

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 118 – 123

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

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

\* – [vdv1942@mail.ru](mailto:vdv1942@mail.ru)

**THE STUDY OF MOLECULAR ABSORPTION ON JUPITER IN  
VISIBILITY SEASON OF 2016  
III. GREAT RED SPOT (GRS)**

**Abstract.** Observations of Jupiter, carried out by the collaborators of the planetary laboratory in 2016 (during the period of its confrontation), allowed to obtain the distribution of methane and ammonia absorption along the South tropical zone of the planet (STRZ) and Great Red Spot (GRS). The main problem was to investigate the variations of "pure" ammonia absorption. Its decision required working out a new, more advanced, technique of observational data processing in order to isolate the ammonia bands which are blended with strong methane bands, from Jovian IR spectra. In the Great Red Spot region (located in STRZ) both methane and ammonia show absorption decrease. Excessive brightness in the GRS in relation to the adjacent undisturbed zone parts is well seen both in the 725, 861, 889 nm methane bands, and in the 643, 790 nm ammonia ones. This confirms the previously established fact: the ammonia distribution is irregular along the vertical. Our research has shown that this ammonia's feature is most notable just in the GRS region.

**Keywords:** Jupiter, Great Red Spot, methane, ammonia, absorption bands, infrared region.

УДК 523.45

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

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ  
НА ЮПИТЕРЕ В СЕЗОН ВИДИМОСТИ 2016 ГОДА  
III. БОЛЬШОЕ КРАСНОЕ ПЯТНО (БКП)**

**Аннотация.** Наблюдения Юпитера, проведенные силами планетной лаборатории АФИФ в 2016 г (в период его противостояния), позволили получить распределения метанового и аммиачного поглощения вдоль Южной тропической зоны планеты (STrZ) и Большого Красного Пятна (БКП, GRS). Основной задачей при этом было исследование вариаций «чисто» аммиачного поглощения. Ее решение потребовало дополнительных усилий, а именно - разработки нового, более совершенного, метода обработки наблюдательного материала с целью выделения аммиачных полос, blendируемых сильными полосами метана, из ИК спектров Юпитера. В районе Большого Красного Пятна (расположенного в STrZ) оба основных поглощающих газа (метан, и аммиак) показывают характерное ослабление поглощения. Хорошо прослеживается избыточная яркость БКП по отношению к соседним невозмущенным участкам зоны как в полосах метана 725, 861, 889 нм, так и в полосах аммиака 643, 790 нм. При этом подтверждается ранее установленный нами факт: аммиаку свойственна вертикальная неравномерность его распределения. Настоящие исследования показали, что эта его особенность наиболее заметным образом проявляется именно в районе БКП.

**Ключевые слова:** Юпитер, Большое Красное Пятно, метан, аммиак, полосы поглощения, инфракрасная область.

Ранее в одной из наших статей [1] мы обратили внимание на то, что, возможно, имеется некоторая динамическая связь между атмосферными потоками вокруг Большого Красного Пятна (БКП, GRS), неравномерностью его движения и «жизненным циклом» соседнего Южного экваториального пояса SEB.

По долготным меридиональным разверткам, представленным в Интернете [2] за 2002-2012 годы, нам удалось проследить дрейф БКП во второй системе координат Юпитера в течение 10-летнего периода и выявить тот факт, что за два года до драматических событий, связанных с осветлением SEB в 2010 году, равномерный дрейф БКП был нарушен. БКП длительное время, почти в течение года, в период с июля 2007 по июль 2008 оставалось практически на одной долготе, что подтверждается и результатами других авторов. В связи с этим нам представилось интересным проследить поведение БКП за последние пять лет.

Оказалось, что равномерность его движения за этот период не нарушалась, и скорость дрейфа БКП составила  $\sim 16.3^{\circ}$  в год (рис. 1).

