



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 27 – 37

УДК 523.4

Периодические изменения активности процессов в атмосфере Юпитера

А.П. Видьмаченко

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

Вариации ювимагнитной широты Земли на Юпитере будут предпочтительными при солнечно-обусловленных изменениях отражательных свойств облаков и дымки. Из-за наличия эксцентриситета орбиты ($e=0,04845$) северное полушарие получает на 21% больший приток солнечной энергии к атмосфере, поскольку в близкий к летнему солнцестоянию момент Юпитер находится в перигелии. Результаты наших исследований показали, что отношение яркости северной и южной тропических и умеренных поясов является наглядным фактором фотометрической активности процессов в атмосфере Юпитера. Полученное из анализа наблюдательных данных за период с 1962 по 2015 год существование цикличности в изменении фактора активности полушарий планеты с периодом около 11,86 лет говорит о наличии сезонной перестройки физических параметров атмосферы Юпитера.

ПЕРІОДИЧНІ ЗМІНИ АКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ В АТМОСФЕРІ ЮПІТЕРА, Видьмаченко А.П. — Варіації ювімагнітної широти Землі на Юпітері є кращими для сонячно-обумовлених змін відбивних властивостей хмар і надхмарового туману. Через наявність ексцентриситету орбіти ($e=0,048450$) північна півкуля отримує на 21% більший приплив сонячної енергії до атмосфери, оскільки в близький до літнього сонцестояння момент Юпітер знаходиться в перигелії. Результати наших досліджень показали, що відношення яскравості північної і південної тропічних і помірних поясів є наочним фактором фотометричної активності атмосферних процесів на Юпітері. Отримане з аналізу спостережних даних за період з 1962 по 2015 рік існування циклічності у зміні фактора активності півкуль планети з періодом близько 11,86 років говорить про існування сезонної перебудови фізичних параметрів атмосфери Юпітера.

PERIODIC CHANGES OF THE ACTIVITY OF PROCESSES IN JUPITER'S ATMOSPHERE, by Vidmachenko A.P. — Variations of the Earth jovimagnetic latitude on Jupiter are preferred in solar-driven changes of reflective properties of clouds and haze on Jupiter. Because of the orbit eccentricity ($e=0,048450$) the northern hemisphere receives 21% greater solar energy flow to the atmosphere, because Jupiter is in the perihelia near the time of the summer solstice. Results of our studies showed that the ratio of the brightness of the northern and southern tropical and temperate regions is evident factor of the photometric activity of the Jupiter's atmospheric processes. The obtained from the analysis of observational data for the period from 1962 to 2015 existence of variations of activity factor of the planet hemispheres with a period of 11.86 years has allowed us to talk about an existence of the seasonal reconstruction of the physical parameters of Jupiter's atmosphere.

Ключевые слова: Юпитер; атмосфера; сезоны; солнечная активность.

Key words: Jupiter; atmosphere; seasonal variations; solar activity.

1. ВВЕДЕНИЕ

Приток солнечной энергии к атмосфере планеты существенно изменяется при ее обращении вокруг Солнца по вытянутой орбите [1, 8, 11, 17–19, 44, 72–74]. Это приводит к изменению физических характеристик планетных атмосфер [6, 10, 21–26, 29, 32–36, 39, 48–80, 82–94, 96–109]. Наклон оси вращения Юпитера к плоскости орбиты составляет $\sim 3,13^\circ$. В [78, 99, 107] мы показали, что даже при таких небольших вариациях наклона наблюдается заметная северо-южная асимметрия меридионального распределения отражательных свойств облаков Юпитера [12, 14, 38, 55, 58, 80, 88, 110, 111]. В мощной магнитосфере Юпитера предпочтительное влияние на изменение отражательных свойств облачного слоя планеты должны оказывать вариации ювимагнитной широты Земли φ_m , а не ювицентрической φ_E . Здесь $\varphi_m = \varphi_E + \beta \cos(\lambda - \lambda_0)$, где $\beta \approx 10^\circ$ — угол между магнитной осью и осью вращения Юпитера, λ — текущее значение долготы и λ_0 — долгота северного магнитного полюса планеты. При таких условиях за год подсолнечная точка на магнитосфере Юпитера изменяется более чем на 26° [85]. Из-за значительного эксцентриситета орбиты ($e \approx 0,0485$) северное полушарие получает почти на 21% больший приток солнечной энергии к атмосфере Юпитера, поскольку в близкий к летнему солнцестоянию момент находится в перигелии. Наши исследования [107] показали, что отношение яркости северной и южной тропических и умеренных областей A_J является наглядным фактором фотометрической активности атмосферных процессов на Юпитере. А полученное из спектрального математического анализа

Видьмаченко Анатолий Петрович; ✉ vida@mao.kiev.ua

Вісник Астрономічної школи, 2016, том 12, № 1

27

существование цикличности в долгопериодических колебаниях фактора активности A_J полушарий планеты с периодом около 11,86 лет позволило нам говорить о существовании сезонной перестройки физических параметров атмосферы Юпитера. Ниже представлены результаты анализа наблюдений Юпитера за период 1962–2015 гг.

2. АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ

Выполненный нами анализ вариаций интегральной звездной величины Юпитера M_J в фильтре V за 1862–1991 гг. и сравнение хода изменения значений блеска Юпитера M_J и чисел Вольфа W , характеризующих вариации активности процессов на Солнце, показали, что ход блеска имеет минимумы для нечетных и максимумы для четных циклов солнечной активности (СА) [99]. Это указывает на то, что в изменении видимого блеска Юпитера значительно нагляднее проявлялся 22-летний Хейловский магнитный цикл солнечной активности. Применяя ко всей совокупности имеющихся измерений нашу программу спектрального анализа фотометрических рядов наблюдательных данных по методу максимума энтропии [37, 68], мы обнаружили в изменении визуального блеска Юпитера наличие периодических составляющих с периодами около 23,9, 22,1, 11,88, 11,1 и 3,4 года. То есть обнаружено проявление удвоенного значения орбитального периода (23,9 года), самого орбитального периода (11,88 года) и периодов солнечной активности, характеризующихся изменением чисел Вольфа W (22,1 и 11,1 года). По характеру изменения интегрального блеска Юпитера в видимом свете мы видим, что солнечная активность глобально влияет на планету. Тогда как сезонный цикл должен проявиться в попеременном изменении оптических свойств разных полушарий планеты.

Для его обнаружения мы использовали данные наблюдений из многих работ [2–5, 9, 12–16, 25, 26, 28, 36, 38]; дополнили их полученными нами в 1979–1995 гг. наблюдательными данными и результатами оцифрованных нами изображений Юпитера, которые получены любителями астрономии в 1960–2015 гг. в видимом спектральном диапазоне; см., например, на сайтах [112–114] и т.п. После оцифровки изображений, полученные от южного до северного полюса фотометрические сканы вдоль центрального меридиана мы нормировали на яркость самой светлой детали и привели к одинаковому линейному размеру. Анализ этих результатов показал, что во все исследуемые годы облачный слой попеременно становился самым светлым на диске на широтах, где располагаются тропические (STrZ, NTrZ) и умеренные зоны и полосы Юпитера [16]. Подбор широты кромок определялся по методу наименьших квадратов для наилучшего согласия хода вариаций A_J (точки на рис. 1) с некоторой синусоидой (штриховая линия на рис. 1). Вычисления дали такие результаты: значение периода синусоиды $11,91 \pm 0,07$ земных лет; значения кромок светлых широтных поясов $0,35 - 56R_J$ в южном и $0,30 - 51R_J$ в северном полушарии (R_J — нормированное значение полярного радиуса Юпитера). Эта асимметрия, скорее всего, вызвана наличием в южном полушарии Большого Красного Пятна; его присутствие несколько сдвигает светлые пояса в южном полушарии к полярной области.

Моменты прохождения Юпитера через перигелий орбиты на расстоянии около 4,96 а.е. от Солнца практически совпадают с моментом летнего солнцестояния для северного полушария планеты (1963.8, 1975.6, 1987.5, 1998.7, 2010.6). Практически в эти же или близкие к ним моменты времени усредненная кривая зависимости $A_J(T)$ проходила через минимумы своих значений. А в 1969, 1981, 1993, 2004.5 и 2015 гг., когда Юпитер проходил через афелий своей орбиты, светлые тропические и умеренные широтные зоны (NTrZ, NTZ) были ярче в северном полушарии по сравнению с аналогичными южными широтами; темные тропические и умеренные пояса (NEB, NTrB) были темнее и насыщеннее в северном полушарии, чем аналогичные пояса в южном полушарии почти всегда в эти же годы. То есть максимальное отношение яркостей A_J почти всегда совпадает с максимальным расстоянием Юпитера до Солнца (в афелии). А минимальное отношение яркостей A_J практически всегда имело место в моменты времени, близкие или совпадающие с нахождением Юпитера на минимальном расстоянии до Солнца (в перигелии) при максимальном нагреве планеты, и особенно его северного полушария. Из рис. 1 видно, что в 1965, 1972, 1978, 1984, 1990, 1996, 2002, 2007 и 2013 гг. синусоида проходит через значение $A_J \approx 1$, когда яркости выбранных областей были приблизительно одинаковы.

Такие «узлы» повторяются через время, несколько меньшее, чем 6 лет, что практически совпадает с полупериодом обращения Юпитера вокруг Солнца. Максимальное отношение яркостей A_J имело место в 1969–1970, 1981, 1991–1995, 2003.5–2005.2 и 2015 гг. Это очень близко к моментам нахождения планеты на максимальном расстоянии до Солнца. Минимальные отношения яркостей A_J были в 1963–1964, 1975.6, 1987.5, 1998.7 и 2010.6 гг., когда Юпитер находился в перигелии на минимальном расстоянии до Солнца. В это время северное полушарие планеты максимально нагревалось Солнцем. 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. После 1995 г. стало заметным некоторое нарушение периодичности изменения отношений A_J и моментов прохождения планеты через перигелий и афелий.

В 1964, 1975, 1987 гг. в моменты нахождения 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 минимальным значениям. В 1969–1970 и 1980–1981 гг. планета проходила афелий. При этом она получала на 21% меньше энергии Солнца. Активность Солнца в эти моменты была максимальной с индексом солнечной активности, соответственно $R = 130$ и 170 .

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 значении $R = 198$. 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 шла к осеннему равноденствию. При этом с 1998 по 2003 г. увеличивается активность Солнца до значения индекса $R = 130 - 140$. В 2000–2001 гг. северные умеренно-тропические широты почти на год стали темнее на $\approx 15\%$, а с 2001 по 2004 гг. южные умеренно-тропические широты постепенно темнеют и снова становятся темнее на 5–9%. В самом начале 2004 г. на пару месяцев резко потемнело почти все южное полушарие. Но уже с середины 2004 и до конца 2005 г. быстро начало светлеть южное полушарие, а северное — темнеть. После 2003 и до 2010 г. полого от значения $R = 60$ до почти 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 облачные слои оставались с 2010 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 умеренная зона. После 2014 г. она по яркости превысила соответствующие широты противоположного полушария. В 2012–20015 гг. активность Солнца имеет широкий максимум со значениями $R = 60 - 80$.

