

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2020.01.024>

УДК 523.45

А. П. Відьмаченко

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,
вул. Академіка Заболотного 27, Київ, Україна, 03143
vida@mao.kiev.ua

Про час радіаційної релаксації воднево-гелієвої атмосфери, визначений по зміні фактора активності півкуль Юпітера

Підсонячна точка на магнітосфері Юпітера за період обертання навколо Сонця змінює своє положення на кут приблизно 26° , показуючи сезонні зміни фізичних і оптичних характеристик атмосфери планети. У близький до літнього сонцестояння для північної півкулі момент Юпітер знаходиться у перигелії. Тому через значний ексцентриситет орбіти приплив енергії до атмосфери у північній півкулі на 21 % більший, ніж у південній. Це призводить до асиметрії меридіонального розподілу відбивних властивостей видимих хмар. Аналіз результатів спостережень Юпітера за 1960—2019 рр. показав, що відношення $A_J = B_N / B_S$ є показовим фактором активності процесів у атмосфері Юпітера, виявляючи періодичне збільшення яскравості то південних, то північних тропічних і помірних областей за один період обертання Юпітера навколо Сонця. Відгук атмосфери на зміну режиму її опромінення Сонцем відбувається не миттєво, а з деяким запізненням. Результати спостережень у видимому світлі в 1960—1995 і 2012—2019 рр. показують синхронне запізнення на 3.4 роки ($\tau_R = 1.07 \cdot 10^8$ с) як реакцію на 21 % зміни опромінення різних півкуль при русі планети по орбіті. У 1995—2012 рр. спостерігалася неузгодженість ходу залежності A_J , індексу активності Сонця S_n і режиму опромінення Юпітера Сонцем внаслідок його руху по орбіті. Варіації, пов'язані з впливом сонячної активності, викликані переважно значною зміною ультрафіолетового випромінювання Сонця. Це позначається спочатку на енергетиці верхньої атмосфери Юпітера, і потім такі зміни опосередковано передаються вглиб тропосфери, іноді зменшуючи значення постійної релаксації τ_R при-

близно до 2.5 років. Після 2012 р. хід часової залежності A_J , індексу активності Сонця і режиму опромінення Юпітера унаслідок його руху по орбіті знову стали узгодженими. Також відновилися періодичність змін фотометричних характеристик північної та південної півкуль Юпітера.

Ключові слова: Юпітер, атмосфера, сезони, сонячна активність, радіаційна релаксація

ВСТУП

Ми показали [17], що завдяки потужній магнітосфері на відбивні властивості надхмарного серпанку і основного хмарного шару Юпітера сильніше впливають зміни йовімагнітної широти m , а не йовіцентричної широти E . Адже підсонячна точка на магнітосфері планети за орбітальний період зсувається більш ніж на 26° [18, 19]. Велике значення ексцентриситету орбіти ($e = 0.0485$) викликає у близький до літнього сонцестояння момент майже на 21 % більший приплив енергії до атмосфери у північній півкулі планети через те, що у перигелії саме воно нахилене до Сонця. Це призводить до варіацій фізичних характеристик атмосфери, показуючи сезонні зміни [11, 20] через значну асиметрію меридіонального розподілу відбивних властивостей видимих хмар [15, 21]. Причиною цього можуть бути варіації температурного поля на різних масштабах часу. Так, деякі дослідники змогли виявити циклічний характер змін відбивних властивостей планети зі значеннями періодів в інтервалі 3...25 років [1, 3, 10].

Для пошуку можливих періодичностей в роботі [17] ми використовували близько 300 індивідуальних оцінок V_J блиску Юпітера у видимому спектральному діапазоні, отримані у період 1835—1997. Порівняння ходу змін V_J з варіаціями чисел Вольфа W показало, що блиск планети має максимуми у парних і мінімуми — у непарних циклах сонячної активності (СА). Нагадаємо, що 11-річний цикл з максимумом в 1750 р. вважається нульовим за Цюрихською класифікацією). Тобто, у зміні видимого блиску Юпітера чіткіше проявлявся 22.1-річний магнітний цикл Хейла. Застосування нашої програми спектрального аналізу за методом максимуму ентропії [16] до часового ряду даних $V_J(T)$ дозволило виявити в їхніх змінах значення періодів $T_1 = 23.9$, $T_2 = 22.1$, $T_3 = 11.87$, $T_4 = 11.1$ і $T_5 = 3.4$ р., тобто, орбітальний (~ 11.87 р.) і подвоєний орбітальний періоди (~ 23.9 р.), періоди СА (22.1 і 11.1 р.), а також значення періоду $T_5 = 3.4$ р., яке ми пояснюємо накладенням пар частот: $\frac{1}{5} \pm \frac{1}{1} \pm \frac{1}{4}$ і/або $\frac{1}{5} \pm \frac{1}{2} \pm \frac{1}{3}$ [18].

