

УДК 523.45:523.035.332.3

**А. П. Видьмаченко**

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

## Сезонные изменения на Юпитере. 2. Влияние облучения планеты Солнцем

*Наше исследование характера изменения визуального блеска Юпитера с 1850 г. указывает на преимущественное влияние 22,3-летнего хейловского магнитного цикла солнечной активности на происходящие в тропосфере процессы на уровне формирования верхней кромки облаков. Максимальные значения интегрального блеска Юпитера приходятся на солнечный цикл с максимальным за последние 165 лет числом Вольфа (около 1957 г.). Минимальные оценки блеска были получены в 1855 г., когда в цикле солнечной активности № 12 число Вольфа было минимальным. Исследование отражательных характеристик полушарий Юпитера в визуальном участке спектра в 1962—2015 гг. показало попеременное увеличение яркости южных и северных тропических и умеренных областей за один период его обращения вокруг Солнца. Такое изменение яркости и усиление активности разных полушарий планеты может указывать на то, что в атмосфере происходит периодическая глобальная перестройка системы циркуляции, структуры облачных слоев и надоблачной дымки. Это говорит о связи наблюдаемых вариаций отражательных свойств исследуемых широтных поясов Юпитера с изменением наклона осей вращения самой планеты и ее магнитного поля к плоскости орбиты; т. е. о сезонной перестройке в атмосфере. Сравнение временной зависимости фактора  $A_j$  активности полушарий Юпитера в видимом диапазоне спектра с изменением индекса  $R$  солнечной активности показывает, что с 1962 г. по 1995 г. эти параметры изменялись практически синхронно с некоторым запаздыванием реакции в видимом облачном слое на режим облучения атмосферы Солнцем. Анализ показывает, что вариации отражательных характеристик полушарий Юпитера реагирует на 21 % изменение облучения разных полушарий при движении планеты по орбите с*

запаздыванием на шесть лет. Такое запаздывание совпадает со временем радиационной релаксации водородно-гелиевой атмосферы в условиях Юпитера. Произошедшее после 1997 г. рассогласование их хода можно объяснить несогласованным воздействием упомянутых трех причин на атмосферу планеты.

**СЕЗОННІ ЗМІНИ НА ЮПІТЕРІ. 2. ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ ПЛАНЕТИ СОНЦЕМ**, Відьмаченко А. П. — Наше дослідження характеру зміни візуального блиску Юпітера з 1850 року вказує на переважний вплив 22.3-річного хейлівського магнітного циклу сонячної активності на процеси, що відбуваються у тропосфері на рівні формування верхньої кромки хмар. Максимальні значення інтегрального блиску Юпітера припадають на сонячний цикл з максимальним за останні 165 років числом Вольфа (близько 1957 р.). Мінімальні оцінки блиску були отримані в 1855 р., коли в циклі сонячної активності № 12 число Вольфа було мінімальним. Дослідження відбивних характеристик півкуль Юпітера у візуальній ділянці спектру в 1962—2015 рр. показало почергове збільшення яскравості південних і північних тропічних та помірних областей за один період його обертання навколо Сонця. Така зміна яскравості і посилення активності різних півкуль планети може вказувати на те, що в атмосфері відбувається періодична глобальна перебудова системи циркуляції, структури шарів хмар і туману над хмарами. Це говорить про зв'язок спостережуваних варіацій відбивних властивостей досліджуваних широтних поясів Юпітера зі зміною нахилу осей обертання самої планети і її магнітного поля до площини орбіти, тобто про сезонну перебудову в атмосфері. Порівняння часової залежності фактора  $A_j$  активності півкуль Юпітера у видимому діапазоні спектру зі зміною індексу  $R$  сонячної активності показує, що з 1962 р. по 1995 р. ці параметри змінювалися практично синхронно з деяким запізнюванням реакції у видимому шарі хмар на режим опромінення атмосфери Сонцем. Аналіз залежності відбивних характеристик півкуль Юпітера показує запізнювання на шість років як реакцію на 21 % зміни опромінення різних півкуль при русі планети по орбіті. Таке значення збігається зі значенням часу радіаційної релаксації воднево-гелієвої атмосфери в умовах Юпітера. Те, що після 1997 р. має місце неузгодженість їхнього ходу, можна пояснити неузгодженим впливом згаданих трьох причин на атмосферу планети.

**SEASONAL CHANGES ON JUPITER. 2. THE EFFECT OF SUN IRRADIATION ON THE PLANET**, by Vidmachenko A. P. — Our investigation of changes in the character of Jupiter's visual brightness since 1850, indicating a much more pronounced effect of 22.3-year-old Hale magnetic cycle of solar activity on the processes occurring in the troposphere at the level of the upper edge of clouds formation. The maximum value of the Jupiter's integral brightness is near the maximum of the solar cycle over the last 165 years of Wolf number (about 1957). The minimal estimates of the brightness

were obtained in 1855, when in the solar cycle number 12 Wolf number was minimal. Investigation of reflection characteristics of Jupiter hemispheres in the visual region of spectrum in 1962-2015 showed brightness increasing in the alternately northern and southern tropical and temperate regions during of its revolution around the Sun. Such a brightness changing and the increased activity of the different planet's hemispheres may indicate that periodically restructuring the global atmospheric circulation system, the structure of cloud layers and above clouds haze. This indicates that the observed variations in the reflective properties of the Jupiter's latitudinal belts are associated with tilting of rotation axes of the planet and its magnetic field to the orbital plane; i. e. about the existence of seasonal reconstruction of the atmosphere. Comparison of the time dependence of activity factor  $A_j$  for Jupiter's hemispheres in the visible spectrum with a change of solar activity index  $R$ , it shows that from 1962 to 1995, these parameters have changed almost simultaneously with some lag of reaction in the visible cloud layer of the planet's atmosphere on the Sun's irradiation mode. Analysis of the dependence of reflection characteristics of the Jupiter's hemispheres shows the lag for  $\sim 6$  years, as a reaction to a 21% changing of irradiation of different hemispheres during the motion of the planet in its orbit. This value coincides with the value the radiative relaxation time of hydrogen-helium atmosphere in conditions of Jupiter. After 1997 has occurred discrepancy of their course. This can be explained by the influence of incoherent the mentioned causes on the planet's atmosphere.

