге 1.8 градуса. Исследованы широтные вариации центральных глубин полос поглощения метана в длинах волн 619, 725, 798 и 887 нм. Показано, что эти вариации в основном сохраняются на всех долготах, но не совпадают у разных полос по положениям экстремумов (максимумов и минимумов) поглощения. Зональные различия в поглощении не коррелируют с положением темных и светлых облачных поясов, за исключением полосы 887 нм, сохраняющей многие годы хорошо выраженный минимум в экваториальном поясе Юпитера. Полоса 798 нм обнаруживает больший разброс значений глубин на низких широтах, чем другие полосы, что может быть связано с присутствием в ней еще и полосы поглощения аммиака. Сравнение широтного хода поглощения в полосах 619 и 725 нм обнаруживает петлеобразный вид соотношения глубин этих полос в низкоширотном поясе Юпитера. Ориентировочные оценки эффективных оптических глубин формирования поглощения и их разностей в рамках простейшей двухслойной модели указывают на существование меняющейся с широтой вертикальной неоднородности облачного покрова.

**Ключевые слова:** Юпитер, метан, спектрофотометрия.

**Тірек сөздер:** Юпитер, метан, спектрофотометрия.

**Keywords:** Jupiter, methane, spectrophotometriya.

**Введение.** Зональный характер атмосферной циркуляции на Юпитере определяет расположение и вид темных и светлых облачных поясов с различающейся динамикой горизонтальных и вертикальных течений, которая, естественно, отражается и на структуре, и плотности облачного покрова планеты. Одним из источников информации о таких различиях является исследование пространственных (широтно-долготных) вариаций распределения интенсивности наблюдаемых в спектре планеты молекулярных полос поглощения. Такие исследования в планетной лаборатории Астрофизического института ведутся регулярно в течение длительного периода. В процессе спектрофотометрических наблюдений Юпитера представилась уникальная возможность

провести регистрацию спектров центрального меридиана планеты в практически непрерывном режиме с двукратным охватом всех долгот планеты. Это позволило построить карты и проанализировать особенности глобального распределения поглощения на Юпитере. Можно отметить, что лишь в единичных случаях ранее делались попытки проследить вариации поглощения метана на Юпитере по всем долготам, причем лишь для одной-двух полос поглощения и только для экваториального пояса планеты [1-3].

**Наблюдения.** Спектральные наблюдения были проведены в ноябре-декабре 1999 г. с помощью ПЗС-камеры ST-6V и призменного спектрографа АСП-9, установленного в 7.5-м кассегреновском фокусе 0.6-м телескопа РЦ-600. ПЗС-матрица охлаждалась до -20С при внешней температуре +(3-7)С. Изображения спектров при ориентации щели спектрографа вдоль центрального меридиана Юпитера записывались на компьютер автоматически с интервалом по времени в 3 минуты. Такой временной шаг соответствовал повороту Юпитера (и изменению долготы центрального меридиана) на 1.8 градуса. Длительность экспозиции равнялась 7 секундам. Всего было проведено 4 сеанса наблюдений продолжительностью от 2 до 7.5 часов, в результате чего было получено в общей сложности 388 спектрограмм, причем все долготы Юпитера были охвачены дважды (рисунок 1). Ширина щели спектрографа равнялась 0.025 мм. Масштаб изображения на выходе спектрографа был равен 0.89 арксек/пиксель. На полярный диаметр Юпитера, составлявший в этот период 44-43 арксекунды, приходится 48 пикселей, так что инструментальное разрешение получается не хуже того, что определяется качеством изображения, связанным с атмосферной турбулентностью.