Таким образом, из зависимости $A_J(T)$ на рис. 1 следует, что введенный нами фактор активности полушарий Юпитера A_J не всегда изменяется симметрично относительно его значения $A_J = 1$. Так, в 1969, 1981, 1993, 2004.5 и 2015 гг. Юпитер проходил через афелий своей орбиты в первые две даты

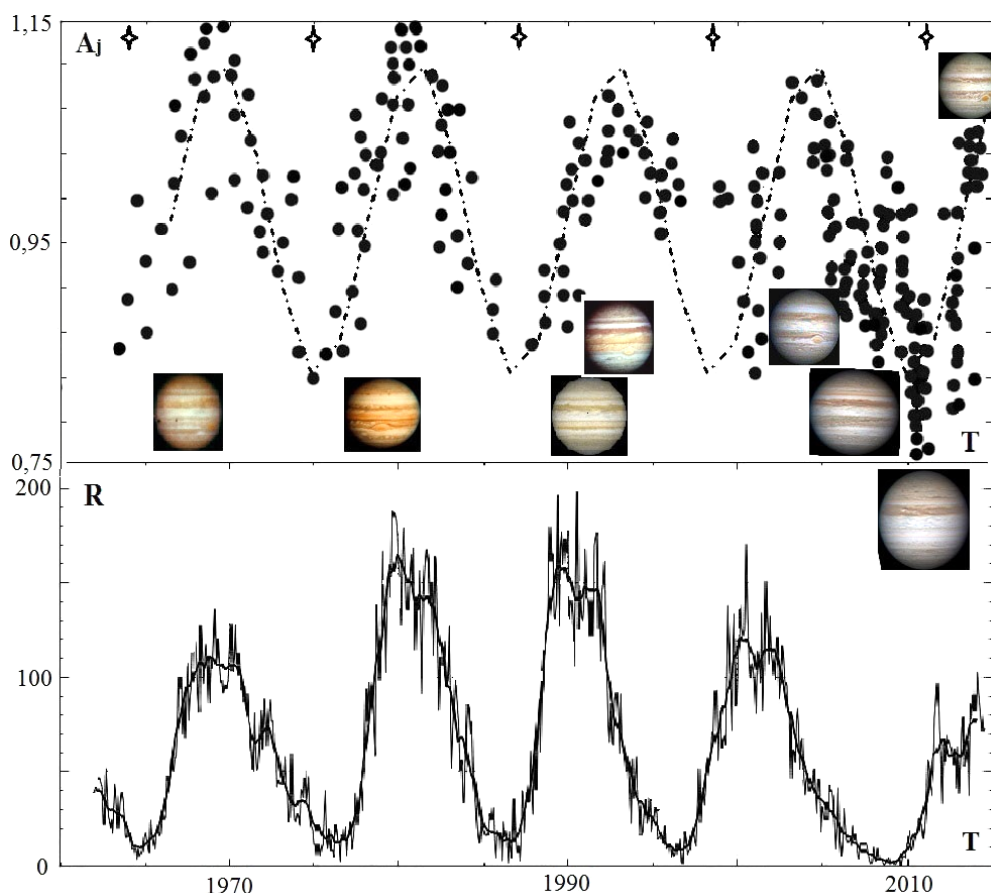


Рис. 1. Сверху — изменение значений фактора активности полушарий Юпитера A_J со временем T . Внизу — изменение индекса R солнечной активности со временем T [115]. Знаком \spadesuit отмечены моменты прохождения Юпитера через перигелий орбиты на расстоянии около 4.96 а.е. от Солнца.

практически в моменты максимумов солнечной активности, а затем постепенно сдвигался на 1–2 года после максимума, т.е. уже на спаде СА. Это вызвано тем, что период обращения Юпитера вокруг Солнца имеет значение $\approx 11,86$, а период СА $\approx 11,1$ лет. Солнечная активность характеризуется индексом R (рис. 1, внизу), зависимость которого со временем имеет довольно широкие максимумы со средними значениями $R \approx 105, 155, 170, 115$ 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 этих моментов 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, после 2014 года). Темные тропические и умеренные пояса (NEB, NTgB) в северном полушарии также были 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). Как видно, после 1995 г. проявился некоторый дисбаланс в периодичности изменения яркости тропических и умеренных поясов в северном и южном полушариях.

