

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2019.04.071>

УДК 523.45

**А. П. Видьмаченко**

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины,  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, Украина, 03143  
vida@mao.kiev.ua

## **Сезонные изменения фактора активности полушарий на Юпитере восстановили периодичность**

*Сделан вывод, что в мощной магнитосфере Юпитера подсолнечная точка, изменяя за орбитальный период свое положение на угол примерно  $26^\circ$ , вызывает сезонные изменения физических характеристик атмосферы. Значительный эксцентриситет планетной орбиты приводит к тому, что приток энергии к атмосфере в северном полушарии на 21 % больше, потому что в близкий к летнему солнцестоянию для северного полушария момент планета находится в перигелии. Это вызывает асимметрию меридионального распределения отражательных свойств видимого облачного слоя. Анализ наблюдательных данных за 1960—2019 гг. обнаружил, что отношение  $A_J = V_N/V_S$  хорошо описывает изменения атмосферных процессов на Юпитере, показывая квазипериодические вариации отражательных характеристик северных и южных умеренных и тропических регионов за период обращения планеты вокруг Солнца на протяжении 11.87 лет. Изменение интегрального блеска Юпитера в визуальной полосе  $V$  указывает на более выраженное влияние 22.1-летнего хейловского магнитного цикла солнечной активности. Результаты наблюдений в видимом свете в 1960—1995 и 2012—2019 гг. показали синхронное запаздывание на несколько лет как реакцию на изменение облучения разных полушарий на 21 % при движении планеты по орбите. В 1995—2012 гг. наблюдалось рассогласование хода зависимости  $A_J$ , индекса активности Солнца  $S_n$  и режима облучения Юпитера Солнцем из-за его орбитального движения. После 2012 г. ход временной зависимости этих трех параметров снова стал согласованным, восстанавливая периодичность изменений фотометрических характеристик северного и южного полушарий Юпитера.*

**Ключевые слова:** Юпитер, атмосфера, сезонные изменения.

## ВВЕДЕНИЕ

Для планет, обладающих значительным наклоном плоскости экватора к плоскости их орбиты, приток солнечной энергии к разным широтам за время их обращения вокруг Солнца существенно изменяется [60]. Это вызывает вариации физических характеристик планетных атмосфер, проявляя сезонные изменения [1, 25, 27, 28, 31, 35, 42, 46, 47, 50, 51]. В работах [1, 33, 40] мы показали, что в очень мощной магнитосфере Юпитера на отражательные свойства его облаков и надоблачной дымки сильнее влияют вариации ювимагнитной широты  $m$ , а не ювицентрической широты  $E$ . За юпитерианский год значение  $E$  изменяется в пределах от  $-3.13$  до  $+3.13$ ; за этот же время  $m$  изменяется от  $-13.13$  до  $+13.13$ . Поэтому за орбитальный период подсолнечная точка на магнитосфере Юпитера изменяется на угол больше  $26^\circ$ . Значительный эксцентриситет орбиты ( $e = 0.04845$ ) приводит к тому, что приток энергии к атмосфере в северном полушарии почти на 21 % больше из-за того, что в близкий к летнему солнцестоянию момент планета находится в перигелии. И в этот же момент именно северное полушарие наклонено к Солнцу. Такой факт должен вызывать асимметрию меридионального распределения отражательных свойств видимых облаков.

## ИЗМЕНЕНИЕ БЛЕСКА ЮПИТЕРА

Многочисленные изображения Юпитера показывают существенные изменения цвета, яркости и формы его облаков на уровне видимой атмосферы [3, 26, 41, 43, 45, 49, 59]. Причиной этого могут быть вариации значений альбедо, аэрозольного состава облаков, надоблачной дымки, температурного поля и т. п. на протяжении разных масштабов времени. В работе [37] для оценки относительного количества темного вещества на диске Юпитера как некоторого фотометрического фактора атмосферной активности была предложена величина  $R_a$ , определяемая по фотометрическому профилю центрального меридиана. Был обнаружен почти циклический характер изменения  $R_a$  с периодами в интервале 9...23 года. В работах [4, 7, 11—13, 16—18] также указывалось на наличие циклов в изменении блеска планеты с периодами от 3 до 25 лет. Для поиска возможных периодичностей в работе [46] мы использовали оценки звездной величины Юпитера  $M_J$ , полученные в период 1835—1997 и дополнили их результатами работ [23, 31, 58, 59]. Всего мы получили около 300 индивидуальных оценок блеска Юпитера в спектральной полосе  $V$ . Усреднение за год проводилось по 5...21 отдельным наблюдениям. Точность определения звездной величины планеты по этим данным с повторной привязкой к фотометрическому стандарту Лун [14] во все годы была от 1 до 15 %; внутренняя точность каждой из серий измерений всегда составляла