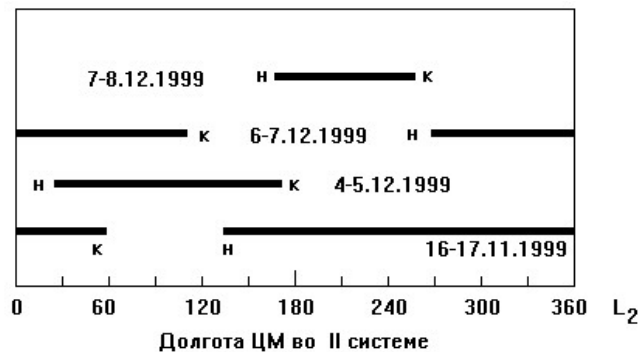


Рисунок 1 – Даты наблюдений и долготы центрального меридиана Юпитера во II системе, охваченные наблюдениями в каждую ночь

**Обработка и анализ спектрограмм.** Цифровой массив, представляющий ПЗС-изображение спектра центрального меридиана Юпитера, преобразовывался вычислением отношения к опорному спектру кольца Сатурна для выделения присущих атмосфере Юпитера полос поглощения метана с длинами волн их центров 619, 725, 798 и 887 нм.

Для каждого спектра во всех 48 точках центрального меридиана для каждой из полос определялись центральные глубины  $R_v = 1 - I_v/I_c$ , где  $I_v$  – интенсивность в центре полосы, а  $I_c$  – интерполированная на центр полосы интенсивность в непрерывном спектре. Затем

строились профили широтного хода  $R_v$  для каждого шага по долготе центрального меридиана, а для каждой широты – графики долготного хода  $R_v$ . В результате этих операций были получены трехмерные карты ши-ротно-долготных вариаций поглощения и выведены характерные для данного периода наблюдений зависимости поглощения от широты или долготы.

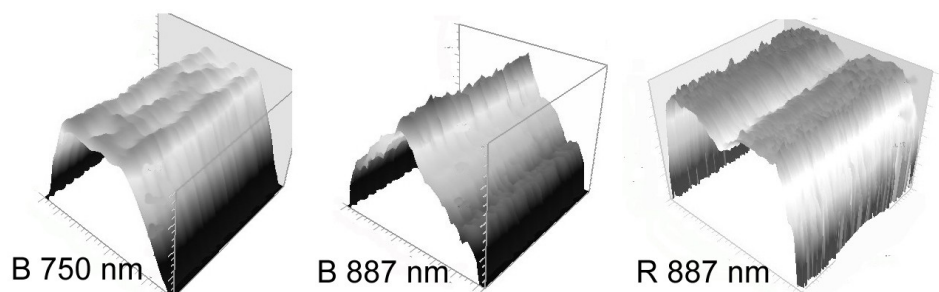


Рисунок 2 – Трехмерное представление долготно-широтных профилей яркости в непрерывном спектре

в длине волны 750 нм, в центре полосы поглощения 887 нм и глубин поглощения в полосе  $\text{CH}_4$  887 нм

На рисунке 2 показаны примеры такого трехмерного представления карт распределения интенсивности в непрерывном спектре и в сильной полосе поглощения метана 887 нм. Здесь хорошо видно различие в меридиональном ходе яркости в полосе поглощения и в континууме, а правый график показывает, как меняется с долготой и широтой глубина полосы поглощения 887 нм.

Анализ всех карт показывает, что долготные вариации поглощения метана не столь велики, как широтные различия. Главной особенностью является то, что вариации поглощения с широтой и положение экстремумов (максимумов и минимумов средних значений глубин полос  $R_v$ ) не совпадают у разных по интенсивности полос (рисунок 3). Относительно слабая полоса  $\text{CH}_4$  619 нм по всем наблюдениям обнаруживает максимум значений  $R_v$  чуть южнее экватора на широте около  $-5$  градусов. Иначе ведет себя глубина полосы 725 нм с четко выраженными максимумами поглощения на широтах около  $-18$  и  $+23$  градуса и с минимумом на широте около  $+4$  градусов. Меридиональный ход глубины полосы 798 нм почти такой же, но обращает на себя внимание повышенная дисперсия значений  $R_v$  у этой полосы в области широт от экватора до  $-15$  градусов. При рассмотрении долготного хода поглощения в этом поясе широт выявляется «аномальное» увеличение поглощения с максимумом на долготях около 60 градусов во II системе. На трехмерном графике (рисунок 4) эта область выделена наиболее темным оттенком. В обе даты, когда эта область долгот наблюдалась, повышенное поглощение там было хорошо заметно.