ЗМІНА ФАКТОРА АКТИВНОСТІ ПІВКУЛЬ ЮПІТЕРА

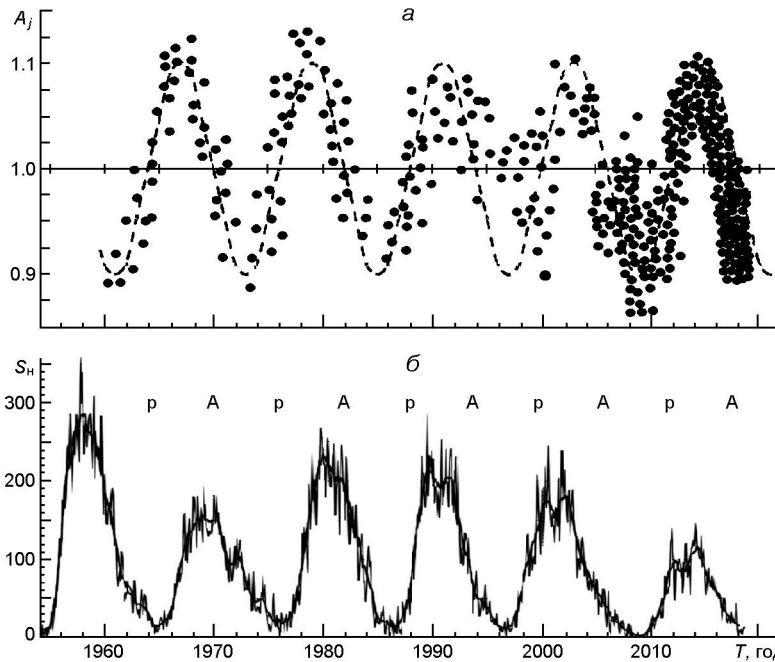
Варіації припливу випромінювання Сонця до атмосфери Юпітера через сонячну активність глобально впливають на всю планету. А сезон-

ні зміни проявляються через зміну оптичних властивостей різних півкуль планети. Ми проаналізували дані про відносний розподіл яскравості вздовж центрального меридіана Юпітера. Для реєстрації сезонних змін ми використали дані спостережень з робіт [7, 9, 12, 15, 20, 21], доповнені даними, отриманими у видимому спектральному діапазоні любителями астрономії з 1960 по 2019 р. Як фактор активності процесів, які відбуваються в атмосфері Юпітера, ми використовували відношення яскравості північних і південних тропічних і помірних областей $A_J = B_N / B_S$. Апроксимуванням варіацій синусоїдою (пунктир) отримано значення її періоду 11.87 ± 0.05 земних років. Це практично відповідає періоду обертання Юпітера навколо Сонця.

Вважають, що світлі області на диску Юпітера (зони) — це регіони, що піднімаються в атмосфері, мають підвищену хмарність і трохи більшу температуру, ніж темніші холодні області з атмосферними масами, що опускаються при відносній безхмарності на тих же рівнях тиску. З рисунка видно, що моменти проходження Юпітера через перигелій своєї орбіти (позначено літерою «р» на фрагменті б), у 1963.8, 1975.6, 1987.5, 1999.3 і 2011.2 рр. були близькими до моментів літнього для північної півкулі сонцестояння. Залежність $A_J(T)$ у 1967.1, 1979.0, 1990.9, 2002.7 і 2014.6 рр. мала максимальні значення, а мінімальні значення $A_J(T)$ спостерігалися у 1961.0, 1972.9, 1984.8, 1996.6 і 2008.4 рр. У 1968—1970, 1980—1981, 1991—1994, 2003—2004 та 2014—2015 рр. планета проходила афелій (позначено літерою «А»). З рисунка випливає, що фактор активності півкуль Юпітера $A_J(T)$ не завжди симетрично змінювався відносно лінії $A_J(T) = 1$. У 1960—1995 і 2012—2019 рр. кореляція між змінами сонячної активності і проходженнями перигелію і афелію орбіти (при врахуванні певного зміщення між цими періодичними залежностями) перевищувала 80 %. З 1995 по 2012 р. видно «розбалансування» в періодичності зміни цих характеристик. Тобто, після 1995 р. стала помітною неузгодженість у підводі сонячної енергії до північної і південної півкуль Юпітера, при якій зменшення загального припливу сонячної енергії до зимової північної півкулі дещо компенсувалося зростанням сонячної активності.