меньше 4 %. Анализ полученных данных показал, что максимальные значения блеска Юпитера находятся возле фазы солнечного цикла с максимальными за последние 183 года числами Вольфа (1957 г.), а минимальные оценки блеска наблюдались в 1855 г., когда в цикле солнечной активности (СА) № 12 (11-летний цикл с максимумом в 1750 г. считается нулевым по Цюрихской классификации) числа Вольфа  $W$  имели минимальные значения [5]. Мы сравнили ход изменения  $M_J$  в визуальных лучах с вариациями  $W$  за почти два предыдущих столетия, и получили, что изменение блеска имеют максимумы для четных и минимумы для нечетных циклов СА. Это указывает на то, что в изменении видимого блеска Юпитера нагляднее проявляется не 11-летний цикл СА, а 22-летний магнитный цикл Хейла. Мы применили нашу программу спектрального анализа по методу максимума энтропии [42, 44] к рядам данных о видимом блеске Юпитера  $M_J$ . Это позволило обнаружить в их изменении составляющие с такими значениями периодов:  $T_1 = 23.9_{-0.9}^{1.2}$ ,  $T_2 = 22.1_{-0.8}^{1.1}$ ,  $T_3 = 11.87_{-0.5}^{0.7}$ ,  $T_4 = 11.1_{-0.5}^{0.6}$  и  $T_5 = 3.4_{-0.2}^{0.3}$  года. То есть, обнаружено проявление орбитального периода (11.87 года), удвоенного значения орбитального периода (23.9 года) и периодов СА (22.1 и 11.1 года). Причем в изменении интегрального блеска Юпитера намного четче проявляется именно хейловский магнитный цикл солнечной активности. Также нами подтверждена периодическая составляющая около 3.4 лет [12, 13] в изменении фотометрических характеристик атмосферы Юпитера. Такое значение периода можно объяснить наложением частот  $\frac{1}{5} \pm \frac{1}{2} \pm \frac{1}{3}$  и/или  $\frac{1}{5} \pm \frac{1}{2} \pm \frac{1}{3}$ , то есть удвоенного значения орбитального периода и 11.1-летнего цикла солнечной активности, или же 22.1-летнего хейловского магнитного цикла СА и орбитального периода Юпитера.

#### ВАРИАЦИИ ФАКТОРА АКТИВНОСТИ ПОЛУШАРИЙ ЮПИТЕРА

Изменение притока солнечного излучения к атмосфере Юпитера из-за вариаций солнечной активности глобально влияет на всю планету, что и видно по характеру изменения интегрального блеска Юпитера в видимом свете. А сезонный цикл проявляется в попеременном изменении оптических свойств разных полушарий планеты. В 1980-х гг. мы проанализировали данные об относительном распределении яркости вдоль центрального меридиана Юпитера, используя методику, примененную в наших работах [2, 36, 38, 39, 42, 52, 53] для анализа данных фотометрических наблюдений Сатурна. Для поиска сезонных изменений на Юпитере мы использовали данные фотометрических наблюдений из работ [4, 6, 8—13, 15, 29, 30, 32, 34, 55, 56], которые дополнили наблюдательными данными, полученными с 1979 по 2019 годы. В частности, использовались многочисленные данные, полученные любителями астрономии с помощью малых телескопов (см. сайты [<http://kardasis.weebly.com/>], [<http://obs.nineplanets.org/obs/obslist.html>],

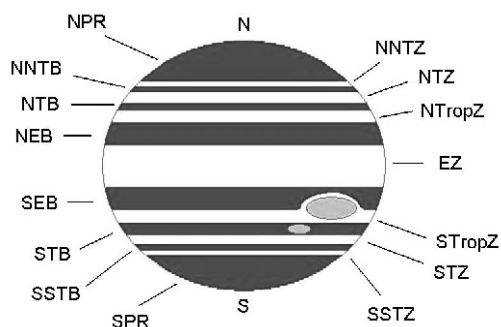


Рис. 1. Номенклатура зон и полос Юпитера; светлые зоны указаны справа, темные полосы — слева [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/23/Jupiterbands.JPG]

[http://www.acquerra.com.au/astro/gallery/jupiter/index.live]). Для анализа были отобраны около 390 изображений планеты удовлетворительного качества, полученных в 1960—2019 гг. в видимом спектральном диапазоне. Мы их оцифровали и по этим данным построили фотометрические сканы вдоль центрального меридиана от полюса до полюса. Затем сканы были нормированы на яркость самой светлой детали ( $I/I_{\max}$ ), и приведены к одинаковому линейному размеру. Во все эти годы наибольшие вариации отражательных свойств наблюдались в экваториальной зоне (EZ), в южной и северной тропических зонах (STrZ, NTrZ) и в умеренных областях планеты. Поэтому мы использовали отношение яркости северных и южных тропических и умеренных областей  $A_j = B_N/B_S$  в качестве фактора активности процессов, происходящих в атмосфере Юпитера. А поскольку границы зон и полос в обоих полушариях редко совпадают с показанными на рис. 1 общепринятыми показателями, то мы специально подбирали границы широтных поясов, которые затем использовали для вычисления параметра активности  $A_j$  за исследуемый период времени. Подбор широты кромок исследуемых областей в обоих полушариях мы определяли по методу наименьших квадратов, добиваясь наилучшего согласия хода вариаций  $A_j$  (кружки на рис. 2) с некоторой синусоидой (линия на рис. 2).

Проведенные нами вычисления по методу наименьших квадратов дали значение периода синусоиды  $11.87 \pm 0.05$  земных лет, что практически соответствует периоду обращения Юпитера вокруг Солнца. При расчетах подбор широты кромок варьировался в пределах значений  $0.20 \dots 0.65$  полярного радиуса Юпитера  $R_j$  от экватора до полюсов, на которых в разные годы находились края кромок светлых тропических и умеренных широтных поясов в обоих полушариях. В предположении радиационно-конвективного равновесия следует, что на одинаковых высотах в атмосфере светлые зоны — это поднимающиеся регионы с чуть большей температурой и повышенной облачностью. А темные — более холодные области с опускающимися массами воздуха при относительной безоблачности на тех же уровнях давления.