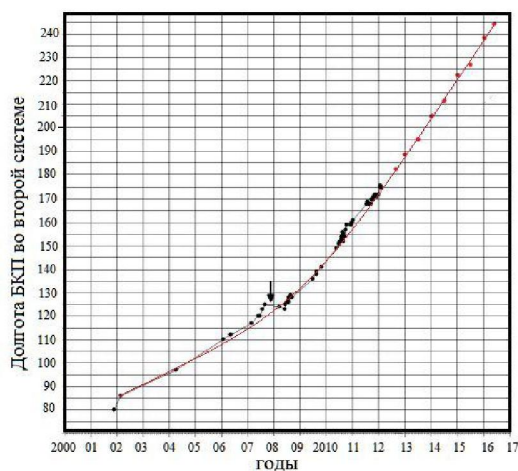


Рисунок 1 – Изменение долготы БКП по годам во 2-й системе долгот Юпитера с 2002 по 2016 годы

Так же, как и в 2014 году [4], в период противостояния Юпитера (03-05 марта 2016 г.), были проведены спектральные наблюдения планеты, значительная часть которых была приурочена к заранее рассчитанному времени прохождения БКП по диску Юпитера. Наши спектральные наблюдения Южной тропической зоны (STrZ) велись в течение 3 часов в момент прохождения БКП (GRS) по диску Юпитера от центрального меридиана до лимба.

Спектральная съемка осуществлялась двумя способами. Для получения спектрограмм с БКП при его перемещении от центрального меридиана к лимбу щель была ориентирована вдоль STrZ. Когда БКП проходило через центральный меридиан, записывались спектры при ориентации щели спектрографа вдоль центрального меридиана Юпитера. Для последующего отбора спектрограмм с БКП измерялись яркостные профили на спектрограммах поперек дисперсии в длине волны 889 нм, где Красное Пятно заметно выделяется своей яркостью.

Всего за сезон наблюдений было получено около 100 спектрограмм с Красным Пятном и окружающими его зонами. Для выявления особенностей самого Красного Пятна все спектрограммы проходили предварительный отбор по качеству изображения. Для начала выбирался профиль БКП с наибольшей яркостью в полосе поглощения  $\text{CH}_4$  889 в моменты его прохождения через центральный меридиан. Затем он сравнивался с двумя последующими по времени профилями. Если средний профиль Пятна давал яркость ниже, чем предыдущий и последующий, то он отбраковывался как не соответствующий хорошему качеству изображения.

Всего за две даты вблизи противостояния были промерены 56 спектрограмм STrZ с Красным Пятном. Из них были отобраны 37 спектрограмм, соответствующих наилучшему качеству изображения с охватом диапазона углов освещения и наблюдения  $\mu$  от максимального для данной широты ( $\mu=0.91$ ) до предельно регистрируемого ( $\mu=0.3$ ).

На рисунке 2 представлены спектральные особенности БКП по отношению к Южной Тропической Зоне (STrZ), а также фотометрические профили STrZ в непрерывном спектре и в полосе метана 889 нм в момент прохождения БКП через центральный меридиан, полученные по спектрограммам за 5 марта 2016 г. Хорошо прослеживается избыточная яркость БКП по отношению к соседним невозмущенным участкам зоны как в полосах метана 725, 861, 889 нм, так и в полосах аммиака 643, 790 нм. Полоса аммиака 790 нм блендируется полосой метана 770-820 нм. Процесс выделения полосы аммиака 790 нм в «чистом» виде описан нами в работе [3].

