

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 104 – 109

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

“V.G. Fesenkov Astrophysical Institute” SLLP, Almaty, Kazakhstan

\* – [ydv1942@mail.ru](mailto:ydv1942@mail.ru)

**THE STUDY OF MOLECULAR ABSORPTION  
OVER JOVIAN DISK IN VISIBILITY SEASON OF 2016  
I. EQUATORIAL AREA**

**Abstract** On the basis of spectral observations of 2016 we obtained variations of methane and ammonia absorption throughout the disk of Jupiter. For isolation of the ammonia absorption bands on the background of strong methane absorption bands in the near IR region of the spectrum, an advanced method of spectra processing is used. Because of lack of studies on the ammonia absorption on the giant planets, we give a special attention to the ammonia. In this paper we consider the features of methane-ammonia absorption variations along the Jovian equator using the  $\lambda_{645}$  and 790 nm  $\text{NH}_3$  absorption band. In the methane bands of moderate and strong intensity (725, 861, 889 nm) an absorption course across the planetary disk well (qualitatively) fits a two-layer atmospheric model consisting of a scatter-absorbing homogeneous cloud layer and a gaseous atmosphere above it. The same course of the absorption in the ammonia bands (645 and 790 nm) has a strong decline to the disc's edges. It can not be simply described using a scatter-absorbing layer with  $0 \leq g \leq 0.75$ , where  $g$  is the scattering function stretch parameter. These features are suggested to be explained by changes of the  $\text{NH}_3$  concentration throughout the gaseous atmosphere of Jupiter down to levels  $\sim 8$  bar.

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

УДК 523.45

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

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ  
ПО ДИСКУ ЮПИТЕРА В СЕЗОН ВИДИМОСТИ 2016 ГОДА  
I. ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ**

**Аннотация.** На основе спектральных наблюдений 2016 г. получены вариации метанового и аммиачного поглощения по диску Юпитера. Для выделения аммиачных полос поглощения на фоне сильных метановых абсорбционных полос в ближней ИК области спектра применяется заново разработанный и усовершенствованный метод обработки спектров. Из-за недостаточного количества исследований, посвященных аммиачному поглощению на планетах-гигантах, аммиаку уделяется особое внимание. В данной статье, на примере поведения абсорбционных полос  $\text{NH}_3$   $\lambda_{645}$  и 790 нм, рассматриваются особенности вариаций аммиачного поглощения вдоль экватора Юпитера. В полосах метана средней и сильной интенсивности (725, 861, 889 нм) ход поглощения по диску качественно хорошо укладываются в рамки двухслойной модели, состоящей из рассеивающе-поглощающего однородного облачного слоя и чисто газовой атмосферы над ним. Ход поглощения в полосах аммиака  $\text{NH}_3$  645 и 790 нм имеет сильный спад к краям диска. Его нельзя описать просто рассеивающе-поглощающим слоем с параметром вытянутости индикатрисы  $0 \leq g \leq 0.75$ . Высказывается предположение о том, что эти особенности объясняются изменениями концентрации  $\text{NH}_3$  во всей толще газовой атмосферы планеты вплоть до уровней порядка 8 бар.

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

Атмосфере Юпитера свойственно состояние бурной конвекции, источником которой является тепловой поток, исходящий из его недр. В результате, температуры дневного и ночного полушарий выравниваются. На низких широтах, благодаря мощным кориолисовым силам, вертикальные конвективные движения превращаются в горизонтальные, а движения в направлении север-юг – в западно-восточные, направленные вдоль параллелей. Это приводит к разделению видимой облачной поверхности Юпитера на множество темных и светлых полос, параллельных экватору. Колоссальные воздушные массы поднимаются вверх в зонах и опускаются в поясах, замыкая конвективные ячейки и оказывая влияние на их пространственную и вертикальную структуру.

Метан и аммиак играют важную роль в формировании оптических свойств атмосферы Юпитера и в ее динамических процессах.