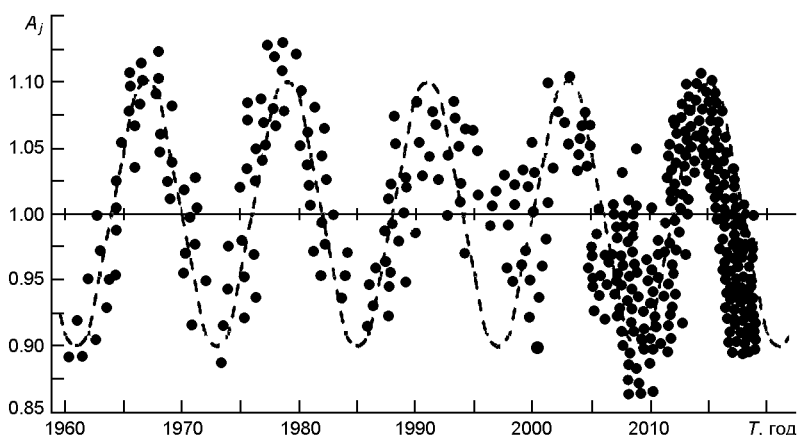


Рис. 2. Изменение фактора активности полушарий Юпитера  $A_J$  со временем  $T$

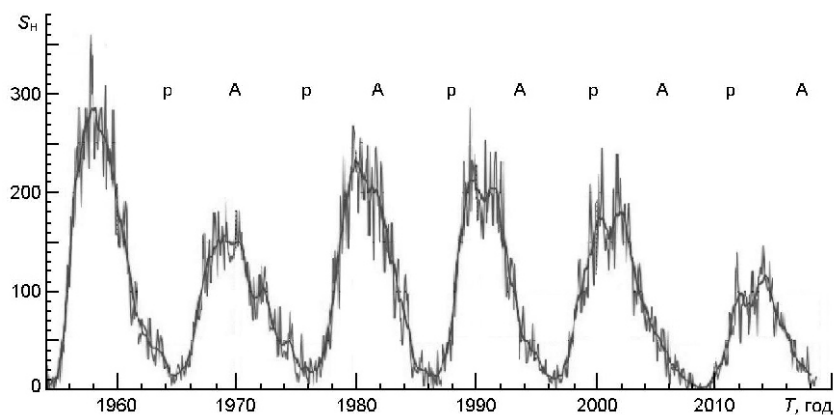


Рис. 3. Изменение индекса  $S_n$  солнечной активности со временем  $T$  по данным [[http://sidc.oma.be/html/sidc\\_graphics.html](http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html)]

Положения крайних кромок светлых широтных поясов  $B_S$  и  $B_N$  приходились на  $(0.35...56)R_J$  в южном и  $(0.30...51)R_J$  в северном полушарии. Скорее всего, полученная асимметрия вызвана наличием Большого Красного Пятна в южном полушарии, наличие которого сдвигает светлые широтные области к южной полярной области. Из рис. 2 видно, что в 1964.1, 1970, 1975.9, 1981.8, 1987.8, 1993.9, 2000, 2005.9, 2012, 2017.8 гг. усредненная синусоида проходит через значение  $A_J = 1$ . Моменты прохождения Юпитера через перигелий орбиты (на рис. 3 обозначено литерой «р») были близкими к моментам летнего для северного полушария планеты солнцестояния в 1963.8, 1975.6, 1987.5, 1999.3 и 2011.2 гг. Усредненная кривая зависимости  $A_J(T)$  проходила через минимумы своих значений приблизительно за 2.7 года до перигелия; минимальные отношения яркостей  $A_J(T)$  зарегистрированы в 1961.0, 1972.9, 1984.8, 1996.6 и 2008.4 гг. (следующее должно быть в 2020.2) гг.; максимальные — в 1967.1, 1979.0, 1990.9, 2002.7 и

2014.6 гг. В 1968—1970, 1980—1981, 1991—1994, 2003—2004 и 2014—2015 гг. Юпитер проходил возле афелия орбиты (на рис. 3 обозначено литерой «А»).

Для планетной атмосферы характерным является набор определенных движений и превращений. Они могут синхронизироваться под воздействием даже энергетически небольших, но регулярных внешних активных процессов [12, 18, 23]. Например, вариации облучения Солнцем влияют на динамику, кинематику и структуру видимых облаков [3, 54, 57, 58]. И это приводит к возникновению и разрушению периодичностей с разной продолжительностью в блеске всей планеты, в значениях альbedo отдельных деталей и участков на диске. Из зависимости  $A_J(T)$  на рис. 2 следует, что введенный нами фактор активности полушарий Юпитера  $A_J$  не всегда изменяется симметрично относительно его значения  $A_J = 1$ . Представленные данные получены в видимом свете. Состоящие из аммиака видимые облака расположены на уровнях давления 0.6...0.9 бар. Полученную синусоиду вариаций  $A_J$  мы сравнили с изменениями расстояния планеты от Солнца и индекса  $S_n$  солнечной активности (рис. 3). Первый (в 1967.1 г.) и второй (1979.0) максимумы зависимости  $A_J(T)$  имели место в моменты близкие к началу обширных (в 2.5...3.5 года) максимумов СА; третий (1990.9) — сразу же после момента максимума; четвертый (2002.7) — через 1.2 года, и пятый (2014.6) — через 2 года после максимума солнечной активности.