ВПЛИВ ВИПРОМІНЮВАННЯ СОНЦЯ НА АТМОСФЕРУ

Інформація про стан планетної атмосфери і її зміни приходить до спостерігача у широкому спектральному діапазоні. Це випромінювання формується на висотах, що лежать на десятки кілометрів вище і нижче видимої кромки хмар [13]. Головною зовнішньою причиною, що впливає на атмосферу, є кількість енергії, що надходить від Сонця у різних довжинах хвиль. Вона змінюється з часом через нахил осі обертання планети і наявність ексцентриситету орбіти.



Зміни фактора A_j активності півкуль Юпітера з часом T (а) та його апроксимація синусоїдою (штрихова лінія), б — зміни індекса S_n сонячної активності з часом [17]

Відзначимо, що зміна майже на 21 % припливу повної сонячної енергії переважно позначається на глибоких шарах атмосфери (нижня і середня тропосфера). І відбувається це з затримкою на кілька років, адже радіаційна часова постійна в цих шарах — значна (роки) [2, 4, 6]. А зміна припливу через варіації активності Сонця у видимій ділянці спектру змінюється на десятки частки відсотка. При цьому помітні варіації можуть відбутися в нижній стратосфері і верхній тропосфері за час від десятків діб до декількох років. При змінах опромінення на 1 % і більше варіації видимих хмар можуть бути помічені вже через кілька днів. В ультрафіолеті варіації сонячної енергії протягом циклу СА перевищують 30 %. Це УФ-випромінювання впливає на температурні умови переважно у стратосферних шарах із запізненням від тижнів до 1-2 років [5, 14], і потім ці збурення передаються вниз до рівня видимих хмар.

Результати досліджень показали, що найменш інерційною є магнітосфера Юпітера, а найбільш інерційною — її нижня тропосфера. З цієї причини віддалення планети до афелію орбіти при зростанні сонячної активності буде призводити до додаткового нагрівання стратосфери та верхньої тропосфери вже південної літньої півкулі. Натомість наближення планети до Сонця у перигелії призведе до нагрівання більш глибоких шарів тропосфери. Якщо ж у ці моменти сонячна активність була мінімальною, то такий факт міг би викликати певний «охладжувальний» ефект. Саме такий спільний вплив на

атмосферу Юпітера цих двох факторів міг призводити до неузгодженості періодичності характеру зміни яскравості північної і південної півкуль. Це викликано тим, що період обертання Юпітера навколо Сонця має значення близько 11.86, а період СА близький до 11.1 років. Тому вплив варіацій опромінення Сонцем всієї планети і селективного впливу сонячної активності на різні півкулі дасть спостережувану картину почергової квазіперіодичної зміни яскравості тропічних і помірних широтних поясів у видимому світлі. Подібний симбіоз впливу сонячної енергії на стратосферу і тропосферу Юпітера і міг призвести до того, що починаючи з 2016 р. внаслідок потемніння NTrZ відношення A_J ставало все меншим.