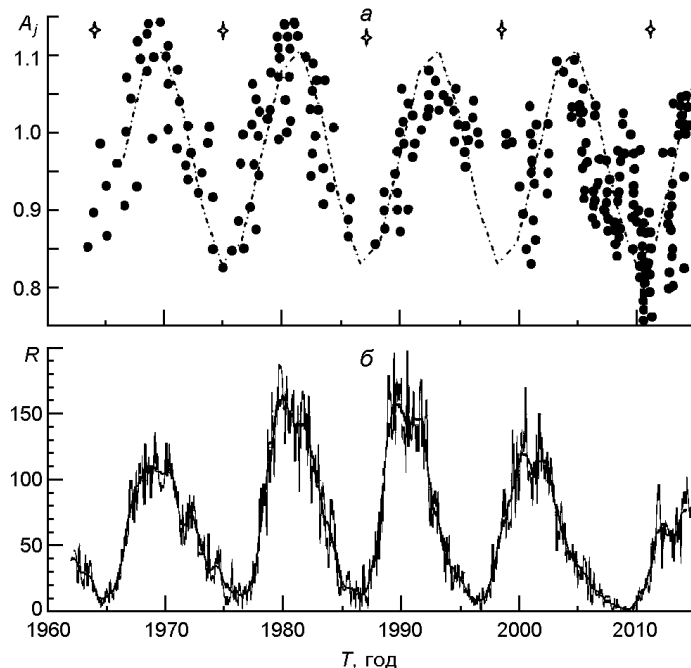
**Введение.** В работе [77] мы показали, что при движении Юпитера по орбите вокруг Солнца имеет место осязательное различие притока солнечной энергии к разным широтам. Это является причиной изменения оптических и физических характеристик атмосферы [72, 74, 76, 85]. Обычно для Юпитера сезонному фактору не уделялось внимания из-за малого наклона его оси вращения к плоскости орбиты (всего  $3.13^\circ$ ). Однако в работах [77, 79, 83, 85] мы предложили учитывать ее движения по орбите и принимать во внимание геометрическую модуляцию из-за изменения магнитной ювиграфической широты Земли  $m$ . Ее можно вычислить по формуле  $m = E \cos(\theta_0)$ , где  $E = 3.13^\circ$ , угол между магнитной осью и осью вращения Юпитера доходит до  $10^\circ$ , а  $\theta_0$  — текущее значение планетоцентрической долготы и долготы северного магнитного полюса планеты. При таких условиях за год на Юпитере величина  $m$  изменяется от  $-13.13$  до  $+13.13^\circ$ , что дает изменение положения подсолнечной точки на магнитосфере Юпитера на  $26.26^\circ$ . Из-за эксцентриситета орбиты ( $e = 0.048450$ ) северное полушарие получает почти на 21 % больший приток солнечной энергии к атмосфере [34], поскольку в летнее солнцестояние планета находится в перигелии. Вышеупомянутые наши исследования показали наличие цикличности изменения предложенного нами фактора активности  $A_j$  полушарий планеты с периодом около 11.86 лет, что соответствует ее периоду обращения вокруг

Солнца. Анализ выполненных нами в 1977—1995 гг. наблюдений, дополненных многочисленными данными, полученными многими исследователями за период с 1962 по 2015 гг., позволил нам говорить о сезонной перестройке физических параметров атмосферы Юпитера [83].

**Изменение активности диска и полушарий Юпитера.** В работах [23, 25, 38, 39, 54, 55] была обнаружена цикличность изменения блеска всего диска Юпитера с периодами от 3 до 25 лет. Выполненный нами анализ [6] рядов звездной величины Юпитера  $M_J$  в фильтре  $V$ , полученных с 1850 по 1991 г. [10, 12, 44, 45, 70, 72, 77], и их сравнение с рядами чисел Вольфа  $W$  показали, что в максимумах солнечной активности (СА) наблюдаются минимумы значений звездной величины для нечетных и максимумы для четных циклов СА. То есть, в изменении блеска Юпитера в видимом свете значительно нагляднее проявлялся 22.3-летний хейловский магнитный цикл, а не 11.1-летний цикл солнечной активности. В работе [77] мы также получили, что максимальные значения интегрального блеска Юпитера группируются вокруг солнечного цикла с максимальным за последние 165 лет числом Вольфа (около 1957 г.), а минимальные оценки блеска получены в 1855 г., когда в цикле № 12 солнечной активности имело место минимальное значение числа Вольфа.

К совокупности имеющихся данных в работе [71] мы применили нашу успешно использованную в [62] программу спектрального анализа фотометрических рядов наблюдательных данных по методу максимума энтропии. Кроме вариаций с вышеупомянутыми значениями периодов изменения визуального блеска Юпитера, нам также удалось обнаружить вариации с удвоенным значением орбитального периода (23.9 г.), с орбитальным периодом (11.88 г.) и подтвердить наличие периодической составляющей около 3.4 лет [23, 38, 39, 54, 55]. Последнее значение, по нашему мнению, может быть объяснено суперпозицией периодов 23.9 и 11.1 г. цикла солнечной активности, и/или 22.3-летнего хейловского магнитного цикла СА и самого орбитального периода Юпитера [83].

Изменение притока солнечного излучения к атмосфере Юпитера из-за вариаций солнечной активности глобально влияет на всю планету. Именно это и наблюдается в характере изменения интегрального блеска Юпитера в видимом свете. А сезонные циклы должны проявиться в изменении оптических свойств то южного, то северного полушарий планеты. Исходя из этого, по приведенной в работе [66] для Сатурна методике мы проанализировали экспериментальные данные работ [1, 2, 9, 10, 12—16, 20, 23—27, 32, 33, 38, 39, 42—47, 49, 52—54, 56—61, 63—65, 68, 72, 77, 79, 86—88] об относительном распределении яркости вдоль центрального меридиана Юпитера, дополненные изображениями планеты в видимых лучах, полученными с 1960-х по 2015 г. любителями астрономии с помощью малых телескопов [83]. Всего мы оцифровали 270 таких изображений, получили фотометрические сканы вдоль центрального меридиана и нормировали их на яр-



Вариации со временем фактора  $A_j$  активности полушарий Юпитера ( $a$ ) и индекса  $R$  солнечной активности ( $b$ ) от 1960 по 2015 гг. ([http://sidc.oma.be/html/sidc\\_graphics.html](http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html))

кость самой светлой на меридиане детали ( $I/I_{\max}$ ). При анализе этих результатов мы получили, что на широтах, где располагаются тропические и умеренные зоны и полосы, облачный слой попеременно становился самым светлым на видимом диске. По оцифрованным нормированным значениям относительной интенсивности для одинаковых пространственных участков на видимой поверхности облачного слоя планеты вычислялось отношение яркости  $A_j$  северной к южной части тропических и умеренных широтных поясов.