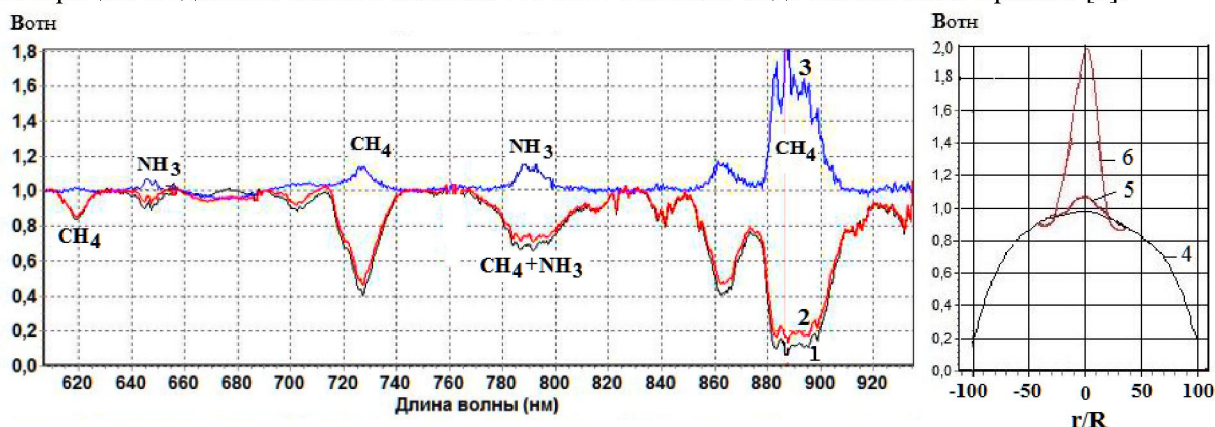


Рисунок 2 – На графике слева: 1 – профили полос поглощения метана и аммиака в центре Южной тропической зоны (STrZ), 2 – то же для БКП и 3 - отношение спектра БКП к спектру STrZ. Справа: 4 – разрез STrZ в непрерывном спектре (830 нм), 5 – в момент прохождения БКП через центральный меридиан (830 нм) и 6 – в полосе поглощения метана 889 нм

Как можно было судить по предварительным оценкам, БКП в центре полосы поглощения метана 889 нм в 1.6 раза ярче центра диска Юпитера и в 2 раза ярче STrZ. Для последующего сравнения записывались также серии спектрограмм STrZ в моменты отсутствия БКП на видимой стороне Юпитера и спектры светлой экваториальной области EZ, которые в процессе дальнейшей обработки использовались в качестве опорной области. По меридиональным разрезам определялись относительные яркости (по отношению к центру диска) всех облачных структур. Спектральные профили измерялись в полосе поглощения метана (889 нм) и в соседних с ней участках непрерывного спектра. Затем результаты измерений качественно сравнивались с результатами фотометрии лучших снимков Юпитера в тех же длинах волн, опубликованных на сайте [2].

Атмосферная турбулентция, как известно, несколько размывает изображения планеты во время съемок. Поэтому в процессе измерений спектрограмм и последующего построения профилей зоны и БКП, необходимо было учитывать это обстоятельство. Для этой цели была разработана специальная программа анализа профилей STrZ и Красного Пятна с учетом замытия. Она предусматривала сравнение исследуемого наблюдаемого профиля Зоны (с находящимся в ней Красным Пятном) с теоретически рассчитанным профилем Зоны. Последний рассчитывался для ряда значений коэффициента потемнения с добавлением к нему профиля Красного Пятна, яркость которого задавалась переменной. Следующий этап заключался в «замытии» теоретического профиля, например, гауссианой с переменным параметром *сигма* до тех пор, пока суммарный профиль не совпадал наилучшим образом с наблюдаемым. Описание программы дано в нашей работе [4].

В предыдущих статьях [5, 6] мы уже говорили, что более наглядную картину хода поглощения по диску планеты, на наш взгляд, отражают вариации остаточных интенсивностей полос поглощения  $V_v$ , которые можно представить в виде

$$V_v = I_v / I_c \sim \exp(-\tau^*),$$

где  $\tau^*$  можно рассматривать как некую функцию длины волны, которая в зависимости от выбранной модели отражает усредненную информацию о количестве молекул поглощающего газа в толще атмосферы исследуемого участка планеты.



По измерениям наших спектрограмм избыточная яркость Пятна в непрерывном спектре (630 нм) по отношению к STrZ не превышала 1.1, в то время как в глубокой полосе поглощения  $\text{CH}_4$  889 нм она достигала 2.0 в районе центрального меридиана. По серии спектрограмм Южной тропической зоны (STrZ), полученных нами 05.03.2016, удалось проследить изменение контраста и коэффициента потемнения БКП при его перемещении от центрального меридиана к краю диска, а также вариации метанового и аммиачного поглощения (рис. 3).