Ход изменений  $A_J$  в 1960—1995 гг. хорошо согласуется с периодической кривой со значением периода около 11.87 лет. В 1995—2012 годы симметричность нарушилась, но с 2012 г. периодичность в изменении  $A_J(T)$  начала восстанавливаться. Наши расчеты показали, что с 1960 до 1995 и с 2012 по 2019 гг. между ходом изменения фактора активности  $A_J(T)$ , вариациями солнечной активности и моментами прохождения Юпитером перигелия и афелия орбиты (с учетом некоторого сдвига между этими зависимостями) коэффициент корреляции превышал 0.8. Это говорит о том, что в указанные годы изменение притока солнечной энергии к полушариям планеты из-за вытянутости орбиты и вариаций солнечной активности были синхронизированы. С 1995 по 2012 гг. было заметным «разбалансирование» в периодичности изменения этих параметров. Но после 2012 г. изменения в притоке солнечной энергии к полушариям планеты из-за вытянутости орбиты и из-за вариаций СА снова стали синхронизоваться. Так, с апреля 2016 г. до середины 2018 г. Северная Тропическая Зона и рядом расположенные области Юпитера претерпели существенные преобразования: NTrZ начала постепенно заполняться темным веществом, и это продолжалось почти до начала 2018 г., когда на севере и юге от центра зоны над темными облачными слоями начали появляться высокие светлые облачные структуры; а посредине до этого светлой южной тропической зоны в мае 2018 г. появилось темное вещество в виде узкой горизонтальной полосы.

**ВЫВОДЫ**

Приведенные результаты наблюдений и анализ наблюдательных данных за 1960—2019 гг. показывают, что отношение  $A_J$  является наглядным фактором активности периодических процессов в атмосфере Юпитера. Оно позволяет говорить о попеременном увеличении яркости южных и северных тропических и умеренных областей за один период обращения Юпитера вокруг Солнца на протяжении 11.87 лет. Это указывает на сезонную перестройку атмосферы, системы ее циркуляции, структуры облаков и надоблачной дымки. Изменение со временем интегрального блеска Юпитера в визуальном участке спектра указывает на значительно более выраженное влияние 22.1-летнего хейловского магнитного цикла солнечной активности. Но отклик атмосферы на изменение режима ее облучения Солнцем происходил не мгновенно, а с некоторым запаздыванием. Результаты наблюдений в видимом свете в 1960—1995 и 2012—2019 гг. показывают синхронное запаздывание на 3.4 лет как реакцию на изменение облучения разных полушарий на 21 % при движении планеты по орбите. В 1995—2012 годы произошло рассогласование между ходом временной зависимости фактора активности полушарий атмосферы Юпитера, индекса активности Солнца и изменения режима облучения планеты Солнцем из-за его движения по орбите. Вариации, связанные с влиянием СА при изменении индекса активности  $S_n$ , вызваны преимущественно значительным изменением ультрафиолетового излучения Солнца. И это сказывается сначала на энергетике верхней атмосферы Юпитера, а затем такие изменения опосредованно передаются вглубь тропосферы, иногда уменьшая запаздывание  $A_J(T)$  на несколько месяцев. После 2012 г. ход временной зависимости  $A_J(T)$ , индекса активности Солнца  $S_n(T)$  и режима облучения Юпитера из-за его движения по орбите снова становятся согласованными. Это проявилось в восстановлении периодичности изменения фотометрических характеристик северного и южного полушарий Юпитера.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ**

Работа финансировалась в рамках планового финансирования учреждений Национальной академии наук Украины.

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. Р. 56—62.
3. Видьмаченко А. П. Планеты-гиганты. Теоретические и наблюдательные аспекты. *Астрон. вестн.* 1991. 25, май — июнь 1991. С. 277—292.
4. Гайсин С. М. Фотоэлектрическая спектрофотометрия Юпитера в 0,32—0,60 мкм. *Тр. Астрофиз. ин-та АН КазССР*. 1979. 35. Р. 45—65.

5. Рубашев Б. М. *Проблемы солнечной активности*. М: Наука. 1964. 563 с.
6. Сорокина Л. П. Максимальные контрасты на диске Юпитера в 1962—1969 гг. *Астрон. циркуляр*. 1973. № 749. С. 4—7.
7. Фесенков В. Г. Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос. *Изв. Астрофиз. ин-та. АН КазССР*. 1955. 1, № 1-2. С. 239—251.
8. Banos C. J. Contribution to the study of the Jupiter's atmosphere. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 58—67.
9. 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.
10. Beebe R. F., Suggs R. M., Little T. Seasonal north-south asymmetry in solar radiation incident on Jupiter's atmosphere. *Icarus*. 1986. 66, № 2. P. 359—365.
11. de Vaucouleurs G. *Photométrie des surfaces planétaires. Surfaces and interiors of planets and satellites*. 1970, P. 225—316.
12. Focas J. H. Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 56—57.
13. 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.
14. Hays D. L., Latham D. A., Hays S. Measurements of the monochromatic flux from Vega. *Astrophys. J.* 1975. 197, № 3, part 1. P. 587—592.
15. 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, № 4. P. 251—264.
16. Irvin V. M., Simon T., Menzel D. H. Multicolor photoelectric photometry of the brighter planets. III. Observation from Boyden Observatory. *Astron. J.* 1968. 73, № 8. P. 807—823.
17. 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, June 1980. P. 354—357.
18. Kostiuik T., Espenak F., Mumma M. J., et al. Variability of methane on Jupiter. *Icarus*. 1982. 72, № 2. P. 394—410.
19. Kuznyetsova Yu., Matsiaka O. Shliakhetskaya Ya. Krushevskaya V., Vidmachenko A., Andreev M., Sergeev A. Spectral researches of Solar system giant planets using 2-m telescope at the Peak Terskol. *Contribs Astron. Observ. Skalnaté Pleso*. 2014. 43, № 3. P. 461.
20. Morozhenko A. V. Zones and Belts of the Disk of Jupiter - Layer above the Clouds. *Solar System Research*. 1990. 24, № 3. P. 134.
21. Morozhenko A. V., Ovsak A. S., Vid'machenko A. P., Teifel V. G., Lysenko P. G. Imaginary part of the refractive index of aerosol in latitudinal belts of Jupiter's disc. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2016. 32, № 1. P. 30—37.
22. Orton G. S. Spatially resolved absolute spectral reflectivity of Jupiter: 3390—8400 Å. *Icarus*. 1975. 26, № 1. P. 159—174.
23. 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.
24. 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 Phys. Celestial Bodies*. 2015, 31, № 3. P. 119—130.
25. Peek B. M. *The planet Jupiter*. London: Faber & Faber. 1958. 456 p.
26. Pilcher C. B., McCord T. B. Narrow-band photometry of the bands of Jupiter. *Astrophys. J.* 1971. 165. P. 195—201.



