

УДК 523.45:523.035.332.3

А. П. Видьмаченко

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

Сезонные изменения на Юпитере.**1. Показатель активности полушарий**

Для обнаружения временных вариаций характеристик облачного слоя Юпитера мы учитывали геометрическую модуляцию, вызываемую вращением планеты, и ее движение по орбите. Наклон оси вращения Юпитера к плоскости орбиты составляет 3.13° , угол между магнитной осью и осью вращения 10° . За юпитерианский год магнитное ювицентрическое склонение Земли δ_m изменяется в пределах от -13.13° до $+13.13^\circ$, и подсолнечная точка на магнитосфере Юпитера за один орбитальный период сдвигается на 26.26° . В связи с этим вариации ювимагнитной широты Земли на Юпитере будут иметь предпочтительное влияние при солнечно-обусловленных изменениях отражательных свойств облачности Юпитера и надоблачной дымки. Из-за эксцентricности орбиты ($e = 0.048450$) северное полушарие получает почти на 21 % больший приток солнечной энергии к атмосфере, поскольку в близкий к летнему солнцестоянию момент Юпитер находится в перигелии. Результаты наших исследований показали, что отношение A_j яркости северной и южной тропических и умеренных поясов служит наглядным показателем фотометрической активности атмосферных процессов на Юпитере. Анализ наблюдений 1962—2015 гг. обнаружил цикличность изменений показателя активности A_j с периодом около 11.86 лет, что позволило нам говорить о сезонной перестройке атмосферы Юпитера.

СЕЗОННІ ЗМІНИ НА ЮПІТЕРІ. 1. ПОКАЖЧИК АКТИВНОСТІ ПІВКУЛЬ, Видьмаченко А. П. — Для виявлення варіацій характеристик хмарового шару Юпітера ми брали до уваги спричинену обертанням геометричну модуляцію освітлення планети і враховували її рух по орбіті. Нахил осі обертання Юпітера до площини орбіти становить 3.13° , кут між магнітною віссю і віссю обертання 10° . За юпітеріанський рік магнітне ювіцентричне схилення Землі δ_m змінюється від -13.13° до $+13.13^\circ$, і підсонячна точка на магнітосфері Юпітера

за один орбітальний період зміщується на 26.26 . У зв'язку з цим варіації йовімагнітної широти Землі на Юпітері матимуть переважний вплив при сонячно-обумовлених змінах відбивних властивостей хмар Юпітера і серпанку над хмарами. Через ексцентричність орбіти ($e = 0.048450$) північна півкуля отримує майже на 21 % більший приплив сонячної енергії до атмосфери, оскільки у близький до літнього сонцестояння момент Юпітер перебуває у перигелії. Результати наших досліджень показали, що відношення A_j яскравості північних і південних тропічних і помірних поясів є наочним показником фотометричної активності атмосферних процесів на Юпітері. Аналіз спостережень 1962—2015 рр. виявив циклічність змін показника активності A_j з періодом близько 11.86 р., що дозволяє говорити про сезонну перебудову атмосфери Юпітера.

SEASONAL CHANGES ON JUPITER. 1. THE FACTOR ACTIVITY OF HEMISPHERES, by Vidmachenko A. P. — To identification of temporal variations of the characteristics of the Jupiter's cloud layer we take into account the rotation of the planet caused by geometrical modulation, and its orbital motions. Inclination of the axis of rotation to the orbital plane of Jupiter is 3.13° , the angle between the magnetic axis and the axis of rotation

10 . Therefore, during the Jovian year Jovicentric magnetic declination of the Earth j_m varies from -13.13° to $+13.13^\circ$ and under-the-Sun point on Jupiter's magnetosphere is changed to 26.26 per orbital period. In this connection variation of Jovimagnetic latitude of the Earth on Jupiter will be a preferably on the influence of solar-driven changes of cloud's reflective properties and above clouds haze on Jupiter. Because of the orbit eccentricity ($e = 0.048450$) northern hemisphere obtains on 21 % greater of solar energy flow to the atmosphere, because Jupiter is in perihelia in close to the time of the summer solstice. Results of our studies showed that the ratio of the brightness of the northern and southern tropical and temperate regions A_j is evident factor of the photometric activity of the Jupiter's atmospheric processes. The obtained from the analysis of observational data for the period from 1962 to 2015, the existence of variations of factor activity A_j of the planet hemispheres with a period of 11.86 years, have allowed us to talk about the existence of the seasonal reconstruction of Jupiter's atmosphere.