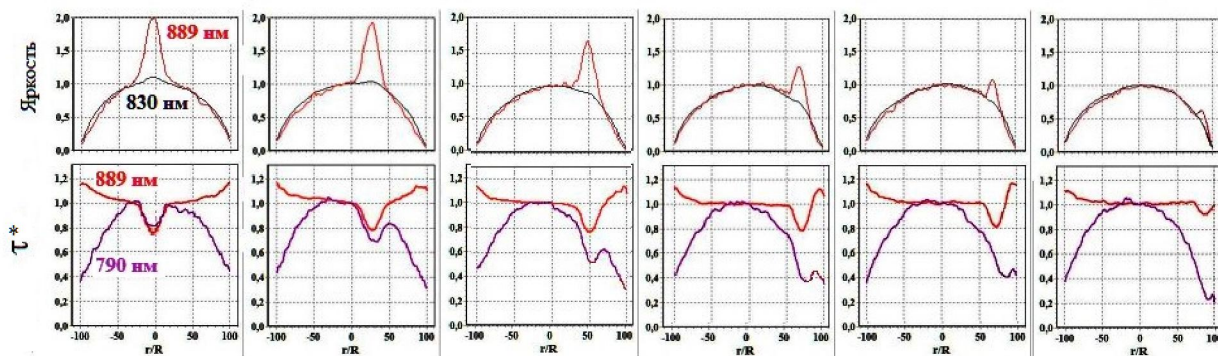


Рисунок 3 – Вверху – вариации хода относительной яркости БКП и STrZ в непрерывном спектре (830 нм) и в полосе поглощения метана (889 нм). Внизу – вариации интенсивности метанового (889 нм) и аммиачного (790 нм) поглощения в БКП при его перемещении по диску от центрального меридиана к лимбу планеты

Нельзя сказать, что результирующие профили относительной яркости БКП и вариации  $\tau^*$  весьма совершенны и точно отражают физику атмосферных процессов там. Тем не менее, анализируя эти профили, мы можем судить (возможно, только в первом приближении) о ходе их изменения с приближением к краю диска Юпитера и оценить коэффициент потемнения путем сравнения его с потемнением в невозмущенной части зоны формирования Красного Пятна. Из рисунка 3 хорошо видно, что в Пятне понижено поглощение как метана, так и аммиака, и это хорошо прослеживается при перемещении БКП от центрального меридиана до самого края диска.

Мы сочли полезным сравнить результаты наших спектральных профилей с результатами фотометрии лучших снимков Юпитера в непрерывном спектре ИК области (в полосе поглощения метана 889 нм), размещенных на сайте [2]. В последние годы нет недостатка в публикации таких изображений, которые могут способствовать исследованиям распределения поглощения метана по диску Юпитера, а в том числе и в Большом Красном Пятне. Нужно заметить, что получить высококачественные изображения Юпитера в полосе поглощения  $\text{CH}_4$  887 нм довольно трудно, так как яркость планеты в этой длине волны на порядок ниже, чем в непрерывном спектре. К тому же строгий критерий отбора снимков по качеству и моментам их получения вблизи противостояния планеты оставляет долю неуверенности в полученных результатах. Поэтому важно знать, насколько информация о распределении яркости по диску планеты, которую мы извлекаем из таких снимков, соответствует истине. Для этого мы сравнили профили STrZ (с Красным Пятном вблизи центрального меридиана), построенные по фильтровым снимкам, с результатами аналогичных разрезов в центре полосы поглощения  $\text{CH}_4$  889 нм и в непрерывном спектре (830 нм), которые были получены по нашим спектрограммам.

Анализ изображений проводился с помощью специально разработанной для этого программы, дающей возможность не только измерить ход яркости вдоль любой зоны диска, но и вывести оценки коэффициентов потемнения для нее. Программа "Определение коэффициентов потемнения", которая подробно описана нами в предыдущей статье [7], позволила получить разрезы STrZ в непрерывном спектре и в полосе поглощения  $\text{CH}_4$  889 нм в момент видимости БКП при разных его удалениях от центрального меридиана. Коэффициенты потемнения БКП в непрерывном спектре и в полосах поглощения определялись по результатам измерения яркости БКП в зависимости от углов освещения и наблюдения ( $\mu$ ). Результат приведен на рисунках 4 и 5.