27. Prinz R. The atmospheric activity of the planet Jupiter. I. From 1964 to 1968 in yellow light. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 68—73.
28. Prinz R. The atmospheric activity of the planet Jupiter. II. Short-term variations in five spectral ranges. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 73—79.
29. Reese E. J., Smith B. A. A rapidly moving spot on Jupiter's north temperate belt. *Icarus*. 1966. 5, № 3. P. 248—257.
30. 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. Astrophys.* 1985. 148. P. 67—78.
31. Shalygina O. S., Korokhin V. V., Starukhina L. V., Shalygin E. V., Marchenko G. P., Velikodsky Yu. I., Starodubtseva O. M., Akimov L. A. The north-south asymmetry of polarization of Jupiter: The causes of seasonal variations. *Solar System Research*. 2008. 42, Issue 1. P. 8—17.
32. Shliakhetska Ya. O., Vidmachenko A. P. About radiation constant of the atmosphere at cloudiness level according to Jupiter's photometry in 1960—2018. *50th Lunar and Planetary Science Conference 18-22 March, 2019*, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution No. 2083, id.1143.
33. Shliakhetska Ya. O., Vidmachenko A. P. Changes in the Activity of the Hemispheres of Jupiter in 2016—2017 Again Became Close to Periodic. *49th Lunar and Planetary Science Conference 19—23 March, 2018*, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution N. 2083, id.1079.
34. Smith B. A., Hunt G. E. Motions and morphology of clouds in the atmosphere of Jupiter. *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*, Tucson, University of Arizona Press, 1976. P. 564—585.
35. Starodubtseva O. M., Akimov L. A., Korokhin V. V. Seasonal variation of the North-South asymmetry of polarized light of Jupiter. *Icarus*. 2002. 157, № 2, P. 419—425.
36. Steklov A. F., Vidmachenko A. P., Miniailo N. F. Seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Soviet Astronomy Letters*. 1983. 9, Mar.-Apr. 1983. P. 135, 136.
37. 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. 99, № E4. P. 8411—8423.
38. Vidmachenko A. P. Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc. *Phys. planet. atmospheres*. 1981. P. 113—132.
39. Vidmachenko A. P. Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981. *Solar System Research*. 1985. 18, № 3, Jan. 1985. P. 123—128.
40. Vidmachenko A. P. Activity of processes in the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1985. 1, № 5. P. 101—102.
41. Vidmachenko A. P. Some dynamical parameters of the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1986. 2, № 1. P. 54—57.
42. Vidmachenko A. P. Manifestation of seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1987. 3, № 6. P. 9—12.
43. Vidmachenko A. P. Observable signs of internal waves in Jupiter's atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1988. 4, № 4. P. 40—46.
44. Vidmachenko A. P. Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations mount Maidanak. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1994. 10, № 5. P. 52—56.
45. Vidmachenko A. P. Settling of dust in Jupiter's atmosphere after the impact of fragments of comet Shoemaker-Levy 9. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1995. 11, № 4. P. 14—16.
46. Vidmachenko A. P. Temporal changes in methane absorption in Jupiter's atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1997. 13, № 6. P. 21—25.
47. Vidmachenko A. P. Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's

- atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1999. 15, № 5. P. 320—331.
48. Vidmachenko A. P. Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere. *Solar System Research*. 1999. 33. P. 464—469.
49. Vid'machenko A. P. Brightness variations on Jupiter and free oscillations in its atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2002. 18, № 3. P. 157—167.
50. Vidmachenko A. P. Seasons on Saturn. 1. Changes in reflecting characteristics of the atmosphere at 1964—2012. *Astronomical School's Report*. 2015. 11, № 1. P. 37—45.
51. Vidmachenko A. P. Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption. *Astronomical School's Report*. 2015. 11, № 2. P. 133—142.
52. Vidmachenko A. P. Influence of solar activity on seasonal variations of methane absorption in the atmosphere of Saturn. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2015. 31, № 3. P. 131—140.
53. Vidmachenko A. P. Influence of solar activity on the seasonal variation of methane absorption at Saturn. *17 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists, held May 20-22, 2015 in Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts*. 2015. P. 14—16.
54. Vidmachenko A. P. Periodic changes in the activity of Jupiter's hemispheres. *47th Lunar and Planetary Science Conference, held March 21—25, 2016 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution № 1903*. P. 1091.
55. Vidmachenko A. P. Seasonal changes on Jupiter. I. The factor activity of hemispheres. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2016. 32, № 4. P. 189—195.
56. Vidmachenko A. P. Seasonal Changes on Jupiter: 2. Influence of the Planet Exposure to the Sun. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2016. 32, № 6. P. 283—293.
57. Vidmachenko A. P. Periodicity in changes of Jupiter's hemispheres activity factor is continues to recover in 2018. *20 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. May 23—24 2018. The program and abstracts. Uman, Ukraine*. P. 93—95.
58. Vidmachenko A. P., Dlugach Zh. M., Morozhenko A. V. Nature of the optical nonuniformity in Saturn's disk. *Solar System Research*. 1984. 17. № 4. March 1984. P. 164—171.
59. Vidmachenko A. P., Klimenko V. M., Morozhenko A. V. Multicolor photometry of features on the disk of Jupiter. I - Relative spectrophotometry in the 1977—1978 observing period. *Solar System Research*. 1980. 14, № 2. Oct. 1980. P. 62—67.
60. Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F. Seasonal activity on Jupiter. *Soviet Astronomy Letters*. 1984. 10. Sept.—Oct. 1984. P. 289—290.
61. Wagener R., Caldwell J. Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere. *Icarus*. 1988. 74, № 1. P. 141—152.

## REFERENCES

1. Vidmachenko A. P. (1982) The electrophotometry of Saturn. I - The distribution of brightness over the equatorial regions in the spectral range of 0.3—0.6 micron. *Astrometriia i Astrofizika*. № 47. 70—75. (in Russian)
2. Vidmachenko A. P. (1984) Electrophotometry of Saturn. II - Spectral brightness distribution along the central meridian. *Astrometriia i Astrofizika*. № 51. 56—62. (in Russian)
3. Vidmachenko A. P. (1991) Giant planets — Theoretical and observational aspects. *Astronomicheskii Vestnik*. 25, May-June 1991. 277—292. (in Russian)
4. Gaisin S. M. (1979) Photoelectric spectrophotometry of Jupiter at 0.32—0.60 microns. *Trudy Astrofizicheskogo Instituta AN KazSSR*. 45—65. (in Russian)
5. Rubashev B. M. (1964) *Problemy solnechnoi aktivnosti*. M: Nauka. 563 p. (in Russian)
6. Sorokina L. P. (1973) Maximal contrasts on the Jovian disk in 1962—1969. *Astrono-*

- micheskii Tsirkulyar*. № 749. 4—7. (in Russian)
7. Fesenkov V. G. (1955) Yavleniya, nablyudayemyye na Yupitere. Proiskhozhdeniye temnykh polos. *Izvestiya Astrofiz. in-ta. AN Kaz. SSR*. 1(1-2). 239—251. (in Russian)
  8. Banos C. J. (1971) Contribution to the study of the Jupiter's atmosphere. *Icarus*. 15(1). 58—67.
  9. Beebe R. F., Orton G. S., West R. A. (1989) Time-variable nature of the Jovian cloud properties and thermal structure. Time variable phenomena in the Jovian system. Washington: NASA. 245—296.
  10. Beebe R. F., Suggs R. M., Little T. (1986) Seasonal north-south asymmetry in solar radiation incident on Jupiter's atmosphere. *Icarus*. 66(2). 359—365.
  11. de Vaucouleurs G. (1970) *Photométrie des surfaces planétaires. Surfaces and interiors of planets and satellites*. 225—316.
  12. Focas J. H. (1971) Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963. *Icarus*. 15(1). 56—57.
  13. Focas J. H., Banos C. J. (1964) Photometric study of the atmospheric activity on the planet Jupiter and peculiar activity in the equatorial area. *Ann. Astrophys.* 27. 36—45.
  14. Hays D. L., Latham D. A., Hays S. (1975) Measurements of the monochromatic flux from Vega. *Astrophys. J.* 197(3, part 1). 587—592.
  15. Irvin V. M., Simon T., Menzel D. H. (1968) Multicolor photoelectric photometry of the brighter planets. II. Observation from Le Houga Observatory. *Astron. J.* 73(4). 251—264.
  16. Irvin V. M., Simon T., Menzel D. H. (1968) Multicolor photoelectric photometry of the brighter planets. III. Observation from Boyden Observatory. *Astron. J.* 73(8). 807—823.
  17. Klimenko V. M., Morozhenko A. V., Vid'Machenko A. P. (1980) Phase effect for the brightness coefficient of the central disk of Saturn and features of Jupiter's disk. *Icarus*. 42, June 1980. 354—357.
  18. Kostiuik T., Espenak F., Mumma M. J., et al. (1982) Variability of methane on Jupiter. *Icarus*. 72(2). 394—410.
  19. Kuznyetsova Yu., Matsiaka O., Shliakhetskaya Ya., Krushevska V., Vidmachenko A., Andreev M., Sergeev A. (2014) Spectral Researches of Solar System Giant Planets Using 2-m Telescope at the Peak Terskol. *Contribs Astron. Observ. Skalnaté Pleso*. 43(3). 461.
  20. Morozhenko A. V. (1990) Zones and Belts of the Disk of Jupiter - Layer above the Clouds. *Solar System Research*. 24(3). 134.
  21. Morozhenko A. V., Ovsak A. S., Vid'machenko A. P., Teifel V. G., Lysenko P. G. (2016) Imaginary part of the refractive index of aerosol in latitudinal belts of Jupiter's disc. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 32(1). 30—37.
  22. Orton G. S. (1975) Spatially resolved absolute spectral reflectivity of Jupiter: 3390 — 8400 Å. *Icarus*. 26(1). 159—174.
  23. Orton G. S., Yanamandra-Fisher P. A., Caldwell J., et al. (1994) Spatial organization and time dependence of Jupiter's tropospheric temperatures, 1980—1993. *Science*. 265. 625—631.
  24. Ovsak A. S., Teifel V. G., Vid'machenko A. P., Lysenko P. G. (2015) 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 Phys. Celestial Bodies*. 31(3). 119—130.
  25. Peek B. M. (1958) The planet Jupiter. London: Faber & Faber. 456 p.
  26. Pilcher C. B., McCord T. B. (1971) Narrow-band photometry of the bands of Jupiter. *Astrophys. J.* 165. 195—201.
  27. Prinz R. (1971) The atmospheric activity of the planet Jupiter. I. From 1964 to 1968 in yellow light. *Icarus*. 15(1). 68—73.