В годы возле широких минимумов СА (1964–1966, 1975–1977.5, 1984.7–1987.5, 1995.8–1997.5, 2006–2010.3), когда активность на Солнце характеризовалась малыми значениями индекса $R \approx 0 \div 15$, Юпитер проходил перигелий своей орбиты. Это было в 1963.8 (перед минимумом СА), 1975.6 (в минимуме), 1987.5 (в конце минимума), 1998.7 (после минимума), 2010.6 (после минимума). Практически в эти же или близкие к ним моменты времени усредненная кривая зависимости $A_J(T)$ (штрих-пунктир на рис. 1) также проходила через минимумы своих значений. При этом, светлые тропические и умеренные широтные пояса в южном полушарии (STrZ, STZ) были ярче, чем в северном в 1963, 1974–1976, 1985–1987, 2000 (кратковременно, менее года), 2007.2–2008 и с 2010 (когда светлым было все южное полушарие) по 2013.8 гг. То есть минимальные отношения яркостей северного и южного тропических и умеренных поясов имели место в моменты близкие ко времени, когда при лете в северном полушарии Юпитер находился в перигелии на минимальном расстоянии до Солнца. В это время северное полушарие планеты максимально облучалось Солнцем, но активность Солнца в эти годы была минимальной. Поэтому основной вклад в изменение притока солнечной энергии к атмосфере в такие моменты давала вытянутость орбиты при прохождении Юпитером через перигелий. Не соответствуют таким квазипериодическим изменениям результаты наблюдений Юпитера в 1996–1999.8 гг., когда вычисленный фактор активности был $A_J \approx 1$ вместо ожидаемого его уменьшения с минимумом в конце 1998 г. И лишь в самом конце 1999 и до середины 2000 г. (в момент, близкий к осеннему для северного полушария равноденствию) фактор активности A_J на несколько месяцев резко уменьшился на 15–18%. А затем его значение восстановилось до вычисленных для синусоиды величин, и с 2001 г. A_J стали снова соответствовать средней синусоиде. Отметим особенность, когда в середине 2007 г. на пару месяцев значение фактора активности A_J резко уменьшилось до 0,82. Но уже в начале 2008 г. яркость обоих полушарий стала практически одинаковой, тогда как яркость северных широт должна бы уменьшаться, а южных возрастать. И происходило это в весеннем для северного полушария равноденствии в минимуме СА при индексе $R < 5$, то есть 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 NTgB. 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 $A_J \approx 0,75$. Это на 10–12% меньше, чем во все исследуемые нами четыре предыдущие моменты минимумов значений A_J . В этот момент все южное полушарие было очень светлое.

Чем же для атмосферы Юпитера выделяются моменты времени после 1995 г.? Если в моменты прохождения перигелия и за 1–2 года до этих моментов в 1963.8, 1975.6 и 1987.5 гг. значение индекса СА было минимальным $R \approx 0 - 15$, то в момент прохождения планетой перигелия в 1998.7 г. индекс СА был довольно значительным $R \approx 40$. Да и в 2010.6 г. $R \approx 20$. То есть в эти моменты времени кроме прямого увеличения нагрева всей планеты на 21% из-за ее нахождения в перигелии, мы регистрируем еще и селективное влияние повышающейся активности Солнца. Причем оно будет существенно 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 до конца 1999.9 г. $A_J \approx 1$. 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 с индексом СА, доходящим до $R = 198$. В 2005 г. Юпитер прошел афелий и направился к перигелию в 2010.8 г. После 2004 до 2010 г. полого и долго, от $R \approx 30$ (2004) до значений $R \approx 8 \div 10$ (в 2007–2010), падает активность Солнца.

То есть в 1963–1995 гг. корреляция между изменениями фактора A_J , солнечной активностью и мо-

ментами прохождения перигелия и афелия орбиты была очень высокая. 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 синхронизированы. А 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. То есть стала очевидной несогласованность в подводе солнечной энергии к северному и южному полушариям Юпитера из-за изменения солнечной активности и движения планеты по вытянутой орбите. 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.

Следовательно, несмотря на удаление планеты к афелию орбиты, рост индекса солнечной активности приводит к дополнительному нагреву уже южного летнего полушария. И если приближение планеты к Солнцу в перигелии приводило к нагреву атмосферы, то тот факт, что в эти же моменты солнечная активность была минимальной — это создавало некоторый общий «охлаждающий» эффект.

3. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА АТМОСФЕРУ

Для атмосферы планеты характерным является свойственный только ей набор химических превращений и движений [7, 8, 10]. Если внешние воздействия достаточно регулярные, то даже будучи энергетически слабыми, они могут синхронизировать отдельные активные процессы [6, 18]. Информация о состоянии атмосферы 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 облаков. Одной из главных внешних причин, влияющих на атмосферу, является количество поступающего от Солнца излучения. 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. Радиация в разных длинах волн проникает к разным слоям атмосферы [8, 20, 27, 110]. 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. При этом происходит солнечно-обусловленное изменение только в верхней атмосфере [31], и затем осуществляется его передача вниз, например, к уровню облаков как 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 атмосферах Юпитера и Сатурна [30, 35, 74, 87, 100, 111]). Поэтому проявление солнечной активности в атмосферах следует искать, прежде всего, в тех длинах волн, где проявляется образующаяся в атмосферах планет-гигантов дымка из активных для данной атмосферы составляющих (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.

Напомним, что интенсивность крайнего ультрафиолета (< 100 нм) изменяется более чем вдвое за солнечный цикл [1, 11]. Но это излучение влияет преимущественно на термосферу. Изменения в длинах волн 200–300 нм в зависимости от солнечного цикла доходят 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 стратосферы [31]. Поэтому вариации излучения Солнца в диапазоне 170–390 нм могут связать солнечный цикл с циркуляцией атмосферы. 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 обилия продуктов фотохимических превращений метана CH_4 и аммиака NH_3 , образованию ядер конденсации и к 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. Аналогичная ситуация может наблюдаться и в атмосфере Юпитера, вызывая образование и разрушение тумана из продуктов фотолиза метана и аммиака. Связь солнечной активности с процессами в тропосфере должна быть куда более сложной, чем в случае верхних слоев атмосферы. Хотя, например, для атмосферы Земли было получено, 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. Причем данные наблюдений показали, что процессы в верхней тропосфере существенно опережают по времени процессы, происходящие в средней и нижней тропосфере. При этом солнечная активность по отношению к планетной атмосфере выступает, прежде всего, в качестве своеобразного синхронизатора различных физико-атмосферных явлений. И наименее инерционной в этом смысле является магнитосфера, а наиболее инерционной — тропосфера планеты.