*Метан* в условиях атмосферы Юпитера не конденсируется и на всех высотах, как в тропосфере, так и в стратосфере, не переходит в жидкую или сублимированную фазу, так как температура замерзания его ( $-182.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ниже, чем температура атмосферы, а содержание слишком низкое, чтобы позволить газу быть в состоянии насыщения при подобных температурах. Таким образом, относительное содержание метана в атмосфере Юпитера не меняется. Исследование метанового поглощения весьма перспективно, так как даёт богатую информацию о вертикальной структуре аэрозоля в атмосфере планеты. Полосы поглощения метаном между 600 и 1000 нм (например, находящиеся, на 619 нм, 727 нм, 889 нм) широко используются для зондирования атмосферы Юпитера, так как, в зависимости от их интенсивности, проникая на различную глубину, они несут информацию о вертикальной структуре атмосферы на соответствующих уровнях. Например, полоса 889 нм несет информацию о региональных вариациях высоты верхней части дымки на уровнях 200 мб и выше, и о существовании стратосферного аэрозоля в полярных областях на уровнях между 5 мб и 70 мб. Более мелкие полосы могут дать информацию о свойствах аэрозоля вплоть до глубин от 2 до 15 бар.

Что касается аммиака, то здесь все выглядит несколько иначе.

*Аммиак* в атмосфере Юпитера играет фундаментальную роль, будучи, с одной стороны, главным агентом формирования видимого облачного покрова и, с другой стороны, участвуя в образовании более глубоких слоев облаков. Несмотря на еще более низкую, чем у метана, относительную концентрацию, аммиак, тем не менее, может в условиях планетных температур достигать состояния насыщения, поскольку замерзает при температуре  $-77.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Благодаря этому аммиак и является основным облакообразующим химическим соединением в верхней тропосфере Юпитера. Он участвует в разного рода химических реакциях с углеводородами и некоторыми элементами, в частности – с серой, образуя гидросульфид аммония  $\text{NH}_4\text{SH}$ , который, возможно, формирует промежуточный облачный слой в тропосфере Юпитера, находящийся между аммиачным и водным слоями облаков. В спектре Юпитера в области длин волн 500-1000 нм присутствуют полосы поглощения газообразного  $\text{NH}_3$  разной интенсивности. Однако, сложность состоит в том, что большинство из них полностью или частично блендируются полосами поглощения метана, и их «выделение», как было нами показано в работах [1-4], требует определенных методологических приемов. Наиболее «чистой» является полоса 645 нм. В связи с тем, что в верхних слоях атмосферы (выше 0.5 бар) аммиак вымерзает, образуя светлые облака из кристаллов, а в области давлений от 1 до 6 бар конденсируется, создавая смешанные облачные структуры из  $\text{NH}_4\text{SH}$  и облака из водно-аммиачного раствора, его концентрация претерпевает сложные пространственные и временные вариации. Это и приводит к зависимости интенсивности абсорбционных полос аммиака не только от содержания его газообразной фазы на разных широтах планет, но и от плотности облаков и их горизонтально-вертикальной структуры.

В силу того, что поведение и пространственно-временные вариации полос поглощения аммиака в атмосферах планет-гигантов изучены в мире пока весьма недостаточно, в планетной лаборатории АФИФ в свое время была поставлена задача о необходимости тщательного изучения отдельных индивидуальных особенностей спектров разных областей Юпитера на основе собственных многолетних спектральных наблюдений планеты.

Поскольку вариации, наблюдаемые в интенсивностях полос поглощения, обычно незначительны, то получение наблюдательного материала и его обработка требуют к себе особого методологического подхода.

В статье [5] мы показывали, что ввиду большого перепада в интенсивностях исследуемых абсорбционных полос трудно сравнивать между собой вариации как их глубин, так и эквивалентных ширин. Более наглядную картину, на наш взгляд, дают вариации остаточных интенсивностей центров полос поглощения  $V_0$ , в виде

$$V_0 = I_0 / I_c \sim \exp(-\tau^*),$$

где  $\tau^*$  можно рассматривать как некую функцию длины волны, которая в рамках выбранной модели представляет величину, пропорциональную усредненному количеству молекул поглощающего газа в толще атмосферы исследуемого участка планеты.