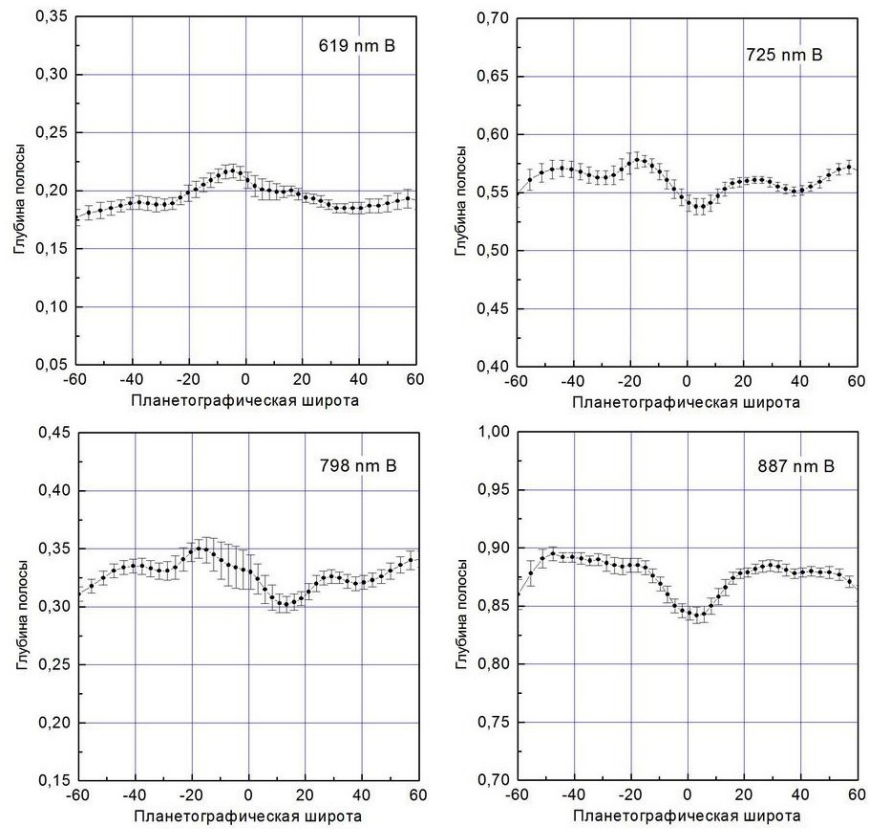


Рисунок 3 – Усредненные по долготам широтные вариации глубин полос поглощения по наблюдениям 4-5.12.1999

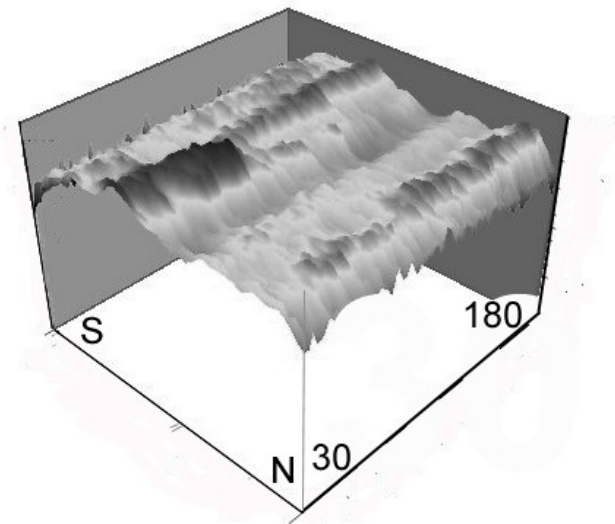


Рисунок 4 – Трехмерное представление широтно-долготных вариаций глубины полосы поглощения  $\text{CH}_4$  798 нм по измерениям 4-5.12.1999

Область эта находится вблизи Большого Красного Пятна (GRS – Great Red Spot ) – восточнее и южнее его овала – и совпадает с наиболее темной в этот период частью Южного Экваториального Пояса (NTB – Northern Equatorial Belt).