Вычисленные значения фактора активности  $A_j$  приведены на рисунке (фрагмент  $a$ ) точками. Звездочками отмечены моменты прохождения Юпитера через перигелий орбиты на расстоянии около 4.96 а. е. от Солнца. Эти моменты практически совпадают с моментом летнего солнцестояния для северного полушария планеты в 1963.8, 1975.6, 1987.5, 1998.7 и 2010.6 гг. Штрихпунктирной линией показана аппроксимирующая синусоида со значением периода  $11.91 \pm 0.07$  земных лет [83]. Как видно, в 1965, 1972, 1978, 1984, 1990, 1996, 2002, 2007 и 2013 гг. эта линия проходит через значение  $A_j = 1$ , когда яркости выбранных областей были приблизительно одинаковы. Такие «узлы» повторяются через время несколько меньше чем 6 лет, что практически совпадает с полупериодом обращения Юпитера вокруг Солнца.

Из анализа вариаций значений  $A_j$  следует, что в северном полушарии светлые тропические и умеренные широтные пояса были ярче чем в южном полушарии на 14 % в 1968—1970 гг., 1979—1981 гг., на 7 % в

1991—1994 гг., на 10 % в 2003.6—2005.2 гг. и на 6 % после 2014 г. В южном полушарии светлые тропические и умеренные широтные пояса были ярче, чем в северном полушарии на 12—16 % в 1963—1964, 1974—1976, 1985—1987, 2000, 2007—2008 гг., и на 20—25 % в 2010—2013 гг. Максимальное отношение яркостей  $A_j$  имело место в 1969—1970, 1981, 1991—1995, 2003.5—2005.2 и 2015 гг., что практически совпадает с положением Солнца в афелии. Минимальные отношения яркостей  $A_j$  было в 1963—1964, 1975.6, 1987.5, 1998.7 и 2010.6 гг. на минимальном расстоянии Юпитера до Солнца в перигелии. В это время северное полушарие планеты максимально нагревалось Солнцем и становилось темнее. Темные тропические и умеренные пояса (NEB, NTrB) были темнее в северном полушарии, чем аналогичные пояса в южном полушарии, почти всегда в моменты, близкие к афелию: 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.

После 1995 г. стало заметным некоторое нарушение периодичности изменения величины  $A_j$  относительно чередования моментов перигелия и афелия.

В 1964, 1975, 1987 гг. в моменты пребывания Юпитера в перигелии имело место летнее солнцестояние для северного полушария. В эти моменты оно максимально нагревалось Солнцем и было темнее. Активность Солнца в 1964, 1976 и 1987 гг. была близкой к минимальной.

В 1969—1970 и 1980—1981 гг. планета проходила афелий. При этом она получала на 21 % меньше энергии Солнца, и ее северные умеренные и тропические широты становились светлее. Активность Солнца в эти моменты была максимальной ( $R = 130$  и  $170$  соответственно). В 1993 г. Юпитер снова проходит афелий орбиты. В это время имело место солнцестояние для южного полушария, а Солнце только что прошло самый большой с 1960 г. максимум при  $R = 198$ . В 1996—1997 гг. Солнце прошло через минимум активности, а Юпитер продолжал свой путь к перигелию в конце 1998 г. В 1993—2000 гг. яркость обоих полушарий была почти одинаковой.

После лета в северном полушарии в 2000—2002 гг. планета идет к осеннему равноденствию. При этом с 1998 по 2003 год увеличивается активность Солнца до значения индекса  $R = 130...140$ . В 2000—2001 гг. северные умеренно-тропические широты почти на год становятся темнее на 15 %; а с 2001 по 2004 гг. постепенно темнеют и снова становятся темнее на 5—9 % южные умеренно-тропические широты. В самом начале 2004 г. на несколько месяцев резко потемнело почти все южное полушарие, но уже в середине 2004 г. и до конца 2005 г. быстро начинает светлеть южное полушарие и темнеет северное. После 2003 г. до 2010 г. монотонно от  $R = 60$  почти до нуля падает активность Солнца, а Юпитер в 2005 г. прошел афелий и идет к перигелию в 2010.8 г. С начала и до конца 2008 г. несколько темнеют южные умеренные широты, но уже в начале 2009 г. снова резко начинает светлеть

почти все южное полушарие до полярных широт; при этом северное полушарие остается темным. Такими они оставались с 2010 г. до середины 2012 г. С конца 2012 г. южное весеннее полушарие, оставаясь светлым, немного «замылось» темным веществом, тогда как в северных умеренных широтах начала проявляться светлая зона, которая после 2014 г. по яркости превысила соответствующие широты противоположного полушария. В 2012—20015 гг. активность Солнца имеет широкий максимум со значениями  $R = 60...80$ .

**Что же происходит на Юпитере?** Из рисунка следует, что введенный нами фактор  $A_j$  активности полушарий Юпитера не всегда изменяется симметрично относительно значения  $A_j = 1$ . Так, в 1969, 1981, 1993, 2004.5 и 2015 гг. Юпитер проходил через афелий своей орбиты сначала (в первые две даты) практически в моменты максимумов солнечной активности, а затем постепенно сдвигался на 1-2 г. после максимума, т. е. уже на спаде СА. Это вызвано тем, что период обращения Юпитера вокруг Солнца имеет значение  $T_j$  11.86 г., а период СА —  $T_{SA}$  11.1 г. Солнечную активность можно характеризовать индексом активности  $R$  (рисунок), зависимость которого со временем имеет довольно широкие максимумы со средними значениями  $R = 105, 155, 170, 115$  и  $70$ , соответственно в 1967—1970, 1979—1982, 1989—1992, 1999—2003 и 2011—2015 гг. В близкие к этим датам моменты времени лето на планете было в южном полушарии.

В годы с наибольшей СА, или сразу же после них, светлые тропические и умеренные широтные зоны (NTrZ, NTZ) были ярче в северном полушарии по сравнению с аналогичными южными широтами (в 1968—1970, 1979—1981, 1991—1994, 2003.6—2005.2 гг. и после 2014 г.). Темные тропические и умеренные пояса NEB и NTrB в северном полушарии были также темнее чем аналогичные пояса в южном 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—2011.2, 2012.7—2012.9 гг.). Курсивом выделены годы, в которые проявился некоторый дисбаланс в периодичности изменения яркости тропических и умеренных поясов в северном и южном полушариях после 1995 г.