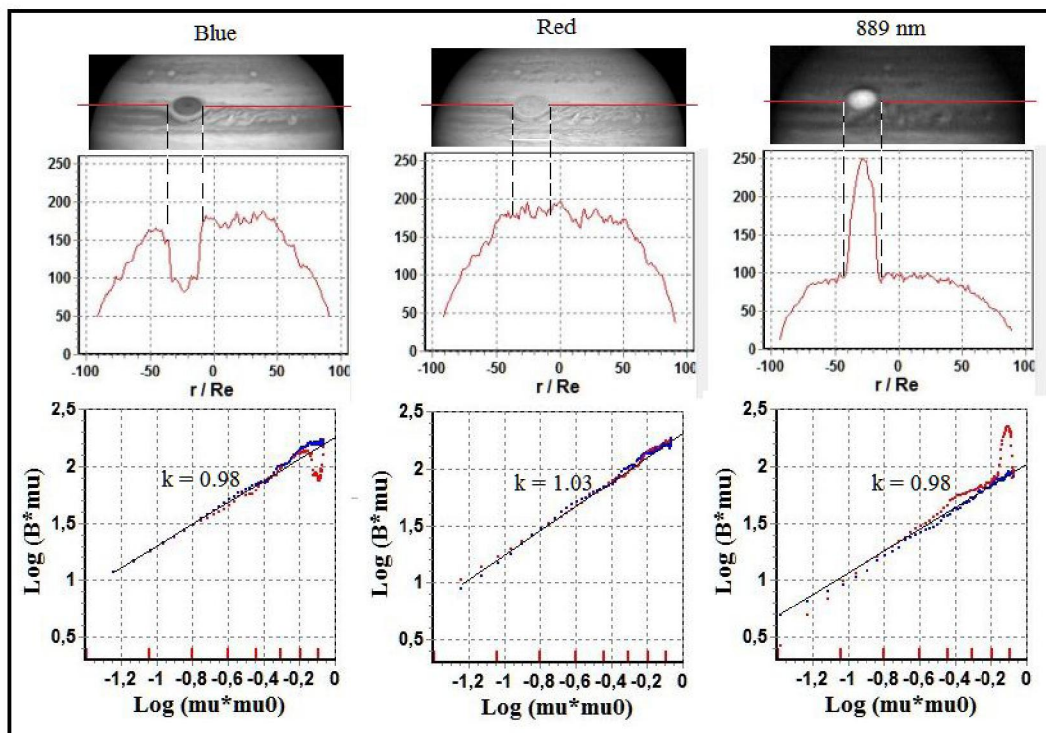


Рисунок 4 – Фотометрические профили STrZ с БКП в трех участках спектра. Blue – область аэрозольного поглощения, Red – область непрерывного спектра, 889 nm – центр сильной полосы поглощения метана

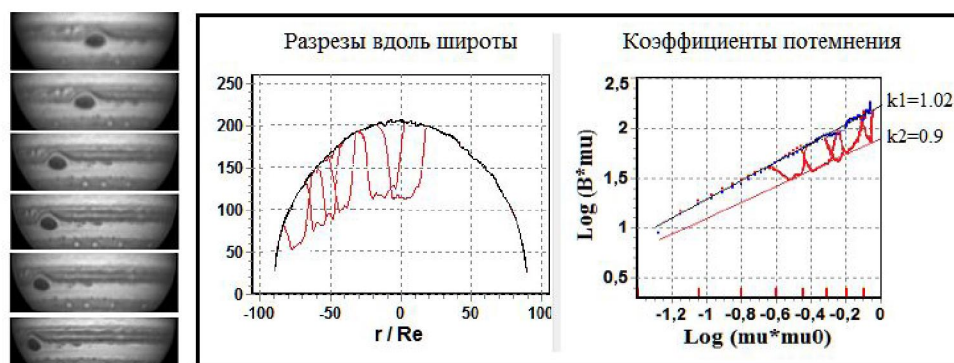


Рисунок 5 – Слева – фрагменты изображения Юпитера в синих (Blue) лучах [2, Marc Delcroix]. Справа – фотометрические разрезы STrZ с БКП и коэффициенты потемнения: k1 – для STrZ, k2 – для БКП

В таблице 1 приведены основные параметры облачного слоя в районе STrZ и в БКП

Таблица 1 – Основные параметры облачного слоя Юпитера в районе STrZ и в БКП

Область спектра	Параметр	STrZ	БКП
Red (660 нм)	$\rho_o$	0.81	0.85
	k	1.02	1.05
	g	0.20	0.25
	$\omega$	0.994	0.996
Blue (435 нм)	$\rho_o$	0.53	0.32
	k	1.02	0.90
	g	0.60	0.50
	$\omega$	0.980	0.925
CH <sub>4</sub> 889нм	$\rho_o$	0.057	0.114
	k	0.98	0.71
	g	0.20	0.25
	$\omega$	0.655	0.725
	$\tau$	0.17	0.11

По нашим оценкам, Большое Красное Пятно в 2016 году располагалось на ~9 км выше Южной тропической зоны.