ВВЕДЕНИЕ

Планеты со значительным наклоном экватора к плоскости орбиты испытывают ощутимое различие притока солнечной энергии к разным широтам за время их обращения вокруг Солнца. Это способствует проявлению в атмосферах сезонных изменений оптических и физических характеристик [1, 2, 4—7, 49, 51—55, 57—65]. Для Юпитера этому факту обычно не уделялось значительного внимания, поскольку наклон его оси вращения к плоскости орбиты составляет всего

3.13 . Для обнаружения возможных временных вариаций характеристик облачного слоя Юпитера в работах [60, 65] мы предложили принимать во внимание геометрическую модуляцию притока солнечного излучения, вызываемую вращением планеты и учитывать ее движения по орбите. В связи с этим в изменении отражательной способности атмосферы Юпитера и деталей его диска должны проявиться экстремумы за один орбитальный период обращения планеты вокруг Солнца [58]. Из-за того что магнитосфера Юпитера намного мощнее земной, а проявление солнечного магнитного 22-летнего цикла в геоатмосферных процессах значительно более выражено, чем 11-летнего, вполне вероятно, что и на Юпитере вариации ювимагнитной широты Земли m будут иметь предпочтительное влияние по сравнению с ювицентрической широтой E при солнечно-обусловленных изменениях отражательных свойств облачности Юпитера и надоблачной дымки. Ювимагнитную широту Земли можно вычислить по формуле $m = E + \cos(\theta_0)$, где θ_0 — угол между магнитной осью и осью вращения Юпитера, θ — текущее значение долготы, θ_0 — долгота северного магнитного полюса планеты. Поскольку j_E изменяется от -3.13 до $+3.13$ за юпитерианский год, m изменяется за этот же период времени в пределах $-13.13...+13.13$. Тогда подсолнечная точка на магнитосфере Юпитера за один орбитальный период сдвигается на 26.26 . И это уже заметная величина для возможного проявления сезонных изменений в атмосфере Юпитера [58]. Из-за эксцентricности орбиты ($e = 0.048450$) северное полушарие получает почти на 21 % больший приток солнечной энергии к атмосфере Юпитера [24], поскольку в близкий к летнему солнцестоянию момент находится в перигелии.

Результаты наших исследований [4—7, 54—56, 61, 59—63, 65] показали, что отношение A_j яркости северной и южной тропических и умеренных областей является наглядным показателем фотометрической активности атмосферных процессов на Юпитере. А обнаруженные долгопериодические колебания показателя активности A_j полушарий планеты с периодом около 11.86 лет позволяют нам говорить о сезонной перестройке физических параметров атмосферы Юпитера [52, 60, 65]. В настоящей работе представлены результаты анализа выполненных нами в 1977—1995 гг. наблюдений Юпитера, дополненные многочисленными данными, полученными многими исследователями в 1962—2015 гг.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЮПИТЕРА

Напомним несколько фактов из нашей работы [60] относительно вариаций глобальных отражательных характеристик Юпитера. В работах [16, 19, 25, 26, 37, 38] было указано на наличие определенных циклов с периодами от 3 до 25 лет изменения блеска Юпитера. Данные об

определении интегральной звездной величины планеты до 1933 г. [9], дополненные результатами работ [10, 29] и нашими наблюдениями [51, 58], позволили подготовить для анализа 255 индивидуальных измерений диска Юпитера в полосе V . Точность определения абсолютной звездной величины планеты по нашим данным с привязкой к фотометрическому стандарту α Луг во все годы была лучше 2 % и от 1 до 15 % по данным работ [9, 10, 29]; при этом внутренняя погрешность каждой из серий измерений всегда оставалась меньше 4 %.

В работе [60] для анализа мы использовали эти индивидуальные оценки звездной величины Юпитера M , полученные в период с 1862 по 1991 гг.; усреднение за год проводилось по 5—17 отдельным наблюдениям. Сравнение данных о ходе изменения блеска M Юпитера с числами Вольфа W , характеризующими вариации активности процессов на Солнце, показало, что изменение M имеет экстремумы в максимумах солнечной активности: минимумы для нечетных и максимумы для четных циклов [60]. То есть, в изменении блеска Юпитера в видимом свете значительно нагляднее проявлялся не 11-летний цикл солнечной активности, а 22-летний хейловский магнитный цикл.