28. Prinz R. (1971) The atmospheric activity of the planet Jupiter. II. Short-term variations in five spectral ranges. *Icarus*. 15(1). 73—79.
29. Reese E. J., Smith B. A. (1966) A rapidly moving spot on Jupiter's North Temperate Belt. *Icarus*. 5(3). 248—257.
30. Sanchez-Lavega A., Rodrigo R. (1985) Ground-based observations of synoptic cloud systems in southern equatorial to temperate latitudes of Jupiter from 1975 to 1983. *Astron. Astrophys.* 148. 67—78.
31. Shalygina O. S., Korokhin V. V., Starukhina L. V., Shalygin E. V., Marchenko G. P., Velikodsky Yu. I., Starodubtseva O. M., Akimov L. A. (2008) The north-south asymmetry of polarization of Jupiter: The causes of seasonal variations. *Solar System Research*. 42(1). 8—17.
32. Shliakhetska Ya. O., Vidmachenko A. P. (2019) About radiation constant of the atmosphere at cloudiness level according to Jupiter's photometry in 1960—2018. *50th Lunar and Planetary Science Conference 18-22 March, 2019*, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution No. 2083, id.1143.
33. Shliakhetska Ya. O., Vidmachenko A. P. (2018) Changes in the Activity of the Hemispheres of Jupiter in 2016—2017 Again Became Close to Periodic. *49th Lunar and Planetary Science Conference 19—23 March, 2018*, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution N. 2083, id.1079.
34. Smith B. A., Hunt G. E. (1976) Motions and morphology of clouds in the atmosphere of Jupiter. *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*, Tucson, University of Arizona Press. 564—585.
35. Starodubtseva O. M., Akimov L. A., Korokhin V. V. (2002) Seasonal variation of the north-south asymmetry of polarized light of Jupiter. *Icarus*. 157(2). 419—425.
36. Steklov A. F., Vidmachenko A. P., Minaiilo N. F. (1983) Seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Soviet Astronomy Letters*. 1983. 9, Mar.-Apr. 135—136.
37. Tejfel V. G., Vdovichenko V. D., Sinyaeva N. V., et al. (1994) Spectrophotometry of zonal cloud structure variations on Jupiter, 1988—1993. *J. Geophys. Res.* 99(E4). 8411—8423.
38. Vidmachenko A. P. (1981) Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc. *Phys. planet. atmospheres*. 113—132.
39. Vidmachenko A. P. (1985) Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981. *Solar System Research*. 18(3, Jan.). 123—128.
40. Vidmachenko A. P. (1985) Activity of processes in the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1(5). 101—102.
41. Vidmachenko A. P. (1986) Some dynamical parameters of the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2(1). 54—57.
42. Vidmachenko A. P. (1987) Manifestation of seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 3(6). 9—12.
43. Vidmachenko A. P. (1988) Observable signs of internal waves in Jupiter's atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 4(4). 40—46.
44. Vidmachenko A. P. (1994) Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations mount Maidanak. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 10(5). 52—56.
45. Vidmachenko A. P. (1995) Settling of dust in Jupiter's atmosphere after the impact of fragments of comet Shoemaker-Levy 9. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 11(4). 14—16.
46. Vidmachenko A. P. (1997) Temporal changes in methane absorption in Jupiter's atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 13(6). 21—25.
47. Vidmachenko A. P. (1999) Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 15(5). 320—331.
48. Vidmachenko A. P. (1999) Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere. *Solar System Research*. 33. 464—469.
49. Vid'machenko A. P. (2002) Brightness variations on Jupiter and free oscillations in its