Наблюдаемая особенность в поведении полосы 798 нм может быть связана с тем, что эта по-лоса фактически сформирована поглощением как метана, так и аммиака, который занимает как раз центральную часть этой комбинированной полосы [4, 5]. Наиболее сильная полоса поглощения 887 нм показывает типичную для нее и сохраняющуюся многие годы [6, 7] депрессию в эквато-риальной зоне при небольших вариациях в поясах низких и умеренных широт.

**Сравнение глубин полос 619 и 725 нм.** Для всех четырех дат наблюдений обнаруживается петлеобразный вид графика соотношения значений  $R_v$  в поясе широт от -25 до +25 градусов (рисунок 5, слева). Справа показаны усредненные по всем долготам широтные вариации глубин этих двух полос. Несовпадение хода  $R_v$  у них видно отчетливо. В рассеивающе-поглощающей сре-де, какой является облачный слой на Юпитере, формирование поглощения в слабой и умеренной полосах происходит на разных эффективных оптических глубинах.

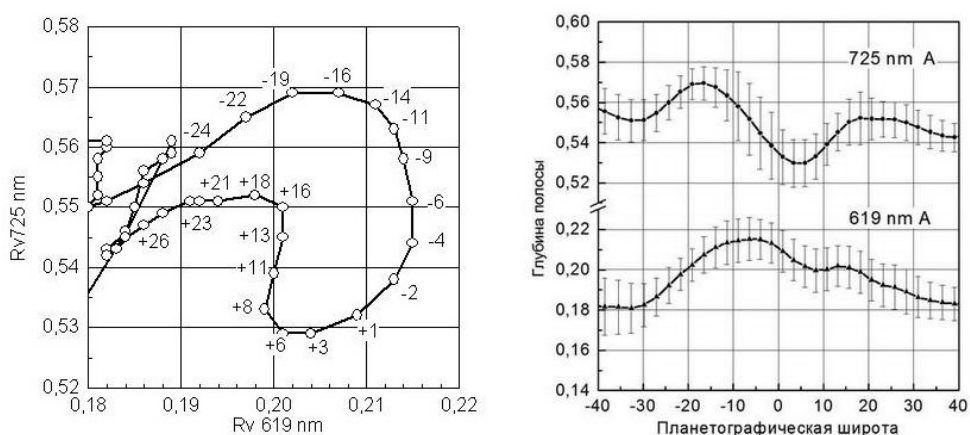


Рисунок 5 – Петлеобразный вид соотношения глубин полос  $\text{CH}_4$  619 и 725 нм и сравнение их меридиональных вариаций в поясе низких широт

Наиболее естественным объяснением наблюдаемых различий представляется проявление здесь разной степени вертикальной неоднородности облачного слоя, в результате чего эффективные глу-бины в двух полосах ведут себя по-разному на разных широтах.