Сонячна активність характеризується індексом S_n (рисунок б), зміна якого з часом показує широкі максимуми з середніми значеннями S_n 105, 155, 170, 115 і 70 відповідно 1967—1970, 1979—1982, 1989—1992, 2000—2002 і 2012—2015 рр. У близькі до перших двох інтервалів часу літо було у південній півкулі. У роки біля широких мінімумів СА в 1964—1966, 1974—1977, 1985—1987, 1995—1997, 2006—2010 і 2018—2019 роках сонячна активність характеризувалася дуже малими значеннями індексу $S_n = 0...15$. У перші три інтервали часу Юпітер перебував недалеко від перигелію, у наступні два інтервали планета проходила перигелій через 1.5...2 роки після мінімумів СА. І це було в 1963.8 р. перед мінімумом СА, у 1975.6 р. — у мінімумі, в 1987.5 р. наприкінці мінімуму, 1999.3 р. після мінімуму і в 2011.2 р. після мінімуму сонячної активності. Після 1995 р. у моменти проходження перигелію індекс СА був досить значним: у 1999.3 р. $S_n > 110$, і в 2011.2 р. $S_n > 30$. Тобто, у ці моменти часу, крім прямого збільшення нагрівання всієї планети на 21 % через її положення у перигелії, ми реєстрували ще і прояв селективного впливу зростаючої активності Сонця. При цьому воно було великим для нахиленої до Сонця північної півкулі. Починаючи з 2012 р. узгодження між моментами проходження Юпітера через обрані точки орбіти і циклами СА знову стало відновлюватися (рисунок а), причому в 2012—2015 рр. СА мала широкий максимум зі значеннями = 80...115. Тобто, в 2012—2019 рр. (як і в 1962—1995 рр.) коефіцієнт кореляції між змінами фактора A_J і сонячної активності (і моментами проходження перигелію і афелію орбіти) знову перевищував значення 0.8 [17]. Причиною цього могла бути синхронізація змін припливу сонячної енергії до півкуль планети через витягнутість орбіти і через варіації СА. Тому з квітня 2016 до початку другої половини 2018 р. NTrZ і розташовані поруч області Юпітера істотно змінилися: світлу зону почала «заповнювати» темна речовина, з початку 2018 р. на північ і на південь від центральної частини зони над темними хмарними шарами почали з'являтися висотні світлі хмари, а у травні 2018 р. усередині світлої STrZ вузькою смужкою стала з'являтися темна речовина.

ПРО ЧАС РАДІАЦІЙНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ ВОДНЕВО-ГЕЛІЄВОЇ АТМОСФЕРИ

У воднево-гелієвій атмосфері Юпітера такі гази, як аміак і метан, є малими домішками на рівні часток відсотка. Внаслідок віддаленості від Сонця температура у фотохімічно активних областях атмосфери Юпітера досить низька. У поєднанні з переважним вмістом H_2 це дає фотохімічні процеси, продуктами яких є аміак NH_3 і складні вуглеводні.

Для планетної атмосфери важливою постійною є час радіаційної релаксації τ_R , протягом якого після впливу деякого температурного збурення $dT/dt = (T_e - T)/\tau_R$ (де T_e — температура атмосфери при рівноважному стані) дане середовище відновлює свою стабільність. Зазвичай для воднево-гелієвої атмосфери з наявністю гідрокарбонатів на рівні тропопаузи характерне значення $\tau_R = 10^8$ с (3.17 року). Воно експоненціально зменшується до 10^5 с (10 діб) у верхній стратосфері і збільшується у 2-3 рази нижче рівня видимого шару хмар на Юпітері.

В роботі [15] ми виявили, що у синій ділянці спектру розмах коливань яскравості A_J майже на 25 % більший, ніж у видимому спектральному діапазоні. А рівність яскравості півкуль ($A_J = 1$) на помірних і тропічних широтах у синій ділянці спектру спостерігається на кілька років раніше, ніж у видимому діапазоні спектру. Це пояснюється тим, що «синя» частина відбитого хмарами Юпітера світла формується вище в атмосфері — при менших значеннях тиску. Тому зміна відстані до Сонця сильніше позначається на глибших шарах атмосфери (нижня і середня тропосфера), де радіаційна часова постійна велика. А сонячна активність помітніше впливає на верхню тропосферу і стратосферу, де значення τ_R істотно менше, і атмосфера «відгукується» на зміну сонячного опромінення швидше (одиниці років, місяці, або навіть дні). Спільна дія варіацій опромінення планети Сонцем внаслідок впливу сонячної активності, зміни опромінення планети сонячним світлом при проходженні перигелію орбіти (у літній час у північній півкулі) і афелію (у літній час у південній півкулі), дає спостерігається у видимому світлі картину поперемінних квазіперіодичних змін яскравості тропічних і помірних широтних поясів.