Применив к совокупности имеющихся измерений нашу подробно описанную в работе [57] и опробованную в [45] программу спектрального анализа фотометрических рядов наблюдательных данных по методу максимума энтропии, мы обнаружили в изменении визуального блеска Юпитера наличие периодических составляющих с такими значениями периодов: с достоверностью лучше 95 % $T_1 = 23.9_{-1.0}^{1.4}$, $T_2 = 22.1_{-0.9}^{1.3}$, лучше 90 % $T_3 = 11.88_{-0.6}^{0.8}$, $T_4 = 11.1_{-0.5}^{0.7}$ и $T_5 = 3.4_{-0.2}^{0.3}$ лет [55]. То есть, нами было обнаружено проявление удвоенного значения орбитального периода (23.9 лет), самого орбитального периода (11.88 лет) и периодов солнечной активности, характеризующихся изменением чисел Вольфа W ($T_2 = 22.1$ и $T_4 = 11.1$ лет). Причем в поведении интегрального блеска Юпитера в визуальном участке спектра со временем значительно более выражено проявляется именно хейловский магнитный цикл солнечной активности. К тому же мы подтвердили значение периодической составляющей $T_5 = 3.4$ лет [16, 25, 26, 37, 38] в изменении фотометрических характеристик атмосферы Юпитера; оно может быть объяснено суперпозицией одной из следующих двух пар частот: $\omega_5 = \omega_1 + \omega_4$ и $\omega_5 = \omega_2 + \omega_3$.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АКТИВНОСТИ ПОЛУШАРИЙ ЮПИТЕРА

Солнечная активность должна глобально влиять на планету. Это мы и наблюдаем по характеру изменения интегрального блеска Юпитера в видимом свете [60]. Но сезонные циклы должны проявиться в попеременном изменении оптических свойств южного и северного полушарий планеты. Из просмотра полученных в разные годы многочисленных изображений Юпитера видна изменчивость активности процессов как на всей планете, так и отдельно в северном и южном полу-

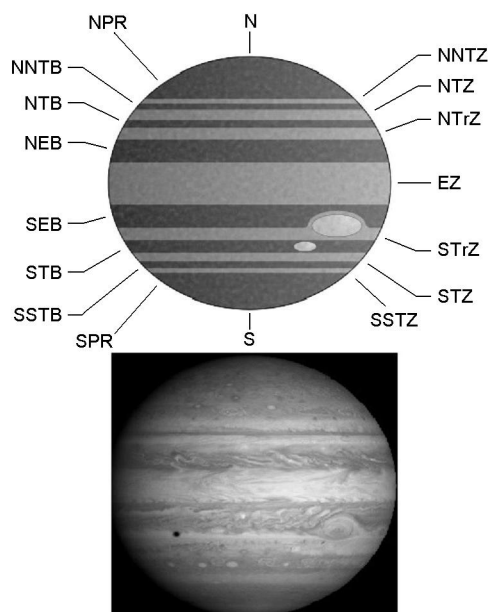
шариях. Для оценки относительного количества темного вещества на диске Юпитера как некоторого фотометрического фактора атмосферной активности, в работе [19] была предложена некоторая величина R_a , определяемая по фотометрическому профилю центрального меридиана. Было найдено, что характер изменения имеет приблизительно циклический характер с периодами 17—23 лет, анализ указал также на возможную девятилетнюю цикличность показателя активности для северного и южного полушарий.

В 1980-х гг. мы проанализировали данные об относительном распределении яркости вдоль центрального меридиана Юпитера, используя приведенную в наших работах [49, 59] для Сатурна методику. Сейчас мы взяли данные из работ [1—15, 17—44, 46—49, 51—68] и дополнили нашими наблюдательными данными, полученными с 1979 по 1995 год. За последние несколько десятков лет любители астрономии активно подключились к получению изображений Юпитера с помощью малых телескопов (см. сайты <http://kardasis.weebly.com/>, <http://obs.nineplanets.org/obs/obslist.html>, <http://www.acquerra.com.au/astro/gallery/jupiter/index.live> и др.). Для анализа мы отобрали около 270 фотографий планеты удовлетворительного качества, полученных в видимом спектральном диапазоне с 1960-х по 2015-й гг. Мы их оцифровали и получили фотометрические сканы вдоль центрального меридиана от южного до северного полюса; затем все сканы нормировали на яркость самой светлой детали и привели к одинаковому линейному размеру.

Предварительный анализ полученных таким образом результатов показал [52, 58, 60, 65], что во все исследуемые годы наибольшие вариации отражательных свойств происходили в экваториальной (EZ) и в южной и северной тропических (STrZ, NTrZ) и умеренных зонах и поясах. То есть, облачный слой попеременно становился самым светлым на диске именно на широтах, где располагаются тропические и умеренные зоны и полосы. В упомянутых работах мы использовали отношение яркости двух тропических зон $A = \text{BNTTrZ}/\text{BSTTrZ}$ в качестве наглядного фактора активности процессов, происходящих в атмосфере Юпитера. Это было обусловлено тем, что фотометрические наблюдения мы проводили с помощью круглой диафрагмы диаметром около 2". Но, как видно из рис. 1 (сверху), границы зон и полос в обоих полушариях редко совпадают с показанным на рис. 1 (внизу) их расположением. Поэтому мы попытались методом подбора выбрать границы широтных поясов, которые следует использовать для вычисления параметра активности A_j за исследуемый период времени.