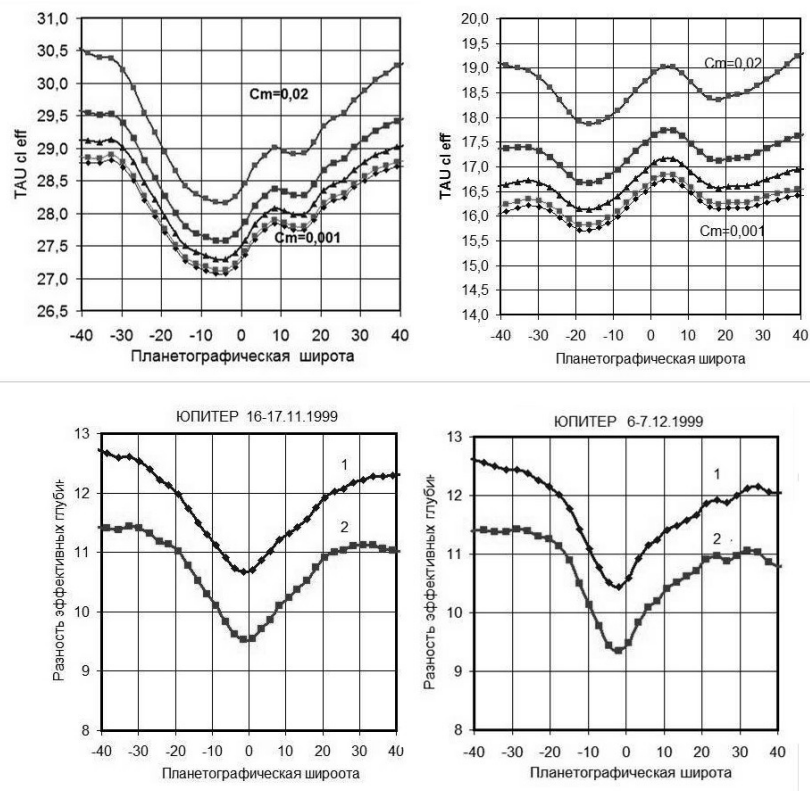


Рисунок 6 – Вверху – широтные вариации оценок эффективной оптической глубины формирования поглощения

в облачном слое при разных значениях содержания метана  $C_m$  в надоблачной атмосфере для полосы 619 нм (слева)

и полосы 725 нм. Внизу – для двух дат наблюдений вычисленные разности эффективных оптических глубин

при  $C_m = 0.001$  км-амага (1) и при  $C_m = 0.02$  км-амага (2)

В качестве пробных оценок различий эффективных глубин формирования поглощения в центрах полос 619 и 725 нм были выполнены расчеты с использованием численных результатов теории переноса излучения в планетных атмосферах для индикатрисы рассеяния Хензи-Гринстейна с параметром асимметрии  $g = 0.75$  [8, 9]. Дискретные табличные данные, приводимые в этих таблицах, аппроксимировались полиномами 4 степени, что позволяло выполнять расчеты для любых исходных значений аргумента. Была принята двухслойная модель формирования наблюдаемого молекулярного поглощения – полубесконечный облачный слой и надоблачная чисто газовая атмосфера. Коэффициенты поглощения метана для центров полос 610 и 725 нм взяты из работы [10].

Наблюдаемые различия в широтном ходе поглощения у двух полос наиболее вероятно должны быть связаны с разной вертикальной неоднородностью облачного слоя на разных широтах. Соответственно, с учетом поглощения в надоблачной атмосфере при разных содержаниях метана, были получены оценки эффективных оптических глубин на разных широтах (рисунок 6 – верхний ряд).

В качестве характеристики различий в степени вертикальной неоднородности распределения облачного аэрозоля можно принять разность эффективных оптических глубин. Если широтных различий нет, она должна сохраняться неизменной на всех широтах. Как видно из рисунка 6 (нижний ряд), разность эффективных глубин получается минимальной на экваторе, но возрастает с широтой к югу и северу от экватора. Разумеется, этот результат следует рассматривать как предварительный, но представляющий интерес как возможный спектральный метод поиска неоднородностей в структуре облачного покрова Юпитера и Сатурна.

*Работа выполнена в рамках программы 055 научно-исследовательской работы «Изучение физических свойств избранных объектов солнечной системы».*

## ЛИТЕРАТУРА

1 Егоров Ю.А., Тейфель В.Г., Харитонов Г.А. Об изменениях поглощения  $\text{CH}_4$  в экваториальном поясе Юпитера // Астрон. цирк. АН СССР. – 1971. – № 656. – С. 3-5.

2 Cochran W.D., Cochran A.L. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Jupiter // Icarus. – 1980. – Vol. 42, N 1. – P. 102-110.