Логарифмируя остаточные интенсивности и строя их распределение по диску планеты, мы получим вариации хода  $\tau_M^*$  для метана или  $\tau_A^*$  для аммиака в разных полосах поглощения. Подобная методика, как мы считаем, дает более надежную информацию о вариациях содержания поглощающего газа по диску.

Это послужило причиной тому, что в ЛФЛП была разработана специальная программа спектральных наблюдений Юпитера и их обработки с целью выявления особенностей поглощения метана и аммиака и относительного распределения этих газов по диску планеты. Программа предусматривала исследование спектральных характеристик различных облачных поясов Юпитера в интервале длин волн 600-950 нм.

Наблюдения проводились в момент противостояния Юпитера 3-5 марта 2016 года с помощью дифракционного спектрографа SGS с ПЗС-камерой ST-7XE, установленного на 0.6-м телескопе РЦ-600.

Для комплексного представления распределения поглощения аммиака и метана вдоль отдельных облачных слоев и вдоль центрального меридиана Юпитера на языке Delphi была написана программа «Цветная карта поглощения по диску Юпитера». Программа обрабатывает всё регистрирующее поле матрицы (765x510 пикселей), выполняя более десяти процедур, учитывающих не только фон вокруг спектрограммы планеты, но и чувствительность матрицы, нормируя все спектры к опорному спектру, построчно вычисляя уровни непрерывного спектра, профили полос поглощения исследуемых газов, их остаточные интенсивности, центральные глубины и эквивалентные ширины, а также распределения яркости вдоль исследуемой зоны в участках непрерывного спектра и в центрах полос поглощения. Результаты выводятся в графическом и табличном виде.

Спектральные характеристики исследовались для пяти характерных облачных областей планеты, в том числе для центрального меридиана. В данной статье мы остановимся на обсуждении особенностей экваториальной зоны Юпитера.

*Экваториальная зона*, когда она светлая и имеет довольно равномерный характер распределения яркости, очень часто по своим характеристикам служит эталоном сравнения для всех остальных облачных структур.

На рисунке 1 представлен скриншот программы «Цветовая карта поглощения по диску Юпитера» для экваториального пояса планеты.

Слева сверху – спектрограмма экваториальной зоны Юпитера в области 600-950 нм. Слева посередине – вариации интенсивностей полос поглощения метана и аммиака вдоль экваториальной зоны, представленные в цветовой гамме.

Для выявления тонких нюансов в поведении полос поглощения вдоль исследуемой зоны, при перемещении курсора мыши по спектрограмме программа выводит на график разными цветами спектр опорной области диска, спектр области под курсором мыши и их отношение.