Отметим также, что в момент прохождения афелия орбиты и в максимумах СА зона EZ Юпитера обычно была широкая, светлая и довольно активная. В периоды широких минимумов СА (1964—1966, 1975—1977.5, 1984.7—1987.5, 1995.8—1997.5, 2006—2010.3 гг.), когда активность на Солнце была малой ( $R = 0...15$ ), Юпитер проходил перигелий своей орбиты: это было в 1963.8 г. (перед минимумом СА), 1975.6 г. (в минимуме), 1987.5 г. (в конце минимума), 1998.7 г. (после минимума), 2010.6 г. (после минимума). Практически в эти же или близкие к ним моменты времени усредненная кривая зависимости  $A_j$  (штрихпунктир на рисунке) также проходила через минимумы своих значений. При этом светлые тропические и умеренные широтные пояса в южном полушарии (STrZ, STZ) были ярче, чем в северном полушарии в 1963, 1974—1976, 1985—1987, 2000 гг. (кратковременно, ме-

нее года), 2007.2—2008 гг. и в 2010 г. (когда светлым было все южное полушарие) — по 2013.8 г.

То есть, минимальные отношения яркостей северного и южного тропических и умеренных поясов имело место в моменты, когда при лете в северном полушарии Юпитер находился в перигелии на минимальном расстоянии до Солнца (1963.8, 1975.6, 1987.5, 1998.7 и 2010.6 гг.). В это время северное полушарие планеты максимально нагревается Солнцем и становится темнее, тогда как активность Солнца была минимальной. Поэтому основной вклад в изменение притока солнечной энергии в такие моменты давала вытянутость орбиты при прохождении Юпитером ее перигелия.

Существенно «выпадают» из таких квазипериодических изменений только результаты обработки наблюдений, полученных с 1996 по 1999.8 гг., когда вычисленный нами фактор активности был близок к единице вместо ожидаемого его уменьшения с минимумом в конце 1998 г. И лишь в самом конце 1999 г. и до середины 2000 г., в момент, близкий к осеннему для северного полушария равноденствию, фактор активности  $A_j$  на несколько месяцев резко уменьшился почти до значения 0.83 (южные широты стали очень светлыми). Но затем его значение восстановилось до предполагаемых значений, и в 2001 г. вычисленные значения  $A_j$  стали снова ложиться на усредненную кривую.

Можно отметить особенность, когда в середине 2007 г. значение фактора активности  $A_j$  также резко уменьшилось, и на протяжении около двух месяцев достигало значения 0.82. Но уже в начале 2008 г. яркость обоих полушарий стала практически одинаковой; хотя по характеру предполагаемых изменений яркость северных широт должна бы уменьшаться, а южных возрастать. При этом светлая зона NTrZ в 2008.2 г., и особенно в 2009.3 г. была хоть и узкой, но зато самой яркой деталью на диске; и так практически до момента в 2010.3 г. И происходило это в весеннем для северного полушария равноденствии в минимуме СА при индексе  $R < 5$  (Солнце все еще мало греет, и к тому же индекс СА незначительный).

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 летнем солнцестоянии в северном полушарии в 2010.6 г. На протяжении всего 2010 г. южное полушарие постепенно становилось все светлее, и значение фактора активности достигло ожидаемого минимума со значением  $A_j = 0.75$ . Это на 10—12 % меньше, чем в исследуемые нами четыре предыдущие моменты минимумов значений  $A_j$ . В этот момент все южное полушарие было очень светлое.

**Чем выделяются отмеченные моменты?** Если в моменты прохождения перигелия и за 1-2 г. до этих моментов в 1963.8, 1975.6 и 1987.5 гг. значение индекса СА было минимальным ( $R = 0...15$ ), то в момент прохождения планетой перигелия в 1998.7 и 2010.6 гг. индекс СА был довольно значительным ( $R = 40$  и  $20$  соответственно). То есть,



в эти моменты, кроме прямого увеличения нагрева всей планеты на 21 % вследствие ее нахождения на ближайшем до Солнца расстоянии, мы, по-видимому, регистрируем и селективное влияние повышающейся активности Солнца, которое будет в этом случае большим для наклоненного к Солнцу северного полушария. Начиная с минимума солнечной активности в 1996—1997.5 гг., Юпитер шел к перигелию с летом в северном полушарии в 1998.7 г. Но северное полушарие не становилось темнее, а южное полушарие не становилось светлее, и до конца 1999.9 г.  $A_j \approx 1$ . При этом так называемое «фотометрическое количество» темного вещества [25] было практически одинаковым в обоих полушариях. После лета в северном полушарии в 1998.7 г. в 2000—2002 гг. в видимой атмосфере Юпитера происходила перестройка к осеннему равноденствию.

В 1969—1970, 1980—1981 гг. северное полушарие в афелии минимально нагревалось Солнцем и становилось светлее; причем активность Солнца в эти годы была максимальной ( $R = 105$  и  $155$  соответственно). В 1993 г. Юпитер снова находился в афелии орбиты, был наклонен к Солнцу южным полушарием, а Солнце только что прошло самый большой с 1960 г. максимум ( $R = 198$ ). В 2005 г. Юпитер прошел афелий и направился к перигелию в 2010.8 г. После 2004 г. до 2010 г. медленно, от  $R \approx 30$  (2004 г.) до  $R = 8...0$  (от 2007 до 2010 гг.), уменьшается активность Солнца.

Таким образом, после 1995 г. стало заметным существенное «разбалансирование» в периодичности изменения со временем фактора активности полушарий  $A_j$ , солнечной активности и моментов прохождения перигелия и афелия орбиты, тогда как в 1963—1995 гг. корреляция между изменениями фактора  $A_j$ , солнечной активностью и моментами прохождения перигелия и афелия орбиты была очень высокой. Это указывает на то, что в 1963—1995 гг. изменение притока солнечной энергии к полушариям планеты из-за вытянутости орбиты и вариаций солнечной активности были синхронны. А после 1995 г. синхронность подвода солнечной энергии к северному и южному полушариям Юпитера из-за изменения солнечной активности и движения планеты по вытянутой орбите нарушилась. Но в это же время уменьшение общего притока солнечной энергии к зимнему северному полушарию существенным образом компенсируется общим притоком энергии от Солнца из-за значительного роста солнечной активности. То есть, несмотря на удаление планеты к афелию орбиты, увеличение индекса солнечной активности приводит к дополнительному нагреванию южного летнего полушария. И если приближение планеты к Солнцу в перигелии приводило к нагреву атмосферы, то минимальная солнечная активность создавала некоторый общий «охлаждающий» эффект.