Представлені нами на рисунку *a* дані отримано у видимому світлі. Складені з аміаку видимі хмари розташовані на рівнях тиску 0.6... 0.9 бар. Отриману синусоїду варіацій A_J ми порівняли зі змінами відстані планети від Сонця і індексу S_n сонячної активності (рисунком *b*). Перший (1967.1) і другий (1979.0) максимуми обчисленої нами залежності $A_J(T)$ мали місце у моменти, близькі до початку тривалих (2.5... 3.5 років) максимумів S_n , третій (1990.9) — відразу ж після моменту максимуму, четвертий (2002.7) — через 1.2 року, і п'ятий (2014.6) — через 2 роки після максимуму сонячної активності. Зміна A_J у 1960—1995 і 2012—2019 рр. добре узгоджується з періодичною кривою з періодом близько 11.87 років, у 1995—2012 рр. симетричність пору-

шилася. Оброблені нами дані за 1960—2019 рр. (за майже 5 юпітеріанських років) показали, що побудована нами синусоїда для відношення $A_J \approx B_N / B_S$ досягала максимального значення в середньому через 3.4 року після моменту проходження Юпітером перигелію. Таке значення запізнювання переважно є реакцією на 21 % зміну опромінення воднево-гелієвої атмосфери в різних півкулях при русі планети по орбіті. Це відповідає значенню радіаційної постійної τ_R

$1.07 \cdot 10^8$ с на рівні видимих хмар Юпітера. Спостережуване в 1995—2012 рр. розузгодження періодичності зміни фактора активності A_J вказує на зміну середнього значення радіаційної постійної. Велика кількість спостережного матеріалу, отримана після 1998 р., значення максимуму в 2014.6 р. розрахованої за 59 років синусоїди і зсув назад на 9-10 місяців ходу зміни фактора активності A_J за результатами спостережень в останнє десятиліття — вказують на зменшення значення радіаційної постійної τ_R . Такий сумарний ефект від впливу опромінення Юпітера Сонцем внаслідок руху по орбіті на характеристики глибоких шарів атмосфери, і накладення змін ультрафіолетового потоку від Сонця внаслідок варіацій сонячної активності на верхню атмосферу, на зовнішній шар хмар і на надхмарний серпанок — вказують на зменшення значення радіаційної постійної майже на 10 місяців. Одержані оцінки дають середнє значення радіаційної постійної $\tau_R \approx 0.79 \cdot 10^8$ с (2.5 роки).

ВИСНОВКИ

Наведені результати спостережень і аналіз спостережних даних за 1960—2019 рр. показують, що відношення A_J є показовим фактором активності атмосферних процесів на Юпітері і дозволяють говорити про почергове збільшення яскравості південних і північних тропічних і помірних областей за один період (11.87 років) обертання Юпітера навколо Сонця. Це вказує на процеси сезонної перебудови в атмосфері Юпітера, її системи циркуляції, структури хмар і надхмарного серпанку. Зміна з часом інтегрального блиску Юпітера у візуальній ділянці спектру вказує на більш виражений вплив 22.1-річного хейлівського магнітного циклу сонячної активності. Але відгук атмосфери на зміну режиму її опромінення Сонцем відбувається не миттєво, а з деяким запізненням. Результати спостережень у видимому світлі в 1960—1995 і 2012—2019 рр. показують синхронне запізнювання на 3.4 років ($\tau_R \approx 1.07 \cdot 10^8$ с) як реакцію на 21 % зміну опромінення різних півкуль при русі планети по орбіті. У 1995—2012 рр. сталася неузгодженість ходу залежності з часом фактора активності півкуль атмосфери Юпітера, індексу активності Сонця і зміни режиму опромінення Юпітера Сонцем через його рух по орбіті. Варіації, пов'язані із впливом СА при зміні індексу активності S_n , викликані пе-

реважно значною зміною УФ-випромінювання Сонця. Це позначилося спочатку на енергетиці верхньої атмосфери Юпітера, і потім ці збурення опосередковано почали передаватися вглиб тропосфери, зменшуючи середнє значення радіаційної постійної τ_R приблизно від 3.4 до 2.5 років.