4. О ВРЕМЕНИ РАДИАЦИОННОЙ РЕЛАКСАЦИИ ВОДОРОДНО-ГЕЛИЕВОЙ АТМОСФЕРЫ

В водородно-гелиевой атмосфере Юпитера такие газы, как метан и аммиак находятся в виде примеси на уровне меньше десятых долей процента. 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 NH_3 . Поэтому цикл солнечной активности и последствия орбитального движения приводят к изменению количественного и качественного состава атмосферы Юпитера. Результирующие вариации оптической толщины фотохимической дымки опосредовано могут значительно изменять доступ поступающей от Солнца энергии к погодообразующим слоям в атмосфере. Воздействие солнечного излучения на состояние планетной атмосферы зависит от ее мощности, природы фотохимически активных составляющих, присутствия магнитного поля, наличия радиационных поясов и т.п. Все это и приводит к появлению периодичностей разной продолжительности в блеске Юпитера, в отражательных характеристиках морфологических деталей и отдельных участков на диске. Это связано с изменением расстояния до Солнца, изменением альbedo планеты из-за переменной ширины и интенсивности темных и светлых облачных образований, с вариациями оптических характеристик атмосферы планеты. Вариации оптических характеристик атмосферы должны быть отображением различного рода нестабильностей, возмущений, пульсаций и т.п. кинематических и динамических характеристик. Теория атмосферной структуры и динамики Юпитера в предположении радиационно-конвективного равновесия показали [46–48, 70, 78, 95], что режим в видимых слоях облачности на низких широтах, вероятно, вызван инерциальной нестабильностью или вынужденной конвекцией с почти адиабатическим градиентом. Причем светлые зоны представляют собой регионы с большим давлением и температурой, с повышенной облачностью, а пояса — это регионы с более низким давлением, более 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 τ_R [27, 31, 38, 39], за которое атмосфера восстанавливает стабильное состояние после воздействия температурного возмущения $\frac{dT}{dt} = \frac{T_e - T}{\tau_R}$, где T_e — температура атмосферы в равновесном состоянии. Расчеты для водородно-гелиевой атмосферы с учетом радиационной непрозрачности гидрокарбонатов показали, что возле уровня тропопаузы $\tau_R \approx 10^8$ секунд (3,17 года) экспоненциально уменьшается до 10^5 с (≈ 10 суток) в верхней стратосфере и увеличивается до десятка лет на среднем уровне видимого слоя основной облачности на Юпитере.

Наблюдения показывают, что на уровне видимого облачного слоя температура в тропосфере изменяется с высотой по закону, очень близкому к адиабате [40]. Поэтому даже незначительное изменение 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 [24, 40, 42, 45, 81], 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 «Voyager-1, 2» в 1978–1979 гг. в момент, близкий к осеннему для северного полушария равноденствию, показали, что на уровнях с давлением $P \approx 1 \div 10$ мбар верхняя стратосфера в северном полушарии через 3 года после лета все еще была на 10 К теплее, чем в южном полушарии. То есть фазовая задержка теплового отклика (на один сезон, около 3 лет) совпадает с теоретической величиной времени радиационной релаксации для рассматриваемой высоты в стратосфере Юпитера [13, 27]. Большинство из отмеченных временных вариаций температуры в диапазоне широт $\leq |60^\circ|$, по нашему мнению, наиболее предпочтительно объяснить сезонными изменениями и значительными вариациями температуры из-за наличия эксцентриситета орбиты. Так, теоретические и модельные исследования [21, 24] дают вполне

обнаружимые вариации температуры на некоторых уровнях в атмосфере Юпитера, вызванные сезонным изменением инсоляции разных широтных поясов.

В [99] мы указывали, что размах колебаний яркости A_J в синем участке спектра почти на 25% больше, чем в видимом спектральном диапазоне. А соответствующий «узел» равенства яркости полушарий $A_J \approx 1$ на умеренных и тропических широтах 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) орбиты, дает наблюдаемую в видимом свете картину попеременного квазипериодического изменения яркости тропических и умеренных широтных поясов.

5. ВЫВОДЫ

Таким образом, выполненный анализ наблюдательных данных позволяет нам говорить о попеременном увеличении яркости то южных, то северных тропических и умеренных областей за один период обращения Юпитера вокруг Солнца, то есть о существовании сезонной перестройки в атмосфере Юпитера. 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. При этом отклик атмосферы на изменение планетоцентрического склонения Солнца (на режим облучения атмосферы Солнцем) происходит не мгновенно, а с существенным запаздыванием. Анализ зависимости отражательных характеристик полушарий Юпитера за результатами наблюдений в видимом свете в 1962–1995 годах показывает хорошо выраженное запаздывание на ≈ 6 лет, как реакцию на 21% изменение облучения разных полушарий при движении планеты по орбите. Такое значение хорошо совпадает со временем радиационной релаксации водородно-гелиевой атмосферы [27, 31, 41]. Произошедшее 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 опосредовано такие изменения могут передаваться вниз в тропосферу.