**Воздействие излучения Солнца на атмосферу.** Для атмосферы характерным является свойственный ей набор химических превращений и движений. Если внешние воздействия достаточно регулярные, то даже будучи энергетически слабыми, они могут синхронизи-

ровать в ней отдельные активные процессы [29]. Информация о состоянии атмосферы планеты и о происходящих в ней изменениях поступает к нам в широком участке спектра. Формируется это излучение в диапазоне высот, лежащих на несколько десятков километров ниже и выше видимой кромки облачного слоя. Одной из главных внешних причин, влияющих на атмосферу, является количество поступающего излучения от Солнца. При этом следует учитывать реальные изменения солнечной радиации в разных длинах волн со временем, вариации облучения разных широт планеты Солнцем из-за наличия наклона оси вращения планеты к плоскости эклиптики, различие притока солнечной энергии к атмосфере планеты в перигелии и в афелии из-за наличия эксцентриситета орбиты. Во многих случаях хорошо просматривается усиление связи эффектов на Солнце и планете при увеличении интенсивности солнечного излучения и росте СА [19].

Радиация в разных длинах волн проникает к разным слоям атмосферы [1, 72, 77]. Из-за инерционности климатической системы атмосферы долговременное изменение солнечной энергии всего на 0.1 % сможет привести к существенному изменению в видимой атмосфере на временном масштабе десятилетия и более. При изменении солнечного притока на десятые доли процента значимые изменения могут произойти в верхней тропосфере и нижней стратосфере за время от месяца до нескольких лет. А если же облучение резко изменится на 1 % и более, то изменения могут быть заметны уже через несколько дней [11]. При этом происходит солнечно-обусловленное изменение только в верхней атмосфере и затем осуществляется его передача вниз, например, к уровню облаков, как к одному из наглядных индикаторов видимых изменений. Одна из гипотез прямого воздействия опирается на особенности процесса фазовых переходов для разных химических элементов в атмосферах планет (например, воды в атмосфере Земли, метана и аммиака и их производных в атмосфере Юпитера). Поэтому и проявление солнечной активности в атмосферах планет следует искать прежде всего в тех спектральных участках, где проявляется образующаяся в атмосферах планет дымка из активных для данной атмосферы составляющих (гидразин, продукты фотолиза метана, аммиака и пр.). Вполне вероятно, что следует учитывать как сами значения индексов солнечной активности, так и скорость их изменения. Тогда при резких и быстрых изменениях во внешней среде атмосфера не успевает адаптироваться, и вынуждена переключаться в другой режим функционирования [17].

Напомним [3, 6, 83], что интенсивность крайнего ультрафиолета ( $<100$  нм) изменяется более чем вдвое за солнечный цикл. Но это излучение влияет преимущественно на термосферу. Изменения в длинах волн 200—300 нм в зависимости от солнечного цикла достигают до 10—30 %. Это может приводить к изменению в верхней стратосфере содержания некоторых малых активных составляющих на несколько процентов, чему сопутствует уменьшение температуры в области стратопаузы. Поэтому вариации излучения Солнца в диапазоне 170—

390 нм могут связать солнечный цикл с циркуляцией атмосферы [40]. К тому же, если, например, туман в стратосфере по какой-то причине уменьшится, то солнечное УФ-излучение станет глубже проникать в атмосферу планеты. Это приведет к изменению содержания продуктов фотохимических превращений метана  $\text{CH}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$ , образованию ядер конденсации и сублимации, когда пар, минуя жидкую фазу, может переходить непосредственно в твердую фазу. Так, известно, что в годы максимума солнечной активности в земной атмосфере чаще появляются высотные перистые облака, и частота их появления увеличивается почти на треть [7]. Аналогичная ситуация может наблюдаться и в атмосфере Юпитера, вызывая образование и разрушение тумана из продуктов фотолитиза метана и аммиака.

Связь солнечной активности с процессами в тропосфере должна быть значительно более сложной, чем в случае верхних слоев атмосферы. Хотя, например, для атмосферы Земли было получено [30, 31], что суточная амплитуда изменения давления существенно больше в эпоху максимумов, чем в годы минимумов СА; и в годы с максимумом солнечной активности возрастает число активных циклонов и усиливается общая циркуляция атмосферы. Так, в максимуме четных циклов давление в приполярных областях понижено, а в умеренных широтах — повышено. В максимуме нечетных циклов наблюдается обратное явление: повышение давления в полярной шапке и понижение

в умеренных широтах [8]. Причем данные наблюдений показали, что процессы в верхней тропосфере существенно опережают по времени процессы, происходящие в средней и нижней тропосфере [21]. При этом солнечная активность по отношению к планетной атмосфере выступает, прежде всего, в качестве своеобразного синхронизатора [18] различных физико-атмосферных явлений. И наименее инерционной в этом смысле является магнитосфера, а наиболее инерционной — тропосфера планеты [7, 76].

**О времени радиационной релаксации водородно-гелиевой атмосферы.** В водородно-гелиевой атмосфере Юпитера метан и аммиак находятся в виде примеси на уровне меньше десятых долей процента [3, 36]. Приток солнечной энергии к атмосфере Юпитера на среднем расстоянии от Солнца примерно в 27 раз меньший, чем к Земле. Из-за значительной удаленности от Солнца Юпитер имеет низкую температуру в фотохимически активных средних областях атмосферы. В сочетании с преобладающим содержанием водорода это приводит к фотохимическим процессам, основными продуктами которых являются сложные углеводороды и аммиак  $\text{NH}_3$  [28, 47]. Поэтому цикл солнечной активности и последствия орбитального движения приводят к изменениям количественного и качественного состава атмосферы Юпитера. Результирующие вариации оптической толщины фотохимической дымки опосредованно могут значительно изменять доступ поступающей от Солнца энергии к погодообразующим слоям в атмосфере. В работе [7] мы предложили, что именно таким способом и может осуществляться опосредованное влияние вариаций облучения

планетной атмосферы Солнцем на динамику и общую структуру видимого облачного слоя. Но воздействие солнечного излучения на состояние планетной атмосферы зависит от ее мощности, природы фотохимически активных составляющих, наличия магнитного поля, радиационных поясов и т. п. Все это и приводит к появлению периодичностей разной длительности блеска Юпитера, отражательных характеристик морфологических деталей и отдельных участков на диске. Это связано с изменением расстояния до земного наблюдателя, изменением альбедо планеты из-за переменности ширины и интенсивности темных и светлых облачных образований, с вариациями оптических характеристик атмосферы планеты [3—5, 35, 72—74, 76, 78, 80, 81, 83]. Вариации оптических характеристик атмосферы должны быть отображением различного рода нестабильностей и возмущений кинематических и динамических характеристик.