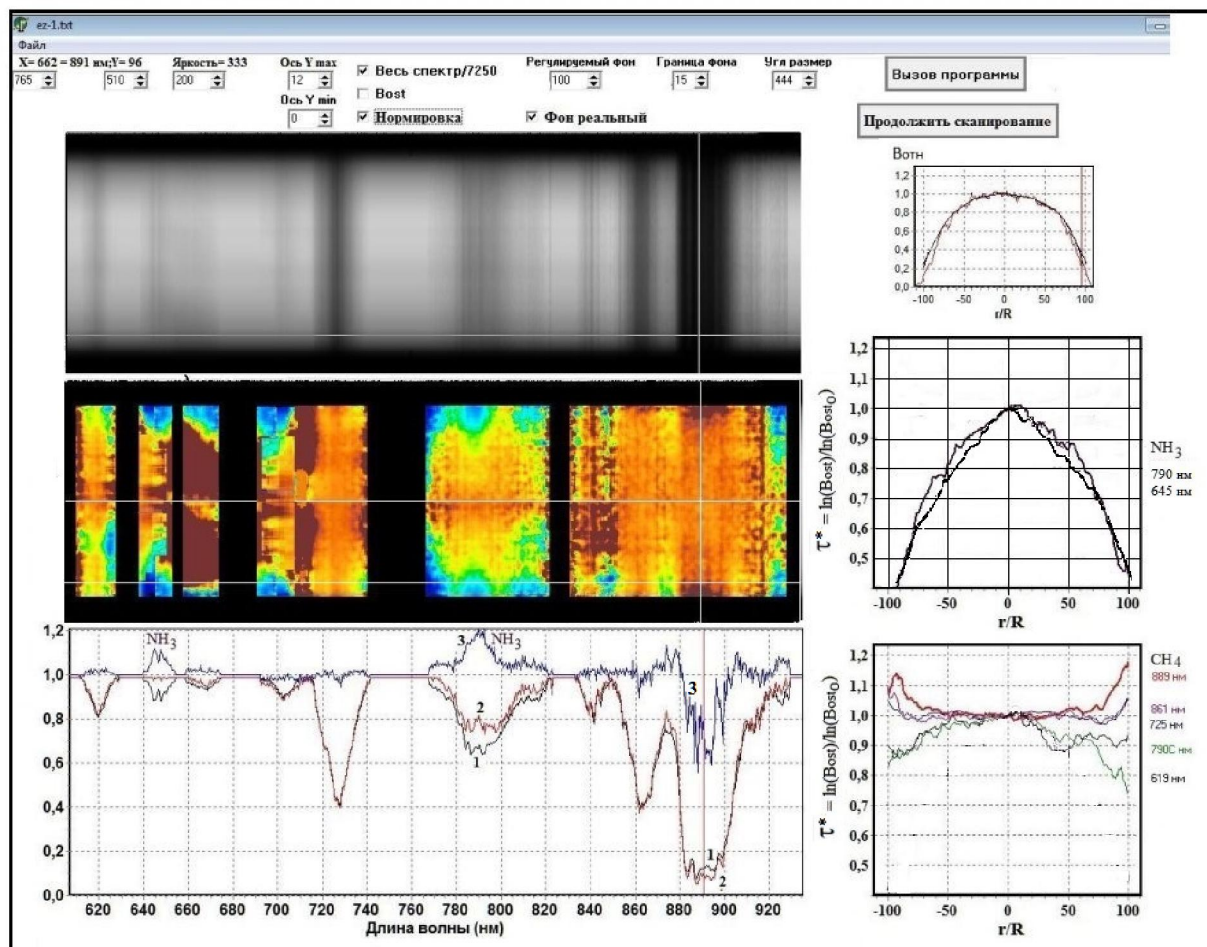


Рисунок 1 – Скриншот программы «Цветовая карта поглощения по диску Юпитера» для экваториального пояса планеты (пояснения в тексте).

Для примера слева внизу показаны профили полос поглощения метана и аммиака:  
 1 – центральной части экваториальной зоны Юпитера ( $\mu = 1$ ); 2 – спектр на  $\mu = 0.5$  и  
 3 – отношение спектра на  $\mu = 0.5$  к спектру на  $\mu = 1$

Справа – вариации  $\mu^*$  вдоль экваториальной зоны в полосах метана и аммиака.

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

Что касается аммиака, то из рисунка 1 ясно видно, что интенсивность поглощения его полос вдоль экватора резко уменьшается к краям диска и целиком определяется рассеивающими свойствами аэрозоля, вплоть до самого лимба. Наши измерения показали, что такое «поведение» аммиака было характерным для него и в 2015 году. Как и следовало ожидать, роль надоблачной атмосферы в абсорбционных полосах аммиака практически сводится к нулю, вследствие его вымерзания.

В отличие от метана, ход поглощения в полосах аммиака  $\text{NH}_3$  645 и 790 нм нельзя описать просто рассеивающе-поглощающим слоем с параметром вытянутости индикатрисы  $0 \leq g \leq 0.75$ . Сильный спад к краям указывает на то, что эта полоса формируется в

более глубоких слоях, предоставляя информацию о вертикальном расположении, плотности и протяженности второго и третьего ярусов облаков из аммиака и его соединений. Не исключено, что между ними расположены разреженная диффузная дымка со сферической индикатрисой рассеяния или протяженная чисто газовая прослойка, рассеивающая по закону Релея.