На рис. 2 приведен пример построения трех сканов центрального меридиана Юпитера. Для всех 270 фотометрических сканов центрального меридиана Юпитера мы взяли оцифрованные нормированные значения относительной интенсивности (I/I_{\max}) в некотором диапазоне широт для южной и северной кромки тропических и умеренных областей в обоих полушариях и проинтегрировали его; затем привели к одинаковому пространственному участку (по широте и долготе) на

Рис. 1. Сверху — схема расположения облачных поясов — зон и полос Юпитера (https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Jupiter). Внизу — одно из изображений Юпитера, полученное в 2013 г.



видимой поверхности облачного слоя планеты и вычислили отношение яркости его северной к южной части. Подбор широты кромок варьировался в пределах значений $0.20...0.65$ полярного радиуса Юпитера R от экватора до полюсов планеты, на которых в разные годы находились края кромок светлых тропических и умеренных широтных поясов в обоих полушариях. Наиболее подходящее значение границ кромок находилось по методу наименьших квадратов по наилучшему согласию получаемого результата с некоторой периодической кривой (синусоидой). Вычисления дали такие величины: значение периода синусоиды 11.91 ± 0.07 земных лет; значения кромок светлых широтных поясов $(0.35...56)R$ в южном и $(0.30...51)R$ в северном полушарии. Полученная асимметрия вызвана, скорее всего, наличием в южном полушарии Большого Красного Пятна; именно оно, по-видимому, несколько сдвигает светлые пояса в южном полушарии к полярной области.

Вычисленные значения величины A_j показаны на рис. 3 точками. Звездочками отмечены моменты прохождения Юпитера через перигелий орбиты на расстоянии около 4.96 а. е. от Солнца, которые практически совпадают с моментом летнего солнцестояния для северного полушария планеты; эти моменты были в 1963.8, 1975.6, 1987.5, 1998.7, 2010.6 гг.; штрихпунктирной линией показана периодическая кривая, аппроксимирующая результаты вычислений. Практически в эти же или близкие к ним моменты времени усредненная кривая зависимости $A_j(T)$ проходила через минимумы своих значений. При этом светлые тропические и умеренные широтные зоны в южном полушарии (STrZ, STZ) были ярче, чем соответствующие детали в северном полушарии на $12...16\%$ в 1963, 1974—1976, 1985—1987, 2000 (кратковременно, менее года), 2007.2—2008 гг. и на $20...25\%$ в

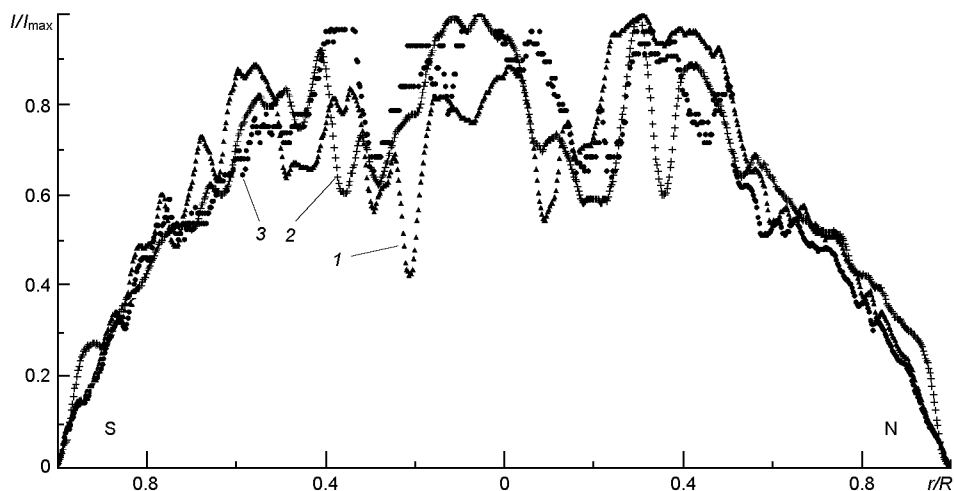


Рис. 2. Нормированные сканы центрального меридиана Юпитера по трем изображениям планеты, полученным в разные даты: 1 — 10 января 1979 г., 2 — 13 февраля 1995 г., 3 — 6 октября 2000 г.

2010 г. (когда светлым было все южное полушарие) — 2013.8 г. То есть, минимальные отношения яркости северного и южного тропических и умеренных поясов имело место в моменты, близкие ко времени, когда при лете в северном полушарии Юпитер находился в перигелии на минимальном расстоянии до Солнца. В это время северное полушарие планеты максимально нагревалось Солнцем и становилось темнее.