1. 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.
2. Drossart P., Courtin R., Atreya S., Tokunaga A. Variations in the Jovian atmospheric composition and chemistry. *Time-variable phenomena in the Jovian system*. Washington: NASA, 1989. P. 344—362.
3. Focas J. H. Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 56—57.
4. Gallis L. V., Nealy J. E. Temperature UV variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents. *Geophys. Res. Lett.* 1978. 5. P. 249.
5. Gierasch P. J., Goody R. M. Radiative time constant in the atmosphere of Jupiter. *J. Atmos. Sci.* 1969. 26. P. 979—980.
6. 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.
7. Kuznyetsova Yu., Matsiaka O. Shliakhetskaya Ya., Krushevska 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.
8. 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.
9. 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.
10. Peek B. M. *The planet Jupiter*. London: Faber & Faber. 1958. 456 p.
11. Prinz R. The atmospheric activity of the planet Jupiter. I. From 1964 to 1968 in yellow light. *Icarus*. 1971. 15, № 1. P. 68—73.
12. Sanchez-Lavega A., Rodrigo R. Ground-based observations of synoptic cloud systems in southern equatorial to temperate latitudes of Jupiter from 1975 to 1983. *Astron. and Astrophys.* 1985. 148. P. 67—78.
13. Stone P. H. The meteorology of the Jovian atmosphere. *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*. Tucson, University of Arizona Press, 1976. P. 586—618.
14. Trafton L. M., Stone P. H. Radiative-dynamical equilibrium states for Jupiter. *Astrophys. J.* 1974. 188. P. 649—656.
15. Vidmachenko A. P. Activity of processes in the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1985. 1, № 5. P. 101—102.
16. 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.
17. Vidmachenko A. P. Seasonal variations in the activity factor of Jupiter's hemispheres restored their periodicity. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2019. 35. N 4. P. 195—201.

18. Vidmachenko A. P. Seasonal changes on Jupiter. I. The factor activity of hemispheres. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 2016. 32, № 4. P. 189—195.
19. 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.
20. Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F. Seasonal activity on Jupiter. *Soviet Astron. Lett.* 1984. 10. Sept.—Oct. 1984. P. 289—290.
21. Wagener R., Caldwell J. Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere. *Icarus*. 1988. 74, № 1. P. 141—152.

REFERENCES

1. 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.
2. Drossart P., Courtin R., Atreya S., Tokunaga A. (1989) Variations in the Jovian atmospheric composition and chemistry. *Time-variable phenomena in the Jovian system*. Washington: NASA, 344—362.
3. Focas J. H. (1971) Activity in Jupiter's atmospheric belts between 1904—1963. *Icarus*. 15(1). 56—57.
4. Gallis L. V., Nealy J. E. (1978) Temperature UV variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents. *Geophys. Res. Lett.* 5. 249.
5. Gierasch P. J., Goody R. M. (1969) Radiative time constant in the atmosphere of Jupiter. *J. Atmos. Sci.* 26. 979—980.
6. Kuroda T., Medvedev A. S., Hartogh P. (2014) Parameterization of radiative heating and cooling rates in the stratosphere of Jupiter. *Icarus*. 242. 149—157.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
11. Prinz R. (1971) The atmospheric activity of the planet Jupiter. I. From 1964 to 1968 in yellow light. *Icarus*. 15(1). 68—73.
12. 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. and Astrophys.* 148. 67—78.
13. Stone P. H. (1976) The meteorology of the Jovian atmosphere. In: *Jupiter: Studies of the interior, atmosphere, magnetosphere and satellites*. Tucson, University of Arizona Press, 586—618.
14. Trafton L. M., Stone P. H. (1974) Radiative-dynamical equilibrium states for Jupiter. *Astrophys. J.* 188. 649—656.
15. Vidmachenko A. P. (1985) Activity of processes in the atmosphere of Jupiter. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 1(5). 101—102.
16. Vidmachenko A. P. (1994) Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations Mount Maidanak. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 10(5). 52—56.

17. Vidmachenko A. P. (2019) Seasonal variations in the activity factor of Jupiter's hemispheres restored their periodicity. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 35(4). 195—201.
18. Vidmachenko A. P. (2016) Seasonal changes on Jupiter. I. The factor activity of hemispheres. *Kinematics Phys. Celestial Bodies*. 32(4). 189—195.
19. 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.
20. Vidmachenko A. P., Steklov A. F., Minyailo N. F. (1984) Seasonal activity on Jupiter. *Soviet Astronomy Letters*. 10. Sept.—Oct. 289—290.
21. Wagener R., Caldwell J. (1988) Strong north/south asymmetry in the Jovian atmosphere. *Icarus*. 74(1). 141—152.