Работа выполнена в рамках проекта №0073/ГФ4

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А. Вариации метана на Юпитере в полосе  $\text{CH}_4$  889 нм в 2009-2011 годах. // Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2013. №35. С. 99-103.  
[2] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>
- [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., Лысенко П.Г. Тейфель В.Г. Особенности Большого Красного Пятна на Юпитере в полосах поглощения метана. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2014. № 4. С. 77-84.
- [5] Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. I. Экваториальная область. //Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2016. № 5 (настоящий сборник).
- [6] 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.
- [7] 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).

#### REFERENCES

- [1] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. Investigation of methane-1. Vdovichenko V. D., Kirienko G. A. Variations of methane on Jupiter in the 889 nm band of  $\text{CH}_4$  in 2009-2011. // News NAN RK, series of physical-mathematical. – 2013. No. 35. P. 99-103 (in Russ.).  
[2] <http://zetta.jpn.ph/alpo/Latest/index.html>
- [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., Lysenko, P. G., Tejfel V. G. Features of the Great red Spot on Jupiter in methane absorption bands. // Izvestija NAN RK. The mathematics series. 2014. No. 4. P. 77-84 (in Russ.).
- [5] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. I. Equatorial region. // Izvestija NAN RK. The mathematics series. 2016. No. 5 (this volume) (in Russ.).
- [6] 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.).
- [7] Vdovichenko, V. D., Kirienko, G. A., Lysenko, P. G. A study of the molecular absorption on Jupiter in a season of 2016 visibility. II. Latitudinal variations. // Izvestiya NAN RK. The mathematics series. 2016. No. 5 (this volume) (in Russ.).

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

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

### 2016 ЖЫЛЫ ЮПИТЕРДІҢ КӨРІНЕРЛІК МЕЗГІЛІНДЕ ДИСКІ БОЙЫНША МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЖҰТЫЛУДЫ ЗЕРТТЕУ III. ҮЛКЕН ҚЫЗЫЛ ДАҚ (ҮКД)

**Аннотация.** 2016 жылы ФАФИ планета зертханасы күшімен жүргізілген Юпитер бақылауы (оның қарама-қарсы келу кезеңінде), планетаның Оңтүстік тропикалық аймағы бойында (STrZ) және Үлкен Қызыл Дақта (БКП, GRS) метан мен аммиактың жұтылуы таратылуын алуға мүмкіндік берді. Сонымен бірге негізгі міндет «таза» аммиакты жұтудың вариациясын зерттеу болды. Оның шешімі атап айтқанда Юпитердің ИҚ спектрінен метанның күшті жолақтарымен араласқан аммиак жолағын бөлу мақсатымен бақылау материалдарын өңдеу әдісінің айтарлықтай жетілдірілген жаңа өңдеуін дайындау сияқты қосымша күшті талап етті. Үлкен Қызыл Дақ ауданында (STrZ-де орналасқан) екі негізгі газ жұрушы (метан, және аммиак) жұтудың сипатты әлсізденуін көрсетеді. 725, 861, 889 нм метан жолақтарындағы, сонымен және 643, 790 нм аммиак жолақтарындағы сияқты көрші аутқымаған аймақ аумақтары қатынастары бойынша ҮКД артық жақсы бақыланады. Сонымен қатар біз алдында белгілеген факт дәлелденеді: аммиакқа оның таралуының вертикалды әркелкілігі тән. Осы зерттеу оның осы ерекшелігі айтарлықтай айқын түрде нақ ҮКД аумағында көрінетінін көрсетті.

**Түйін сөздер:** Юпитер, Үлкен Қызыл Дақ, метан, аммиак, жұту жолақтары, инфрақызыл аймақ.