Теория атмосферной структуры и динамики Юпитера в предположении радиационно-конвективного равновесия показали [67, 69], что режим в видимых слоях облачности в низких широтах, вероятно, вызван инерциальной нестабильностью или вынужденной конвекцией с почти адиабатическим градиентом. Светлые зоны представляют собой регионы с большим давлением и температурой, с повышенной облачностью, а полосы — это регионы с более низким давлением, низкой температурой, нисходящими движениями при относительной безоблачности. То есть, облачный слой в светлых зонах гораздо толще, чем в темных поясах и теплее на одной и той же высоте в атмосфере.

Важной временной постоянной для планетной атмосферы является характерное время радиационной релаксации  $\tau_R$  [48, 77], за которое атмосфера восстанавливает стабильное состояние после воздействия температурного возмущения  $dT/dt = (T_e - T)/\tau_R$ , где  $T_e$  — температура атмосферы в равновесном состоянии. Расчеты для водородно-гелиевой атмосферы с учетом радиационной непрозрачности гидрокарбонатов показали, что возле уровня тропопаузы  $\tau_R \approx 10^8$  с (3.17 г.), экспоненциально уменьшается до  $10^5$  с ( $\approx 10$  сут) в верхней стратосфере и увеличивается до десятка лет на среднем уровне видимого слоя основной облачности на Юпитере [41, 48, 67, 69].

Наблюдения показывают, что на уровне видимого облачного слоя температура в тропосфере изменяется с высотой по закону, очень близкому к адиабатическому [3, 37, 67, 76, 85]. Поэтому даже незначительные изменения поступления энергии к изучаемому уровню в атмосфере могут привести к изменению адиабатичности температурного градиента атмосферы и даже появлению небольшой сверхадиабатичности, приводящей к образованию заметной вертикальной мелкомасштабной конвекции. Поскольку в конвективное движение вовлекается аммиак с набором фазовых переходов [3], то расчеты показывают, что отмеченный механизм вполне объясняет даже наблюдаемые дневные вариации в изменении поглощения аммиаком и изменение интенсивности водородных квадрупольных линий между западным и восточным лимбами диска Юпитера.

Как земные инфракрасные наблюдения, так и данные с космических миссий «Вояджер-1, -2» в 1978—1979 гг. [86] в момент, близкий к осеннему для северного полушария равноденствию, показали, что на уровнях давления  $P = 1 \dots 10$  мбар верхняя стратосфера в северном полушарии через 3 г. после лета все еще была почти на 10 К теплее, чем в южном. То есть, фазовая задержка теплового отклика (на один сезон, примерно 3 г.) совпадает с теоретическим значением времени радиационной релаксации для рассматриваемой высоты в стратосфере Юпитера [37, 51].

Напомним, что атмосферная непрозрачность на длине волны 18 мкм определяется в основном столкновительными процессами и поглощением молекулярным водородом  $H_2$  и практически не подвержена влиянию облаков. Поскольку молекулярный водород равномерно перемешан во всей атмосфере, то наблюдаемые пространственные и временные вариации тепловой эмиссии в данной длине волны отображают истинные вариации атмосферной температуры.

Большинство из отмеченных временных вариаций температуры в диапазоне широт  $|60^\circ|$ , по нашему мнению, наиболее предпочтительно объяснить сезонными изменениями и значительными вариациями температуры из-за наличия эксцентриситета орбиты. Так, теоретические и модельные исследования [33] дают вполне обнаружимые вариации температуры на некоторых уровнях в атмосфере Юпитера, вызванные сезонным изменением инсоляции разных широтных поясов [37].

В работах [1, 72, 77, 82] мы указывали, что размах колебаний яркости  $A_j$  в синем участке спектра почти на 25 % больший, чем в видимом спектральном диапазоне. А соответствующий «узел» равенства яркости полушарий на умеренных и тропических широтах  $A_j = 1$  соответствующие данные в синем участке спектра проходят на несколько лет раньше, чем в видимом спектральном диапазоне. Это подтверждает тот факт, что «синяя» часть отраженного облаками Юпитера света формируется несколько выше в атмосфере при меньших значениях давления.

Изменение расстояние до Солнца сказывается сильнее на более глубоких слоях в атмосфере (нижняя и средняя тропосфера), где радиационная временная постоянная значительная (около десятка лет). А солнечная активность сильнее влияет на верхнюю тропосферу и стратосферу, где радиационная постоянная существенно меньшая, и атмосфера откликается на изменение солнечного облучения намного быстрее (единицы лет, месяцы или даже дни). Поэтому совместное воздействие вариаций облучения планеты Солнцем вследствие селективного влияния солнечной активности на разные полушария Юпитера, и значительного (до 21 %) изменения облучения планеты солнечным светом при прохождении перигелия (при лете в северном полушарии) и афелия (при лете в южном полушарии), дает наблюдаемую в видимом свете картину попеременного квазипериодического изменения яркости тропических и умеренных широтных поясов.

**Выводы.** Таким образом, в нашем исследовании отмечается увеличение яркости то южных, то северных тропических и умеренных областей 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. Выполненный анализ наблюдательных данных позволяет говорить о связи наблюдаемых вариаций отражательных свойств исследуемых широтных поясов Юпитера с изменением наклона оси вращения планеты и/или его магнитного поля к плоскости ее орбиты, то есть о сезонной перестройке в атмосфере Юпитера. При этом отклик атмосферы на изменение планетоцентрического склонения Солнца происходит не мгновенно, а с существенным запаздыванием.

Сравнение временной зависимости фактора активности полушарий Юпитера в видимом диапазоне спектра с изменением индекса  $R$  солнечной активности, показывает, что в период времени с 1962 по 1995 г. эти параметры изменялись практически синхронно, когда в перигелии летнее северное полушарие было темнее зимнего южного; и происходило это при минимальной активности Солнца. После 1995 г. имеющая меньший период изменчивость СА стала «отставать» от орбитальной зависимости, и максимумы солнечной активности с каждым юпитерианским годом приближаются к моменту прохождения Юпитером перигелия орбиты.

В предположении радиационно-конвективного равновесия получено [67, 69], что на одинаковых высотах в атмосфере светлые зоны — это поднимающиеся регионы с большей температурой и повышенной облачностью, а темные более холодные регионы — с опускающимися воздушными массами при относительной безоблачности на тех же уровнях давления. Из этого и из анализа полученных нами наблюдательных данных следует, что более темные умеренные области Юпитера являются холодными областями атмосферы с нисходящими движениями, а светлые умеренные области в каждый конкретный момент на такой же высоте представляют собой относительно более теплые регионы с поднимающимися воздушными массами.