На рисунке 2, который приводится ниже, приведены скриншоты программы «Определение коэффициентов потемнения Юпитера», подробное описание которой мы приводим в статье [6]. Рисунок позволяет сравнить распределения яркости вдоль центрального меридиана и экваториальной зоны, а также - коэффициента потемнения вдоль экваториальной зоны в участке 630 нм – область непрерывного спектра, в 405 нм – области полосы аэрозольного поглощения и в 889 нм – центре сильной полосы поглощения метана. Цифрами 1 и 2 отмечены кривые распределения яркости в непрерывном спектре 830 и в полосе поглощения метана 889 нм, соответственно, по поперечным разрезам наших спектрограмм экваториальной зоны Юпитера 05.03.2016 г.

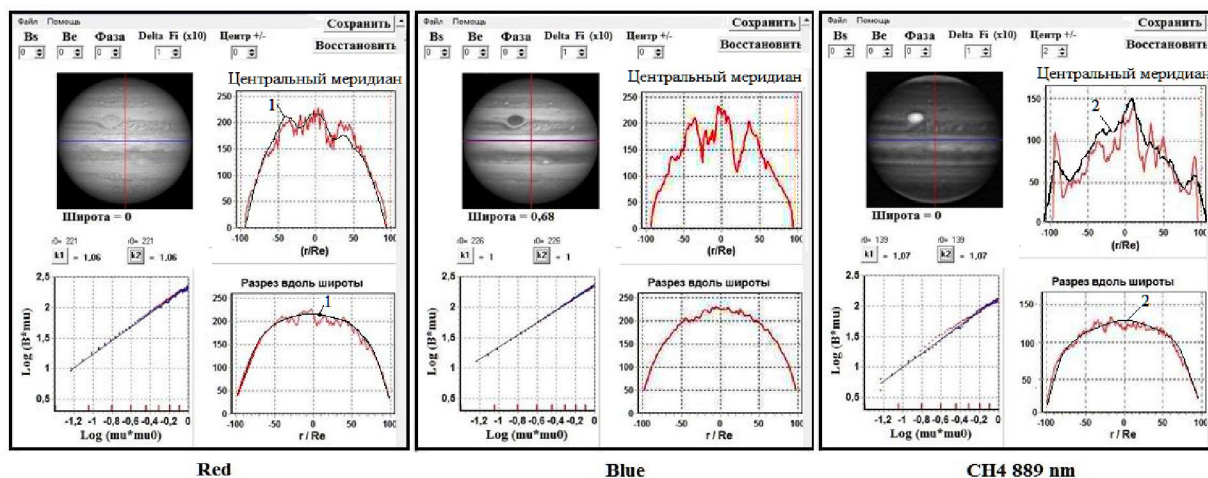


Рисунок 2 – Скриншоты программы «Определение коэффициентов потемнения Юпитера» в непрерывном спектре (Red), в полосе поглощения аэрозолем (Blue) и в центре сильной полосы поглощения метана 889 нм. По снимкам Tizianj Olivett и Christopher Go [7] и по нашим спектрограммам (кривые 1 и 2)

По распределениям яркости экваториальной зоны в непрерывном спектре 830 нм и в полосе поглощения метана 889 нм определены параметры рассеивающе-поглощающего слоя в этой области (таблица 1):

- $\rho_0$  – нормальный коэффициент яркости центра диска Юпитера;
- $k$  – миннаертовский коэффициент потемнения к краю;
- $g$  – параметр вытянутости индикатрисы Хенли-Гринстейна;
- $\omega$  – вероятность выживания кванта;
- $\tau$  – толщина надоблачной атмосферы.

Таблица 1 – Параметры облачного слоя экваториальной зоны

	$\rho_0$	$k$	$g$	$\omega$	$\tau$
830 нм	0.75	1.06	0.50	0.995	
889 нм	0.075	1.07	0.50	0.720	0.16
435 нм	0.56	1.00	0.45	0.978	

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Исследование Юпитера, Марса, Титана и Весты. LAP LAMBERT Academic Publishing 2013. ISBN: 978-3-659-51391-6. 386 с.
- [2] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Вариации аммиачного поглощения в  $\lambda$  10300 А по диску Юпитера. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2006. № 4.

[3] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Тейфель В.Г., Харитоновна Г.А., 2013. Вариации поглощения аммиака и метана на Юпитере в период осветления SEB в 2009-2011 годах. //В сб. Астрофизические исследования космических объектов Серия «Казахстанские космические исследования» том 10. С. 206-223.