1. *Гайсин С.М.* Фотоэлектрическая спектрофотометрия Юпитера в 0.32–0.60 мкм // Труды астрофиз. ин-та АН Каз. ССР. — 1979. № 35. — С.35–65.
2. *Дементьев М.С., Мороженко А.В.* // Зоны и полосы диска Юпитера. Различие в вертикальной структуре облачных слоев // *Астрономический вестник*. — 1990. — **24**, № 4. — С.275–287.
3. *Клименко В.М.* Многоцветная фотометрия деталей диска Юпитера. II. Абсолютная отражательная способность // *Астрономический вестник*. — 1980. — **14**, № 3. — С.148–153.
4. *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.
5. *Куклин Г.В.* Солнце и солнечно-земные связи. // *Международная геосферно-биосферная программа «глобальные изменения»*. — М.: Наука, 1989. — Вып.1. — С.24–33.
6. *Лоренц Э.Н.* Природа и теория общей циркуляции атмосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. — 260 с.
7. *Мирошниченко Л.И.* Солнечная активность и Земля. — М.: Наука, 1981. — 144 с.
8. *Мороженко А.В.* Зоны и полосы диска Юпитера. Надоблачный слой // *Астрономический вестник*. — 1990. — **24**, № 3. — С.211–220.
9. *Морской Г.И.* О конвекционной теории изменения давления // *Метеорология и гидрология*. — 1967. — № 1. — С.123–142.
10. *Рубашев Б.Ш.* Проблемы солнечной активности. — М.-Л.: Наука, 1964. — 563 с.
11. *Саламахина Т.И., Сорокина Л.П.* Факторы активности Юпитера в 1976–1977 гг. // Труды Астрофиз. ин-та АН Каз ССР. — 1979. — № 35. — С.66–71.
12. *Смит Б., Хант Дж.* Движение и морфология облаков в атмосфере Юпитера // *Юпитер*. Т.2. — М.: Мир, 1979. — С.433–459.

13. *Сорокина Л.П.* Максимальные контрасты на диске Юпитера в 1962–1968 гг. // *Астрономический циркуляр*. — 1973. — № 749. — С.4–7.
14. *Тейфель В.Г.* Морфология молекулярного поглощения на диске Юпитера // *Юпитер*. Т.2. — М.: Мир, 1979. — С.292–341.
15. *Фесенков В.Г.* Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос // *Известия Астрофиз. ин-та АН Каз. ССР*. — 1955. — **1**, № 1–2. — С.239–251.
16. *Шугрин С.М., Обут А.М.* Солнечная активность и биосфера. — Новосибирск: Наука, 1986. — 128 с.
17. *Эйгенсон М.С.* Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. — Львов: Издательство Львовского университета, 1957. — 230 с.
18. *Эйгенсон М.С., Гневышев М.Н., Оль А.И., Рубашев Б.М.* Солнечная активность и ее земные проявления. — М.-Л.: ОГИЗ, 1948. — 323 с.
19. *Banos C.J.* Contribution to the study of the Jupiter's atmosphere // *Icarus*. — 1971. — **15**, № 1. — P.58–67.
20. *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.
21. *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.
22. *Dlugach Zh. M., Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P., Yanovitskij E.G.* Investigations of the optical properties of Saturn's atmosphere carried out at the Main astronomical observatory of the Ukrainian Academy of sciences // *Icarus*. — 1983. — **54**, № 2. — P.319–336.
23. *Flasar F.M.* Temporal behavior of Jupiter's meteorology // *Time-variable phenomena in the Jovian system*. — Washington: NASA, 1989. — P.324–343.
24. *Focas J.H.* Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904–1963 // *Icarus*. — 1971. — **15**, № 1. — P.56–57.
25. *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.
26. *Gierasch P.J., Goody R.M.* Radiative time constant in the atmosphere of Jupiter // *Journal of Atmospheric Science*. — 1969. — **26**. — P.979–980.
27. *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.
28. *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.
29. *Kostiuk T., Espenak F., Mumma M.J., et al.* Variability of methane on Jupiter // *Icarus*. — 1982. — **72**, № 2. — P.394–410.
30. *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.
31. *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 and Physics of Celestial Bodies*. — 2016. — **32**, № 1. — P.30–37.
32. *Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P.* Problems of remote investigations of planets // 34th COSPAR Scientific assembly. The second world space congress. Huston, Texas, USA. 10–19 October 2002. — P.54–55.
33. *Orton G.S., Yanamandra-Fisher P.A., Caldwell J., et al.* Spatial organization and time dependence of Jupiter's tropospheric temperatures, 1980–1993 // *Science*. — 1994. — **265**. — P.625–631.
34. *Ovsak A.S., Teifel V.G., Vid'machenko A.P., Lysenko P.G.* Zonal differences in the vertical structure of the cloud cover of Jupiter from the measurements of the methane absorption bands at 727 and 619 nm // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2015. — **31**, № 3. — P.119–130.
35. *Prinz R.* The atmospheric activity of the planet Jupiter. II. Short-term variations in five spectral ranges // *Icarus*. — 1971. — **15**, № 1. — P.73–79.
36. *Rozenbush V.K., Rspaev F.K., Churyumov K.I., Vidmachenko A.P., Gorodetskii D.I.* Variations of the Rates of Gas and Dust Production in Comet Halley // *Soviet Astronomy Letters*. — 1989. — **15**, № 2. — P.155.
37. *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.
38. *Steklov A.F., Vidmachenko A.P., Miniailo N.F.* Seasonal variations in the atmosphere of Saturn // *Soviet Astronomy Letters*. — 1983. — **9**. — 1983. — P.135, 136.
39. *Stone P.H.* The meteorology of the Jovian atmosphere // In: *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*. Tucson, University of Arizona Press, 1976. — P.586–618.
40. *Trafton L.M., Stone P.H.* Radiative-Dynamical Equilibrium States for Jupiter // *Astrophysical Journal*. — 1974. — **188**. — P.649–656.
41. *Vid'machenko A.P.* A new method for registration of oscillations in atmospheres of Jovian planets // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. Suppl.* № 3. — 2000. — P.206–208.
42. *Vid'machenko A.P.* Absolute electrophotometry of features of Saturn's disc // *Physics of planetary atmospheres*. — 1981. — P.113–132.