Изменение со временем интегрального блеска Юпитера в визуальном участке спектра, указывает на значительное влияние 22.3-летнего хейловского магнитного цикла солнечной активности на процессы, связанные с наличием наклона оси вращения планеты и его магнитного поля к плоскости орбиты, происходящие в тропосфере на уровне формирования верхней кромки облачной системы.

Сравнение временного хода изменения фактора активности полушарий Юпитера  $A_j$  с изменением индекса солнечной активности  $R$  и движением планеты по орбите указывает на запаздывание реакции видимого облачного слоя на режим облучения атмосферы Солнцем. Анализ зависимости отражательных характеристик полушарий Юпитера за результатами наблюдений в видимом свете в 1962—1995 гг.

показывает хорошо выраженное запаздывание примерно на 6 лет как реакцию на изменение на 21 % облучения разных полушарий при движении планеты по орбите. Такое значение хорошо совпадает со временем радиационной релаксации водородно-гелиевой атмосферы, полученное в работах [41, 67, 69].

Происшедшее после 1995 г. рассогласование хода временной зависимости фактора активности полушарий Юпитера, индекса активности Солнца и изменения режима облучения Юпитера Солнцем из-за его движения по орбите, можно объяснить несогласованным действием упомянутых причин на атмосферу планеты. Ведь вариации, связанные с влиянием солнечной активности при изменении индекса активности, вызваны значительным изменением УФ-излучения Солнца. И это сможет сказываться сначала только на энергетике верхней надоблачной атмосферы Юпитера и лишь затем опосредованно такие изменения могут передаваться вниз в тропосферу. На это, например, указывают изображения, полученные практически одновременно в видимых лучах и в длинах волн, характерных для полос поглощения метаном в 725 и 890 нм.

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.* Сезонные изменения отражательных характеристик Сатурна за 4 сатурнианских момента равноденствия // 17 Міжнар. наук. конф. Астрономічна школа молодих вчених. Україна, Житомир, 20—22 травня 2015 р. Програма і тези доповідей. Київ — Житомир, 2015.—С. 10—14.
5. *Видьмаченко А. П.* Влияние солнечной активности на сезонные изменения метанового поглощения на Сатурне // 17 Міжнар. наук. конф. Астрономічна школа молодих вчених. Україна, Житомир, 20—22 травня 2015 р. Програма і тези доповідей. — Київ — Житомир, 2015.—С. 14—16.
6. *Видьмаченко А. П.* Сезоны на Сатурне. I. Изменение отражательных характеристик атмосферы в 1964—2012 // *Вісник астрон. школи.*—2015.—**11**, № 1.—Р. 37—42.
7. *Видьмаченко А. П.* Сезоны на Сатурне. II. Влияние солнечной активности на изменение метанового поглощения // *Вісник астрон. школи.*—2015.—**11**, № 2.—Р. 133—142.
8. *Витинский Ю. И., Оль А. И., Сазонов Б. И.* Солнце и атмосфера Земли. — Л.: Гидрометеиздат, 1976.—351 с.
9. *Гайсин С. М.* Фотоэлектрическая спектрофотометрия Юпитера в 0.32—0.60 мкм // *Тр. астрофиз. ин-та АН Каз. ССР.*—1979.—№ 35.—С. 35—65.
10. *Гаррис Д. Л.* Интегральная фотометрия и колориметрия планет и спутников // *Планеты и спутники.* — М.: Мир, 1967.—С. 241—305.
11. *Герман Дж. Р., Голдберг Р. А.* Солнце, погода и климат. — Л.: Гидрометеиздат, 1981.—319 с.
12. *ДеВокулер Ж.* Фотометрия поверхностей планет // *Планеты и спутники.* — М.:

- Мир, 1975.—С. 267—366.
13. Деметьев М. С., Мороженко А. В. Зоны и полосы диска Юпитера. Различие в вертикальной структуре облачных слоев // Астрон. вестник.—1990.—**24**, № 4.—С. 275—287.
  14. Клименко В. М. Многоцветная фотометрия деталей диска Юпитера. II. Абсолютная отражательная способность // Астрон. вестник.—1980.—**14**, № 3.—С. 148—153.
  15. 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.
  16. Кругов В. Д. Временные вариации ультрафиолетового поглощения в непрерывном спектре Юпитера и Сатурна // Астрон. вестник.—1976.—**6**, № 3.—С. 168—171.
  17. Куклин Г. В. Солнце и солнечно-земные связи // Международная геосферно-биосферная программа «глобальные изменения». — М.: Наука, 1989.—Вып. 1.—С. 24—33.
  18. Лоренц Э. Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1973.—260 с.
  19. Мирошниченко Л. И. Солнечная активность и Земля. — М.: Наука, 1981.—144 с.
  20. Мороженко А. В. Зоны и полосы диска Юпитера. Надоблачный слой // Астрон. вестник.—1990.—**24**, № 3.—С. 211—220.
  21. Морской Г. И. О конвекционной теории изменения давления // Метеорология и гидрология.—1967.—№ 1.—С. 123—142.
  22. Рубашев Б. Ш. Проблемы солнечной активности. — М., Л.: Наука, 1964.—563 с.
  23. 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.
  24. Смит Б., Хант Дж. Движение и морфология облаков в атмосфере Юпитера // Юпитер. — М.: Мир, 1979.—Т. 2.—С. 433—459.
  25. Сорокина Л. П. Максимальные контрасты на диске Юпитера в 1962—1968 гг. // Астрон. циркуляр.—1973.—№ 749.—С. 4—7.
  26. Тейфель В. Г. Морфология молекулярного поглощения на диске Юпитера // Юпитер. — М.: Мир, 1979.—Т. 2.—С. 292—341.
  27. Фесенков В. Г. Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос // Изв. Астрофиз. ин-та. АН Каз. ССР.—1955.—**1**, № 1-2.—С. 239—251.
  28. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981.—352 с.
  29. Шугрин С. М., Обут А. М. Солнечная активность и биосфера. — Новосибирск: Наука, 1986.—128 с.
  30. Эйгенсон М. С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. — Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1957.—230 с.
  31. Эйгенсон М. С., Гневышев М. Н., Оль А. И., Рубашев Б. М. Солнечная активность и ее земные проявления. — М., Л.: ОГИЗ, 1948.—323 с.
  32. Vanos C. J. Contribution to the study of the Jupiter's atmosphere // Icarus.—1971.—**15**, N 1.—P. 58—67.
  33. 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.
  34. 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.
  35. Dlugach Zh. M., Morozhenko A. V., Yanovitskiy E. G., Vidmachenko A. P. Investigations of the optical properties of Saturn's atmosphere carried out at the Main astro-