А. П. Видьмаченко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
Киев, Украина

О ВРЕМЕНИ РАДИАЦИОННОЙ РЕЛАКСАЦИИ ВОДОРОДНО-ГЕЛИЕВОЙ АТМОСФЕРЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМОМ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ФАКТОРА АКТИВНОСТИ ПОЛУШАРИЙ ЮПИТЕРА

Подсолнечная точка на магнитосфере Юпитера за период обращения вокруг Солнца изменяет свое положение на угол примерно 26° , вызывая сезонные изменения физических и оптических характеристик атмосферы планеты. В близкий к летнему солнцестоянию для северного полушария момент Юпитер находится в перигелии. Поэтому из-за значительного эксцентриситета орбиты приток энергии к атмосфере в северном полушарии на 21 % больший, чем в южном. Это приводит к асимметрии меридионального распределения отражательных свойств видимых облаков. Анализ фотометрических наблюдений Юпитера за 1960—2019 гг. показал, что отношение $A_J \cdot B_N / B_S$ является наглядным фактором активности процессов в атмосфере Юпитера, показывая периодическое увеличение яркости то южных, то северных тропических и умеренных областей за один период обращения Юпитера вокруг Солнца. Отклик атмосферы на изменение режима ее облучения Солнцем происходит не мгновенно, а с некоторым запаздыванием. Результаты наблюдений в видимом свете в 1960—1995 и 2012—2019 гг. показывают синхронное запаздывание на 3.4 года ($\tau \approx 1.07 \cdot 10^8$ с) как реакцию на 21 % изменение облучения разных полушарий 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 движения по орбите. Вариации, связанные с влиянием солнечной активности, вызваны преимущественно значительным изменением ультрафиолетового излучения Солнца. Это сказывается сначала на энергетике верхней атмосферы Юпитера, и затем такие изменения опосредованно передаются вглубь тропосферы, иногда уменьшая значение постоянной релаксации τ примерно до 2.5 лет. После 2012 г. ход временной зависимости A_J , индекса активности Солнца и режима облучения Юпитера из-за его движения по орбите — снова стали согласованными. Также восстановилась периодичность в изменениях фотометрических характеристик северного и южного полушарий Юпитера.

Ключевые слова: Юпитер, атмосфера, сезоны, солнечная активность, радиационная релаксация.

A. P. Vidmachenko

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

ABOUT THE TIME OF RADIATION RELAXATION
OF THE HYDROGEN-HELIUM ATMOSPHERE,
DETERMINED ON THE CHANGE IN THE ACTIVITY FACTOR
OF JUPITER'S HEMISPHERES

At the time of the summer solstice for the northern hemisphere, Jupiter is in perihelion. Therefore, due to the significant eccentricity of the orbit, the influx of energy into the atmosphere of the northern hemisphere is 21 % more than for the southern hemisphere. This leads to the asymmetry of the meridional distribution of the reflective properties of visible clouds. An analysis of the results of Jupiter's observations for 1960—2019 showed that the ratio $A_J = B_N / B_S$ is a good factor in the activity of processes in the atmosphere of Jupiter, showing a periodic increase in the brightness of the southern and northern tropical and temperate regions during the orbiting of Jupiter around the Sun. The reaction of the atmosphere to a change of its influx by the sun does not occur instantaneously, but with some delay. The results of Jupiter's observations in visible light in 1960—1995 and 2012—2019 show a synchronous delay on 3.4 years ($\tau_R \sim 1.07 \cdot 10^8$ s) in response to a 21 % change in the irradiation of different hemispheres when the planet moves in orbit. In 1995—2012 a discrepancy was observed between the dependence A_J , the index of solar activity S_n and the mode of irradiation of Jupiter by the Sun due to its orbital motion. Variations associated with the influence of solar activity, mainly due to significant changes in the ultraviolet radiation of the Sun. This first affects the energetics of the upper atmosphere of Jupiter, and then such changes are indirectly transmitted into the troposphere, sometimes reducing the value of the constant relaxation τ_R to ~ 2.5 years. After 2012, the course of the time dependence of A_J , the index of solar activity and the irradiation regime of Jupiter due to its orbital motion — again became consistent. The periodicity in the changes in the photometric characteristics of the northern and southern hemispheres of Jupiter has also been restored.

Key words: Jupiter, atmosphere, seasonal variations, solar activity, radiation relaxation

Стаття надійшла до редакції 18.02.2019

Після доопрацювання 04.07.2019

Прийнята до друку 11.10.2019