3 Cochran W.D., Cochran A.L. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Jupiter. II. Temporal variations // Icarus. – 1983. – Vol. 56, N 1. – P. 116-121.

4 Тейфель В.Г., Харитонов Г.А., Каримов А.М. Особенности широтного хода аммиачного поглощения в полосе  $\text{NH}_3$  7870 А на Юпитере // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2006. – № 4. – С. 57-61.

5 Бондаренко Н.Н. Исследование вариаций полосы поглощения аммиака  $\text{NH}_3$  787 нм в атмосфере Юпитера // Изв. НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2012. – № 3. – С. 67-71.

6 Тейфель В.Г. Спектрофотометрия полос поглощения метана на диске Юпитера в ближней инфракрасной области (0.7–1.0 мкм) // Астрон. журнал. – 1966. – Т. 43, № 1. – С. 154-156.

7 Moreno F., Molina A., Lara L.M. Charge-coupled device spectral images of spatially resolved regions of Jupiter in the 6190- and 8900-Å methane and 6450-Å ammonia bands during the 1989 opposition // J. Geophys. Res. – 1991. – Vol. 96, N A8. – P. 14119-14127.

8 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. – Vol. 22, N 1. – P. 66-81.

9 Яновицкий Э.Г. Эффективная оптическая толщина слоя атмосферы, в котором формируется наблюдаемый спектр планеты. Концепция и элементарные оценки // Кинематика и физика небес. тел. – 1997. – Т. 13, № 6. – С. 18-25.

10 Karkoschka, E. Spectrophotometry of the jovian planets and Titan at 300- to 1000-nm wavelength: the methane spectrum // *Icarus*. – 1994. – Vol. 111. – P. 174-192.

## REFERENCES

1 Egorov Yu.A., Teyfel V.G., Haritonova G.A. Ob izmeneniyah pogloscheniya SN<sub>4</sub> v ekvatorialnom poyase Yupitera // *Astron.tsirk. AN SSSR*, 1971, № 656, S. 3-5 (In Russ.).

2 Cochran W.D., Cochran A.L. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Jupiter // *Icarus*, 1980, V. 42, N 1, P.102-110.

3 Cochran W.D., Cochran A.L. Longitudinal variability of methane and ammonia bands on Jupiter.II. Temporal variations // *Icarus*, 1983, Vol. 56, N 1, P. 116-121.

4 Teyfel V.G., Haritonova G.A., Karimov A.M. Osobennosti shirotnogo hoda ammiachnogo pogloscheniya v polose NH<sub>3</sub> 7870 A na Yupitere // *Izv. NAN RK. Ser. fiz.-mat.*, 2006, № 4, S. 57-61 (In Russ.).

5 Bondarenko N.N. Issledovanie variatsiy polosyi pogloscheniya ammiaka NH<sub>3</sub> 787 nm v atmosfere Yupitera // *Izv. NAN RK. Ser. fiz.-mat.*, 2012, № 3. S. 67-71 (In Russ.).

6 Teyfel V.G. Spektrofotometriya polos pogloscheniya metana na diske Yupitera v blizhney infrakrasnoy oblasti (0.7-1.0 mkm) // *Astron. zhurnal*, 1966, T. 43, № 1, S.154-156 (In Russ.).

7. Moreno F., Molina A., Lara L.M. Charge-coupled device spectral images of spatially resolved regions of Jupiter in the 6190- and 8900-Å methane and 6450-Å ammonia bands during the 1989 opposition // *J. Geophys. Res.*, 1991, Vol. 96, N A8, P. 14119-14127.

8. . Dlugach J.M., Yanovitskiy 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, Vol. 22, № 1, P. 66-81.

9. Yanovitskiy E.G. Effektivnaya opticheskaya tolschina sloya atmosferyi, v kotorom formiruetsya nablyudaemyiy spektr planetyi. Kontseptsiya i elementarnyye otsenki // *Kinematika i fizika nebes. tel*, 1997, T. 13, № 6, S. 18-25 (In Russ.).