- nomical observatory of the Ukrainian Academy of sciences // *Icarus*.—1983.—**54**, N 2.—P. 319—336.
36. *Drossart P., Courtin R., Atreya S., Tokunaga A.* Variations in the Jovian atmospheric composition and chemistry // *Time-variable phenomena in the Jovian system*. — Washington: NASA, 1989.—P. 344—362.
37. *Flasar F. M.* Temporal behavior of Jupiter's meteorology // *Time-variable phenomena in the Jovian system*. — Washington: NASA, 1989.—P. 324—343.
38. *Focas J. H.* Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963 // *Icarus*.—1971.—**15**, N 1.—P. 56—57.
39. *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.
40. *Gallis L. V., Nealy J. E.* Temperature UV variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents // *Geophys. Res. Lett.*—1978.—**5**.—P. 249.
41. *Gierasch P. J., Goody R. M.* Radiative time constant in the atmosphere of Jupiter // *J. Atmospheric Sci.*—1969.—**26**.—P. 979—980.
42. *Hall J. S., Rille L. A.* A photometric study of Saturn and its rings // *Icarus*.—1974.—**23**, N 1.—P. 144—156.
43. *Hays D. L., Latham D. A., Hays S.* Measurements of the monochromatic flux from Vega // *Astrophys. J.*—1975.—**197**, N 3.—P. 587—592.
44. *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.
45. *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.
46. *Klimenko V. M., Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P.* Phase effect for the brightness coefficient of the central disk of Saturn and features of Jupiter's disk // *Icarus*.—1980.—**42**.—P. 354—357.
47. *Kostiuk T., Espenak F., Mumma M. J., et al.* Variability of methane on Jupiter // *Icarus*.—1982.—**72**, N 2.—P. 394—410.
48. *Kuroda T., Medvedev A. S., Hartogh P.* Parameterization of radiative heating and cooling rates in the stratosphere of Jupiter // *Icarus*.—2014.—**242**.—P. 149—157.
49. *Orton G. S.* Spatially resolved absolute spectral reflectivity of Jupiter: 3390 — 8400 Å // *Icarus*.—1975.—**26**, N 1.—P. 159—174.
50. *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.
51. *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.
52. *Peek B. M.* The planet Jupiter. — London: Faber & Faber, 1958.—456 p.
53. *Pilcher C. B., McCord T. B.* Narrow-band photometry of the bands of Jupiter // *Astrophys. J.*—1971.—**165**.—P. 195—201.
54. *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.
55. *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.
56. *Reese E. J.* Jupiter: its Red Spot and other features in 1969—1970 // *Icarus*.—1971.—**14**, N 3.—P. 343—354.

57. *Reese E. J.* Jupiter: its Red Spot and disturbances in 1970—1971 // *Icarus*.— 1972.—**17**, N 1.—P. 57—72.
58. *Reese E. J.* Jupiter's Red Spot in 1968—1969 // *Icarus*.—1970.—**12**, N 2.—P. 249—257.
59. *Reese E. J., Smith B. A.* A rapidly moving spot on Jupiter's north temperate belt // *Icarus*.—1966.—**5**, N 3.—P. 248—257.
60. *Reese E. J., Smith B. A.* Evidence of vorticity in the Great Red Spot of Jupiter // *Icarus*.—1968.—**9**, N 3.—P. 474—486.
61. *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.
62. *Rozenbush V. K., Rspaev F. K., Churyumov K. I., et al.* Variations of the rates of gas and dust production in comet Halley // *Soviet Astron. Lett.*—1989.—**15**, N 2.—P. 155.
63. *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.
64. *Solberg H. G.* Jupiter's Red Spot in 1966—1967 // *Icarus*.—1968.—**9**, N 1.—P. 212—216.
65. *Solberg H. G.* A 3-month oscillations in the longitude of Jupiter's red spot // *Planet. and Space Sci.*—1969.—**17**.—P. 1573—1580.
66. *Steklov A. F., Vidmachenko A. P., Miniailo N. F.* Seasonal variations in the atmosphere of Saturn // *Soviet Astron. Lett.*—1983.—**9**, N 2.—P. 135—136.
67. *Stone P. H.* The meteorology of the Jovian atmosphere // *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*. — Tucson: Univ. of Arizona Press, 1976.—P. 586—618.
68. *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.
69. *Trafton L. M., Stone P. H.* Radiative-dynamical equilibrium states for Jupiter // *Astrophys. J.*—1974.—**188**.—P. 649—656.
70. *Vidmachenko A. P.* Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc // *Phys. planetary atmospheres*.—1981.—P. 113—132.
71. *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.
72. *Vidmachenko A. P.* Activity of processes in the atmosphere of Jupiter // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—1985.—**1**, N 5.—P. 101—102.
73. *Vidmachenko A. P.* Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981 // *Solar System Res.*—1985.—**18**, N 3. —P. 123—128.
74. *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.
75. *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.
76. *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.
77. *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.
78. *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.
79. *Vidmachenko A. P.* Variations in reflective characteristics of Jupiter's atmosphere // *Solar System Res.*—1999.—**33**.—P. 464—469.

80. *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.
81. *Vidmachenko A. P.* Seasonal changes of methane absorption in the Saturn atmosphere // *LPI Contribution.*—2015.—N 1832.—P. 1051.—(46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, held March 16–20, 2015 in The Woodlands, Texas).
82. *Vidmachenko A. P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // *LPI Contribution.*—2015.—N 1832.—P. 1052.—(46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, held March 16–20, 2015 in The Woodlands, Texas).
83. *Vidmachenko A. P.* Seasonal changes on Jupiter. 1. The factor activity of hemispheres // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*—2016.—**32**, N 4.—P. 48—58.
84. *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.
85. *Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F.* Seasonal activity on Jupiter // *Soviet Astron. Lett.*—1984.—**10**, Sept.-Oct.—P. 289—290.
86. *Voyager* encounters Jupiter. — Pasadena, California: NASA, 1979.—40 p.
87. *Wagener R., Caldwell J.* Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere // *Icarus.*—1988.—**74**, N 1.—P. 141—152.
88. *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