43. *Vid'machenko A.P.* Absolute electrophotometry of the B ring of Saturn // Physics of planetary atmospheres. — 1981. — P.132–138.
44. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations and free oscillations in Jupiter's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 2002. — **18**, №3. — P.227–242.
45. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations of celestial objects in astronomical observations at the Maidanank Mountain // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1994. — **10**, №5. — P.62–68.
46. *Vid'machenko A.P.* Giant planets — Theoretical and observational aspects // Astronomicheskii Vestnik. — 1991. — **25**. — P.277–292.
47. *Vid'machenko A.P.* Observed manifestations of inner wave processes in the atmosphere of Jupiter // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1988. — **4**. — P.40–46.
48. *Vid'machenko A.P.* On activity of Jupiter's atmosphere // 29th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 16–20, 1998, Houston, TX, abstract №1092.
49. *Vid'machenko A.P.* On the activity of Jupiter's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1985. — **1**, №5. — P.91.
50. *Vid'machenko A.P.* Polarization characteristics of Jupiter's latitude belts // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1989. — **5**, №4. — P.45–47.
51. *Vid'machenko A.P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1999. — **15**, №5. — P.430–446.
52. *Vid'machenko A.P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1999. — **15**, №5. — P.320–331.
53. *Vid'machenko A.P.* Settling of dust in Jupiter's atmosphere after the impact of fragments of comet Shoemaker-Levy 9 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1995. — **11**, №4. — P.14–16.
54. *Vid'machenko A.P.* Temporal changes in methane absorption in Jupiter's atmosphere // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 1997. — **13**, №6. — P.21–25.
55. *Vid'machenko A.P.* The albedo of the southern equatorial region of Saturn in 1977–1981 // Astronomicheskii Vestnik. — 1984. — **18**, №3. — P.191–198.
56. *Vid'machenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1987. — **3**. — P.10–12.
57. *Vid'machenko A.P.* Time variations of methane absorption in the Jupiter's atmosphere // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1997. — **10**, №6. — P.26–32.
58. *Vid'machenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // Astronomicheskii Vestnik. — 1999. — **33**, №6. — P.527–535.
59. *Vid'machenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // Solar System Research. — 1999. — **33**, №6. — P.464.
60. *Vid'machenko A.P., Dlugach Zh. M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical inhomogeneity of Saturn's disk // Astronomicheskii Vestnik. — 1983. — **17**, №4. — P.216–224.
61. *Vid'machenko A.P., Dovgopol A.N., Klimenko V.M., Shaolovskij V.I.* Spectral values of transmittance of the Earth's atmosphere on Mt. Majdanak // Methods for increasing the efficiency of optical telescopes. — 1987. — P.51–60.
62. *Vid'machenko A.P., Morozhenko A.V., Klimenko V.M.* Phase effect for the brightness coefficient of the central disk of Saturn and features of Jupiter's disk // Icarus. — 1980. — **42**, №3. — P.354–357.
63. *Vid'machenko A.P., Morozhenko O.V.* Space investigations and physics of the Solar system bodies // Research Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (Naukovi visti). — 2006. — №6. — P.71–81.
64. *Vid'machenko A.P.* Variations of the reflective characteristics of Jupiter's atmosphere // 31st Lunar and Planetary Science Conference. March 13–17, 2000. Houston, Texas. Abstract №1060.
65. *Vid'machenko A.P.* Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system // XVIII International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists". The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.23–27.
66. *Vid'machenko A.P.* Atmospheres of giant planets // Astronomical School's report. — 2008. — **4**, №2. — P.92–103.
67. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations of celestial objects in astronomical observations at the Maidanank mountain // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. — 1994. — **10**, №5. — P.62–68.
68. *Vid'machenko A.P.* Electrophotometry of Saturn. II — Spectral brightness distribution along the central meridian // Astrometriia i Astrofizika. — 1984. — **51**. — P.56–62.
69. *Vid'machenko A.P.* Giant planets — Theoretical and observational aspects // Astronomicheskii Vestnik. — 1991. — **25**. — P.277–292.
70. *Vid'machenko A.P.* Influence of solar activity on Jupiter's atmosphere // XVIII International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists". The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.17–19.
71. *Vid'machenko 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**, №3. — P.131–140.