[4] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Тейфель В.Г., Харитоновна Г.А. Драматические события на Юпитере в 2009-2011 годах //Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2012. №3.– С.58-62.

[5] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование метаново-аммиачного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2015 года. I. Экваториальная область //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2015. № 5. С. 82-86.

[6] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. II. Широтные вариации. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 5 (настоящий сборник).

[7] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>

## REFERENCES

[1] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Study of the Jupiter, Mars, Titan and Vesta. *LAP LAMBERT Academic Publishing* 2013. ISBN: 978-3-659-51391-6. 386 p. (in Russ.).

[2] Vdovichenko V.D., Kirienko G.A. Variations of the ammonium absorption in 10300 Å on disk of the Jupiter. // *Izvestija NAN RK*. 2006. № 4 (in Russ.).

[3] Vdovichenko V. D., Kirienko G. A., Tejfel V. G., Kharitonova G. A., 2013. Variation of absorption of ammonia and methane on Jupiter in the clarification period SEB in 2009-2011. //In proc. Astrophysical studies of cosmic objects Series "Kazakhstan space research" volume 10. P. 206-223 (in Russ.).

[4] Vdovichenko V. D., Kirienko G. A., Tejfel V. G., Kharitonova, G. A. Dramatic co-existence on Jupiter in 2009-2011 //news NAN RK, series of physical-mathematical. – 2012. No. 3.–P. 58-62. (in Russ.).

[5] Vdovichenko V. D., Kirienko G. A., Lysenko P. G. A study of the methane-ammonia absorption on Jupiter season appearances 2015. I. Equatorial region. //Izvestija NAN RK. The mathematics series. 2015. No. 5 P. 82-86 (in Russ.).

[6] Vdovichenko V. D., Kirienko G. A., Lysenko P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of appearances in 2016. II. Latitudinal variations. //Izvestiya NAN RK. The mathematics series. 2016. No. 5 (this volume) (in Russ.).

[7] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>

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

«В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан

### **2016 ЖЫЛДЫҢ КӨРІНУ МАУСЫМЫНДА ЮПИТЕР ДИСКІСІ БОЙЫНША МЕТАННЫҢ-АММИАКТЫҢ ЖҰТЫЛУЫН ЗЕРТТЕУ I. ЭКВАТОР АЙМАҒЫ I. ЭКВАТОР АЙМАҒЫ**

**Аннотация.** 2016 жылғы спектрлік бақылаулардың негізінде Юпитер дискісі бойынша метан мен аммиак жұтудың вариациялары алынды. Спектрдің жақын ИҚ аймақтарында күшті метанның жұтылу жолақтары аясында аммиактың жұту жолақтарын бөлу үшін спектр өңдеулерінің қайтадан дайындалған және жетілдірілген әдістері қолданылады. Алып планеталарда аммиактың жұтуына арналған зерттеу санының жеткіліксіздігінен аммиакқа аса назар аударылады. Аталған мақалада мысалға NH<sub>3</sub> 645 және 790 нм жұтылу жолақтары келтіріледі, Юпитер экваторы бойында аммиактың жұту вариациясы ерекшеліктері қарастырылады. Орта және күшті қарқындылықтағы метан жолақтарында (725, 861, 889 нм) дискі бойынша жұтудың жүруі шашыраңқы-сіңіруші біртекті бұлт қабаты және олардың үстіндегі таза газды атмосферадан тұратын екіқабаты үлгілердің аясында сапалы жақсы жүргізіледі. NH<sub>3</sub> 645 и 790 nm аммиак жолақтарында жұту жүрісі диск шеттеріне қарай күшті бәсеңдейді. Оны созылықы индикатриса параметрімен  $0 \leq g \leq 0.75$  жай сипаттауға болмайды. Бұл ерекшеліктер планетаның газды атмосферасында барлық қалыңдығында шамамен 8 бар деңгейіне дейін  $0 \leq g \leq 0.75$  концентрация өзгерісімен түсіндіріледі деген болжам айтылады.

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