В 1969, 1981, 1993, 2004.5 и 2015 гг., когда Юпитер проходил через афелий своей орбиты, светлые тропические и умеренные широтные зоны (NTrZ, NTZ на рис. 1) были ярче в северном полушарии по сравнению с аналогичными южными широтами (до 14 % в 1968—1970 и 1979—1981 гг., на 7 % в 1991—1994 гг., на 10 % в 2003.6—2005.2 гг., на 6 % после 2014 г.). Темные тропические и умеренные пояса (NEB, NTrB) были темнее и насыщеннее в северном полушарии, чем аналогичные пояса в южном полушарии почти всегда в эти же годы: 1967.1, 1979.1, 1991.8, 1994.6, 2000.7—2002.2, 2005.1, 2007—2009.3, 2010.4—2011.25, 2012.7—2012.9 гг.

Как следует из рис. 3, изменение введенного нами фактора активности полушарий Юпитера A_j с 1960 почти до 1995 г. довольно хорошо согласуется с периодической кривой с периодом около 11.91 лет. В 1998—2015 гг. эта симметричность несколько нарушается. Так, немного «выпадают» из таких квазипериодических изменений результаты обработки наблюдений, полученных с 1998 по 1999.8 гг., когда вычисленный нами фактор активности был $A_j = 1$ вместо ожидаемого его уменьшения с минимумом в конце 1998 года; и лишь в самом конце 1999 и до середины 2000 г., в момент, близкий к осеннему равноденствию для северного полушария, фактор активности A_j на несколько месяцев резко уменьшился почти до значения 0.83 из-за осветления южных широт. Но затем его величина снова восстановилась до

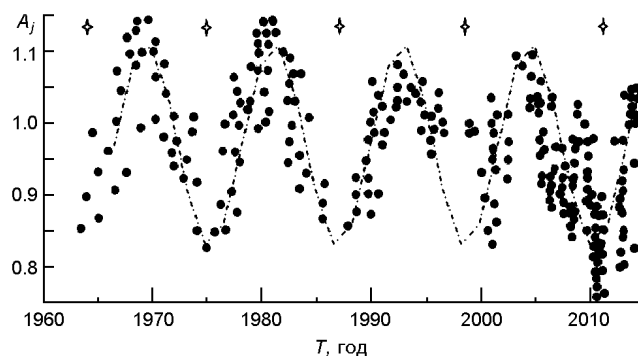


Рис. 3. Изменение фактора активности полушарий Юпитера A_j со временем

прогнозируемых значений, и в 2001 г. вычисленные значения A_j стали снова соответствовать усредненной зависимости.

Кроме того, можно отметить особенность, когда в середине 2007 г. значение фактора активности A_j также резко уменьшилось, и на протяжении двух месяцев достигало значения 0.82. Но уже в начале 2008 г. яркость обоих полушарий стала практически одинаковой, хотя по характеру возможных изменений яркость северных широт должна бы уменьшаться, а южных — увеличиваться. При этом светлая зона NTrZ в 2008.2 г. и особенно в 2009.3 г. была хоть и узкой, но самой яркой деталью на диске; и так практически до момента 2010.3 г. Все это происходило возле весеннего для северного полушария равноденствия.

С середины 2009 г. северное полушарие стало темнеть, преимущественно за счет потемнения в NEB и NTrB. В это время Юпитер прошел весеннее равноденствие и стал приближаться к перигелию при лете в северном полушарии в 2010.6. На протяжении всего 2010 г. все южное полушарие постепенно становилось все светлее, и значение фактора активности достигло ожидаемого минимума, хотя и со значением $A_j = 0.75$, которое на 10...12 % меньше, чем во все четыре предыдущие моменты минимумов значений A_j . Причем в этот момент все южное полушарие было очень светлое. Отметим, что в конце 1990-х гг. Юпитер шел к перигелию с летом в северном полушарии в 1998.7 г. Но северное полушарие не становилось темнее, а южное — не становилось светлее, и до конца 1999.9 г. показатель активности равнялся $A_j = 1$, когда количество темного вещества было практически одинаковым в обоих полушариях. После лета в северном полушарии в 1998.7 г., в 2000—2002 гг. Юпитер двигался к осеннему равноденствию. В 1969—1970, 1980—1981 гг. северное полушарие в афелии минимально нагревалось Солнцем и становилось светлее. В 1993 г. Юпитер снова находился в афелии и был наклонен к Солнцу южным полушарием. В 2005 г. Юпитер прошел афелий и двигался к перигелию в 2010.8 г.

Таким образом, максимальное значение A_j почти всегда совпадает с максимальным расстоянием Юпитера до Солнца (в афелии) в 1969, 1981, 1993, 2004.5, 2015 гг. при его наименьшем нагреве, особенно южного полушария. А минимальное значение A_j практически всегда имело место в моменты времени, близкие или совпадающие с нахождением Юпитера на минимальном расстоянии до Солнца (в перигелии) в 1963.8, 1975.6, 1987.5, 1998.7 и 2010.6 гг. при максимальном нагреве планеты, и особенно его северного полушария.