72. *Vidmachenko A.P.* Influence of Solar Activity on the Brightness Factor of Photometric Activity of Jupiter's Hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference. March 21–25, 2016. Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1903. — P.1092.
73. *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”. May 20–22, 2015. Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. — P.14–16.
74. *Vidmachenko A.P.* Observations of planets in UV // Ultraviolet Universe, Proceedings of the Conference “Scientific prospects of the space ultraviolet observatory SPECTRUM-UV”, held 16–17 November 2000. Publisher: Moscow: GEOS, 2001. Edited by B.M. Shustov, D.S. Wiebe, ISBN: 05891181746. — P.209–220.
75. *Vidmachenko A.P.* Observed manifestations of inner wave processes in the atmosphere of Jupiter // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1988. — **4**. — P.40–46.
76. *Vidmachenko A.P.* On activity of Jupiter's atmosphere // 29th Annual Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20, 1998. Houston, TX, abstract no. 1092. — P.1–2.
77. *Vidmachenko A.P.* On the activity of Jupiter's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1985. — **1**, №5. — P.91.
78. *Vidmachenko A.P.* Periodic Changes in the Activity of Jupiter's Hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference. March 21–25, 2016. Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1903. — P.1091.
79. *Vidmachenko A.P.* Periodic changes in the activity of the hemispheres of Jupiter // XVIII International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. The program and abstracts. National Aviation University, Kyiv, Ukraine. May 26–27, 2016. — P.19–21.
80. *Vidmachenko A.P.* Planetary atmospheres // *Astronomical School's Report.* — 2009. — **6**, №1. — P.56–68.
81. *Vidmachenko A.P.* Possible effect of the rings on the photometric properties of Saturn's cloud layer // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1985. — **1**, №6. — P.12–15.
82. *Vidmachenko A.P.* Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981 // *Solar System Research.* — 1985. — **18**, №3. — P.123–128.
83. *Vidmachenko A.P.* Reflectivity of Saturn's south equatorial region from 1977 through 1981 // *Astronomicheskii Vestnik.* — 1984. — **18**. — P.191–198.
84. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // *Astronomical School's Report.* — 2000. — **1**, №2. — P.91–105.
85. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes in the reflection characteristics of Saturn in 4 moments of Saturnian equinox // 17 International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. May 20–22 2015. Zhytomyr, Ukraine. The program and abstracts. — P.10–14.
86. *Vidmachenko A.P.* Seasonal Changes of Methane Absorption in the Saturn Atmosphere // 46th Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20, 2015. Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832. — P.1051.
87. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes on Jupiter. 1. The factor activity of hemispheres // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* — 2016. — **32**, №4. — P.16–27.
88. *Vidmachenko A.P.* Seasonal Variation of Methane Absorption at Saturn's Atmosphere // *Astronomicheskii Tsirkulyar.* — 1984. — №1331. — P.1.
89. *Vidmachenko A.P.* Seasonal variations in the optical characteristics of Saturn's atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* — 1999. — **15**, №5. — P.320–331.
90. *Vidmachenko A.P.* Seasons on Saturn. I. Changes in reflecting characteristics of the atmosphere at 1964–2012 // *Astronomical School's Report.* — 2015. — **11**, №1. — P.1–14.
91. *Vidmachenko A.P.* Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption // *Astronomical School's Report.* — 2015. — **11**, №2. — P.15–23.
92. *Vidmachenko A.P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // 46th Lunar and Planetary Science Conference, held March 16–20, 2015 in The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832. — P.1052.
93. *Vidmachenko A.P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // 44th Lunar and Planetary Science Conference. March 16–20, 2015. Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1832. — P.1052.
94. *Vidmachenko A.P.* Some dynamical parameters of the Jupiter atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1986. — **2**, №1. — P.48–51.
95. *Vidmachenko A.P.* The appearance of seasonal variations in Saturn's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1987. — **3**, №6. — P.10–12.
96. *Vidmachenko A.P.* 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.* — 1982. — **47**. — P.70–75.
97. *Vidmachenko A.P.* Time variations of methane absorption in the Jupiter's atmosphere // *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.* — 1997. — **13**, №6. — P.26–32.
98. *Vidmachenko A.P.* Variations in Reflective Characteristics of Jupiter's Atmosphere // *Solar System Research.* — 1999. — **33**. — P.464–469.
99. *Vidmachenko A.P., Dlugach Zh.M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical nonuniformity in Saturn's disk // *Solar System Research.* — 1984. — **17**, №4. — P.164–171.

100. *Vidmachenko A.P., Dlugach Zh.M., Morozhenko A.V.* Nature of the optical inhomogeneity of Saturn's disk // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1983. — **17**, № 4. — P.216–224.
101. *Vidmachenko A.P., Dovgopol A.N., Klimenko V.M., Shaolovskij V.I.* The transparency of the Earth's atmosphere on Maidanak mountain from observations at 1977–1985. 1. Average per night coefficients of transparency // *Kinematics and physics of celestial bodies*, deposited in VINITI, M.: vyP.7, № 6261–85, 1985, Kiev, 14 p.
102. *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 // *Astronomicheskii Vestnik*. — 1980. — **14**, Apr.-June. P.80–85.
103. *Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V.* The transparence of the Earth atmosphere on Maidanak mountain during the autumn and winter of 1977–1978 // *Astrometriia i Astrofizika*. — 1979. — **39**. — P.84–87.
104. *Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V.* The study of the satellites surfaces and the rings of the giant planets. Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine Press. Kyiv, Ltd. Dia. — 2012. — 255 p.
105. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // *Soviet Astronomy Letters*. — 1984. — **10**. — P.289–290.
106. *Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Minyajlo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // *Pisma v Astronomicheskii Zhurnal*. — 1984. — **10**. — P.691–695.
107. *Vidmachenko A.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // *Astronomical School's Report*. — 2000. — **1**, № 1. — P.91–105.
108. *Vidmachenko A., Morozhenko O.* Rings of Saturn // *Astronomical almanac 2011*. — 2010. — **57**. — P.238–264.
109. *Wagener R., Caldwell J.* Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere // *Icarus*. — 1988. — **74**, № 1. — P.141–152.
110. *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**, № 1. — P.34–53.
111. <http://kardasis.weebly.com/> — Manos Kardasis.
112. <http://obs.nineplanets.org/obs/obslist.html> — Amateur Astronomical Observatories.
113. <http://www.acquerra.com.au/astro/gallery/jupiter/index.live> — Anthony Wesley.
114. http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html

Поступила в редакцию 14.07.2016
Принята к печати 25.08.2016