- atmosphere. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 18(3). 157—167.
50. Vidmachenko A. P. (2015) Seasons on Saturn. 1. Changes in reflecting characteristics of the atmosphere at 1964—2012. *Astronomical School's Report*. 11(1). 37—45.
51. Vidmachenko A. P. (2015) Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption. *Astronomical School's Report*. 11(2). 133—142.
52. Vidmachenko A. P. (2015) Influence of solar activity on seasonal variations of methane absorption in the atmosphere of Saturn. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 31(3). 131—140.
53. Vidmachenko A. P. (2015) Influence of solar activity on the seasonal variation of methane absorption at Saturn. *17 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists*, held May 20—22, 2015 in Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. P. 14—16.
54. Vidmachenko A. P. (2016) Periodic changes in the activity of Jupiter's hemispheres. *47th Lunar and Planetary Science Conference*, held March 21—25, 2016 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution № 1903. 1091.
55. Vidmachenko A. P. (2016) Seasonal changes on Jupiter. I. The factor activity of hemispheres. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 32(4). 189—195.
56. Vidmachenko A. P. (2016) Seasonal Changes on Jupiter: 2. Influence of the Planet Exposure to the Sun. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 32(6). 283—293.
57. Vidmachenko A. P. (2018) Periodicity in changes of Jupiter's hemispheres activity factor is continues to recover in 2018. *20 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists*. May 23—24 2018. The program and abstracts. Uman, Ukraine. 93—95.
58. Vidmachenko A. P., Dlugach Zh. M., Morozhenko A. V. (1984) Nature of the optical nonuniformity in Saturn's disk. *Solar System Research*. 17. № 4. March 1984. P. 164—171.
59. Vidmachenko A. P., Klimenko V. M., Morozhenko A. V. (1980) Multicolor photometry of features on the disk of Jupiter. I - Relative spectrophotometry in the 1977—1978 observing period. *Solar System Research*. 14(2. Oct. 1980). 62—67.
60. Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F. (1984) Seasonal activity on Jupiter. *Soviet Astronomy Letters*. 10. Sept.—Oct. 1984). 289—290.
61. Wagener R., Caldwell J. (1988) Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere. *Icarus*. 74(1). 141—152.

*А. П. Відьмаченко*

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,  
Київ, Україна

#### СЕЗОННІ ЗМІНИ ФАКТОРА АКТИВНОСТІ ПІВКУЛЬ НА ЮПІТЕРІ ВІДНОВИЛИ ПЕРІОДИЧНІСТЬ

Зроблено висновок, що у потужній магнітосфері Юпітера підсонячна точка, змінюючи за орбітальний період своє положення на кут приблизно  $26^\circ$ , викликає варіації фізичних характеристик атмосфери, проявляючи сезонні зміни. Значний ексцентриситет планетної орбіти призводить до того, що приплив енергії до атмосфери у північній півкулі на 21 % більший, тому що у близький до літнього сонцестояння для північної півкулі момент планета перебуває у перигелії. Це викликає асиметрію меридіонального розподілу відбивних властивостей видимого хмарного шару. Аналіз спостережних даних за 1960—2019 рр. виявив, що відношення  $A_J = B_N/B_S$  добре описує зміни атмосферних процесів на Юпітері, показуючи квазіперіодичні варіації відбивних характеристик північних і південних помірних і тропічних регіонів за період обертання планети навколо Сонця протягом 11.87 років. Зміна інтегрального блиску Юпітера у візуальній смузі  $V$  вказує на більш виражений вплив 22.1-річного

хейлівського магнітного циклу сонячної активності. Результати спостережень у видимому світлі в 1960—1995 і 2012—2019 рр. показали синхронне запізнювання на кілька років як реакцію на зміну опромінення різних півкуль на 21 % при русі планети по орбіті. У 1995—2012 рр. мала місце неузгодженість ходу залежності  $A_J$ , індексу активності Сонця  $S_n$  і режиму опромінення Юпітера Сонцем унаслідок його орбітального руху. Після 2012 р. хід залежності з часом цих трьох параметрів знову став узгодженим, відновлюючи періодичність у змінах фотометричних характеристик північної та південної півкуль Юпітера.

**Ключові слова:** Юпітер, атмосфера, сезонні зміни.

*A. P. Vidmachenko*

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

#### SEASONAL CHANGES OF ACTIVITY FACTOR FOR JUPITER'S HEMISPHERES RESTORED ITS PERIODICITY

We have concluded that in the powerful magnetosphere of Jupiter, the sunflower point, changing over the orbital period by an angle of  $>26^\circ$ , causes variations in physical characteristics of the atmosphere, manifesting seasonal changes. A significant eccentricity of the planetary orbit leads to the fact that the influx of energy to the atmosphere in the northern hemisphere is 21 % greater, because at the moment close to the summer solstice for the northern hemisphere, the planet is at perihelion. This causes the asymmetry of the meridional distribution of the reflective properties of the visible cloud layer. Analysis of observational data for years 1960—2019 shows that the ratio  $A_J = B_N/B_S$  describes well the changes in atmospheric processes on Jupiter, showing quasi-periodic variations of reflective characteristics of northern and southern temperate and tropical regions during the period of orbital moving around Sun over 11.87 years. The change in Jupiter's integral brightness in the  $V$  visual filter indicates a more pronounced effect of a 22.1-year Hale magnetic cycle of solar activity. The results of observations in visible light in 1960—1995 and 2012—2019 showed a synchronous delay of several years as a reaction on a 21 % change of the influx to different hemispheres when the planet moves in orbit. In 1995—2012 a disagreement was observed between the dependence of  $A_J$ , the index of solar activity  $S_n$  and the mode of irradiation of Jupiter by the Sun due to its orbital motion. After 2012, the course of the time dependence of these three parameters again became consistent, restoring the periodicity in the changes in the photometric characteristics of the northern and southern hemispheres of Jupiter.

**Key words:** Jupiter, atmosphere, seasonal variations.

Стаття поступила в редакцію 18.02.2019

После доработки 12.04.2019

Принята к публикации 18.04.2019