Важным является то, что изменение расстояние до Солнца сильнее сказывается на более глубоких слоях в атмосфере (нижняя и средняя тропосфера), где радиационная временная постоянная значительная (годы). Но сильное увеличение (до 21 %) облучения Юпитера солнечным светом при прохождении перигелия (при лете в северном полушарии) и уменьшение облучения при прохождении афелия (при лете в южном полушарии) орбиты дает наблюдаемую картину попеременного квазипериодического изменения яркости тропических и умеренных широтных поясов в видимом свете только при совместном воздействии вариаций облучения всей планеты Солнцем и селективного влияния солнечной активности на разные полушария.

ВЫВОДЫ

Таким образом, отношение A_j служит наглядным показателем активности атмосферных процессов на Юпитере. Анализ полученных результатов указывает на цикличность долгопериодических колебаний показателя активности A_j полушарий планеты с периодом около 11.91 лет. Это значение практически совпадает с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца. То есть, имеет место попеременное увеличение яркости то северных, то южных тропических и умеренных широтных поясов за один период обращения Юпитера вокруг Солнца. Такое периодическое изменение яркости и усиление активности разных полушарий планеты может указывать на то, что в атмосфере происходит периодическая глобальная перестройка всей системы циркуляции, структуры облачных слоев и надоблачной дымки. Это позволяет нам говорить о корреляции наблюдаемых вариаций отражательных свойств исследуемых деталей диска Юпитера, с изменением наклона оси вращения планеты и/или его магнитного поля к плоскости орбиты, т. е. о процессе сезонной перестройки в атмосфере Юпитера.

При этом отклик видимой атмосферы на изменение планетоцентрического склонения Солнца происходит не мгновенно, а с существенным (десяток лет) запаздыванием.

1. Видьмаченко А. П. Электрофотометрия Сатурна. I. Распределение яркости вдоль экваториальных областей в спектральном диапазоне 0.3—0.6 мкм // Астрометрия и астрофизика.—1982.—Вып. 47.—С. 70—75.
2. Видьмаченко А. П. Электрофотометрия Сатурна. II. Спектральное распределение яркости вдоль центрального меридиана // Астрометрия и астрофизика.—1984.—Вып. 51.—С. 56—62.

3. *Видьмаченко А. П.* Планеты-гиганты: теоретические и наблюдательные аспекты // *Астрон. вестник.*—1991.—**25**, № 3.—С. 277—292.
4. *Видьмаченко А. П.* Сезоны на Сатурне. I. Изменение отражательных характеристик атмосферы в 1964—2012 // *Вісник астрон. школи.*—2015.—**11**, № 1.—С. 37—42.
5. *Видьмаченко А. П.* Сезоны на Сатурне. II. Влияние солнечной активности на изменение метанового поглощения // *Вісник астрон. школи.*—2015.—**11**, № 2.—С. 133—142.
6. *Видьмаченко А. П.* Сезонные изменения отражательных характеристик Сатурна за 4 сатурнианских момента равноденствия // 17 Міжнар. наук. конф. «Астрономічна школа молодих вчених»: Програма і тези доп. — Київ, Житомир, 2015.—С. 10—14.
7. *Видьмаченко А. П.* Влияние солнечной активности на сезонные изменения метанового поглощения на Сатурне // 17 Міжнар. наук. конф. «Астрономічна школа молодих вчених»: Програма і тези доп. — Київ, Житомир, 2015.—С. 14—16.
8. *Гайсин С. М.* Фотоэлектрическая спектрофотометрия Юпитера в 0.32—0.60 мкм // *Тр. Астрофиз. ин-та АН Каз. ССР.*—1979.—№ 35.—С. 35—65.
9. *Гаррис Д. Л.* Интегральная фотометрия и колориметрия планет и спутников // *Планеты и спутники.* — М.: Мир, 1967.—С. 241—305.
10. *ДеВокулер Ж.* Фотометрия поверхностей планет // *Планеты и спутники.* — М.: Мир, 1975.—С. 267—366.
11. *Дементьев М. С., Морозенко А. В.* Зоны и полосы диска Юпитера. Различие в вертикальной структуре облачных слоев // *Астрон. вестник.*—1990.—**24**, № 4.—С. 275—287.
12. *Клименко В. М.* Многоцветная фотометрия деталей диска Юпитера. II. Абсолютная отражательная способность // *Астрон. вестник.*—1980.—**14**, № 3.—С. 148—153.
13. *Клименко В. М.* Результаты исследований отражательной способности деталей диска Юпитера в период 1977—1979 гг. // *Физика планетных атмосфер.* — Киев: Наук. думка, 1981.—С. 63—91.
14. *Кругов В. Д.* Временные вариации ультрафиолетового поглощения в непрерывном спектре Юпитера и Сатурна // *Астрон. вестник.*—1976.—**6**, № 3.—С. 168—171.
15. *Морозенко А. В.* Зоны и полосы диска Юпитера. Надоблачный слой // *Астрон. вестник.*—1990.—**24**, № 3.—С. 211—220.
16. *Рубашев Б. Ш.* Проблемы солнечной активности. — М. Л. : Наука, 1964.—563 с.
17. *Саламахина Т. И., Сорокина Л. П.* Факторы активности Юпитера в 1976—1977 гг. // *Тр. Астрофиз. ин-та АН Каз ССР.*—1979.—№ 35.—С. 66—71.
18. *Смит Б., Хант Дж.* Движение и морфология облаков в атмосфере Юпитера // *Юпитер.* — М.: Мир, 1979.—Т. 2.—С. 433—459.
19. *Сорокина Л. П.* Максимальные контрасты на диске Юпитера в 1962—1968 гг. // *Астрон. циркуляр.*—1973.—№ 749.—С. 4—7.
20. *Тейфель В. Г.* Морфология молекулярного поглощения на диске Юпитера // *Юпитер.* — М.: Мир, 1979.—Т. 2.—С. 292—341.
21. *Фесенков В. Г.* Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос // *Изв. Астрофиз. ин-та. АН Каз. ССР.*—1955.—**1**, № 1-2.—С. 239—251.
22. *Vanos C. J.* Contribution to the study of the Jupiter's atmosphere // *Icarus.*—1971.—**15**, N 1.—P. 58—67.
23. *Beebe R. F., Orton G. S., West R. A.* Time-variable nature of the Jovian cloud properties and thermal structure // Time variable phenomena in the Jovian system. — Washington: NASA, 1989.—P. 245—296.
24. *Beebe R. F., Suggs R. M., Little T.* Seasonal north-south asymmetry in solar radiation incident on Jupiter's atmosphere // *Icarus.*—1986.—**66**, N 2.—P. 359—365.
25. *Focas J. H.* Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963 // *Icarus.*—1971.—**15**, N 1.—P. 56—57.