10. Karkoschka, E. Spectrophotometry of the jovian planets and Titan at 300- to 1000-nm wavelength: the methane spectrum.// *Icarus*. 1994. Vol. 111, P. 174-192.

## Резюме

*В. Г. Тейфель, Г. А. Харитонова*



(«Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

## ПЛАНЕТАНЫҢ БАРЛЫҚ БОЙЛЫҒЫН КВАЗИҮЗДІКСІЗ МӘЛІМЕТТЕРДІ ҚАМТУ БОЙЫНША ЮПИТЕРДЕГІ МЕТАН ЖҰТЫЛУЫНЫҢ ТАРАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

1999 жылы қараша-желтоқсан айларының төрт түнінде Юпитердің спектрофотометрлік бақылаулары орындалды. 1.8 градус кадамдық барлық бойлықтардың жұптық жабұмен планетаның орталық мериди-нанына Зарядталған байланыстағы аспап (ЗБА)-спектрограммасының 388 алынды және өңделді. 619, 725, 798 және 887 нм толқын ұзындықтарында метанның жұтылу жолағының орталық ендік өзгерулері зерттелді. Бұл өзгерулер барлық бойлықтарда сақталатындығы көрсетілген, бірақ экстремумды жұтылу (максимум және минимум) орындары бойынша әртүрлі жолақтарда сәйкес келмейді. Юпитердің экваторлық белбеуінде көп жылдар бойы жақсы сақталып келе жатқан минимум, 887 нм жолақты қоспағанда, ашық және қараңғы бұлтты белбеу орындары корреляцияланбайтын жұтылудың аймақтық айырмашылықтары. Басқа жолақтарға қарағанда, төменгі ендікте тереңдіктің мағынасы 798нм жолақта үлкен шашырауды табады, ол аммиактың жұтылу жолағының бар болуымен байланыстырады. 619 және 725 нм жұтылу жолақтарының ендерінің жүрістерін салыстыру барысында, бұл жолақтардың ілгек түрдегі тереңдік қатынасын, Юпитердің аласа енді белбеуінде табады. Әсерлі оптикалық тереңдіктің жұтылудың пайда болуының жуықтау шамадағы баға-лауын және қарапайым екі қабатты модель шеңберінде олардың әртүрлілігі өзгермелі вертикальды ендіктегі бұлтты жамылғының біртекті болмайтындығын көрсетеді.

**Тірек сөздер:** Юпитер, метан, спектрофотометрия.

### Summary

*V. G. Teifel, G. A. Kharitonova*

(D TOO «Fesenkov Astrophysical Institute», Almaty, Republic of Kazakhstan)

THE PARTICULARITIES OF THE METHANE ABSORPTION DISTRIBUTION ON JUPITER FROM DATA

OF QUASICONTINUOUS OVERLAPPING OF ALL PLANETARU LATITUDES

Spectrophotometric observations of Jupiter were carried out during four nights in November and December 1999. There were recorded and processed 388 CCD-spectrograms of the Jovian disk central meridian with a double overlap of all longitudes and with the step 1.8 degree. The latitudinal variations of the central depths of the methane absorption bands at wavelengths 619, 725, 798 and 887 nm were studied. It was shown that these variations are generally similar at all longitudes, but not the same for different bands of extremes (max and min) absorption position. Zonal differences in absorption are not correlated with the position of light and dark cloud belts, except for the 887 nm band, which preserves many years a well-defined minimum in the equatorial zone of Jupiter. The 798 nm band shows more variation in the depth values at low latitudes than other bands, which may be due to the presence within this band the ammonia absorption also. A comparison of the latitudinal variation of the absorption bands in the 619 and 725 nm show a loop-form of the relation of these bands depths in the low-latitude region of Jupiter. Rough estimates of the effective optical depth of the absorption formation on their differences in a simple two-layer model indicate the existence of varying with latitude vertical inhomogeneity of cloud cover.

**Keywords:** Jupiter, methane, spectrophotometriya.

*Поступила 2.09.2013г.*