26. *Focas J. H., Banos C. J.* Photometric study of the atmospheric activity on the planet Jupiter and peculiar activity in the equatorial area // *Ann. Astrophys.*—1964.—**27**.—P. 36—45.
27. *Hall J. S., Rilley L. A.* A photometric study of Saturn and its rings // *Icarus.*—1974.—**23**, N 1.—P. 144—156.
28. *Hays D. L., Latham D. A., Hays S.* Measurements of the monochromatic flux from Vega // *Astrophys. J.*—1975.—**197**, N 3, part 1.—P. 587—592.
29. *Irvin V. M., Simon T., Menzel D. H.* Multicolor photoelectric photometry of the brighter planets. II. Observation from Le Houga Observatory // *Astron. J.*—1968.—**73**, N 4.—P. 251—264.
30. *Irvin V. M., Simon T., Menzel D. H.* Multicolor photoelectric photometry of the brighter planets. III. Observation from Boyden Observatory // *Astron. J.*—1968.—**73**, N 8.—P. 807—823.
31. *Kostiuk T., Espenak F., Mumma M. J., et al.* Variability of methane on Jupiter // *Icarus.*—1982.—**72**, N 2.—P. 394—410.
32. *Orton G. S.* Spatially resolved absolute spectral reflectivity of Jupiter: 3390—8400 Å // *Icarus.*—1975.—**26**, N 1.—P. 159—174.
33. *Orton G. S., Yanamandra-Fisher P. A., Caldwell J., et al.* Spatial organization and time dependence of Jupiter's tropospheric temperatures, 1980—1993 // *Science.*—1994.—**265**.—P. 625—631.
34. *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.
35. *Peek B. M.* The planet Jupiter. — London: Faber and Faber, 1958.—456 p.
36. *Pilcher C. B., McCord T. B.* Narrow-band photometry of the bands of Jupiter // *Astrophys. J.*—1971.—**165**.—P. 195—201.
37. *Prinz R.* The atmospheric activity of the planet Jupiter. I. From 1964 to 1968 in yellow light // *Icarus.*—1971.—**15**, N 1.—P. 68—73.
38. *Prinz R.* The atmospheric activity of the planet Jupiter. II. Short-term variations in five spectral ranges // *Icarus.*—1971.—**15**, N 1.—P. 73—79.
39. *Reese E. J.* Jupiter's Red Spot in 1968—1969 // *Icarus.*—1970.—**12**, N 2.—P. 249—257.
40. *Reese E. J.* Jupiter: its Red Spot and other features in 1969—1970 // *Icarus.*—1971.—**14**, N 3.—P. 343—354.
41. *Reese E. J.* Jupiter: its Red Spot and disturbances in 1970—1971 // *Icarus.*—1972.—**17**, N 1.—P. 57—72.
42. *Reese E. J., Smith B. A.* A rapidly moving spot on Jupiter's North Temperate Belt // *Icarus.*—1966.—**5**, N 3.—P. 248—257.
43. *Reese E. J., Smith B. A.* Evidence of vorticity in the Great Red Spot of Jupiter // *Icarus.*—1968.—**9**, N 3.—P. 474—486.
44. *Reese E. J., Solberg H. G.* Recent measures of the latitude and longitude of Jupiter's Red Spot // *Icarus.*—1966.—**5**, N 3.—P. 266—273.
45. *Rozenbush V. K., Rspaev F. K., Churyumov K. I., Vidmachenko A. P., Gorodetskii D. I.* Variations of the rates of gas and dust production in comet Halley // *Sov. Astron. Lett.*—1989.—**15**, N 2/MAR-APR.—P. 155.
46. *Sanchez-Lavega A., Rodrigo R.* Ground-based observations of synoptic cloud systems in southern equatorial to temperate latitudes of Jupiter from 1975 to 1983 // *Astron. and Astrophys.*—1985.—**148**.—P. 67—78.
47. *Solberg H. G.* A 3-month oscillations in the longitude of Jupiter's red spot // *Planet. Space Sci.*—1969.—**17**.—P. 1573—1580.
48. *Solberg H. G.* Jupiter's Red Spot in 1966—1967 // *Icarus.*—1968.—**9**, N 1.—P. 212—216.
49. *Steklov A. F., Vidmachenko A. P., Miniailo N. F.* Seasonal variations in the atmosphere of Saturn // *Sov. Astron. Lett.*—1983.—**9**.—P. 135—136.

50. *Tejfel V. G., Vdovichenko V. D., Sinyaeva N. V., et al.* Spectrophotometry of zonal cloud structure variations on Jupiter, 1988—1993 // *J. Geophys. Res.*—1994.—**99E**, N 4.—P. 8411—8423.
51. *Vidmachenko A. P.* Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc // *Phys. planetary atmospheres.*—1981.—P. 113—132.
52. *Vidmachenko A. P.* Activity of processes in the atmosphere of Jupiter // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1985.—**1**, N 5.—P. 101—102.
53. *Vidmachenko A. P.* Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981 // *Solar System Res.*—1985.—**18**, N 3.—P. 123—128.
54. *Vidmachenko A. P.* Some dynamical parameters of the atmosphere of Jupiter // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1986.—**2**, N 1.—1986.—P. 54—57.
55. *Vidmachenko A. P.* Manifestation of seasonal variations in the atmosphere of Saturn // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1987.—**3**, N 6.—P. 9—12.
56. *Vidmachenko A. P.* Observable signs of internal waves in Jupiter's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1988.—**4**, N 4.—P. 40—46.
57. *Vidmachenko A. P.* Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations mount Maidanak // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1994.—**10**, N 5.—P. 52—56.
58. *Vidmachenko A. P.* Temporal changes in methane absorption in Jupiter's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1997.—**13**, N 6.—P. 21—25.
59. *Vidmachenko A. P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—1999.—**15**, N 5.—P. 320—331.
60. *Vidmachenko A. P.* Variations in reflective characteristics of Jupiter's atmosphere // *Solar System Res.*—1999.—**33**.—P. 464—469.
61. *Vidmachenko A. P.* Influence of solar activity on seasonal variations of methane absorption in the atmosphere of Saturn // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—2015.—**31**, N 3.—P. 131—140.
62. *Vidmachenko A. P.* Seasonal changes of methane absorption in the Saturn atmosphere // 46th Lunar and Planetary Science Conference, held March 16-20, 2015 in The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832.—P. 1051.
63. *Vidmachenko A. P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // 46th Lunar and Planetary Science Conference, held March 16-20, 2015 in The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832.—P. 1052.
64. *Vidmachenko A. P., Dlugach Zh. M., Morozhenko A. V.* Nature of the optical nonuniformity in Saturn's disk // *Solar System Res.*—1984.—**17**, N 4.—P. 164—171.
65. *Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F.* Seasonal activity on Jupiter? // *Sov. Astron. Lett.*—1984.—**10**.—P. 289—290.
66. *Voyager encounters Jupiter.* — Pasadena, California: NASA, 1979.—40 p.
67. *Wagener R., Caldwell J.* Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere // *Icarus.*—1988.—**74**, N 1.—P. 141—152.
68. *West R. A.* Spatially resolved methane band photometry of Jupiter. I. Analysis of the South Equatorial Belt and the South Tropical Zone reflectivity // *Icarus.*—1979.—**38**, N 1.—P. 34—53.

Статья поступила в редакцию 15.10.15