

**Н.Ш. Алимгазина, А.Ж. Наурзбаева, А.Б. Манапбаева, Н.Т. Изтлеуов,
С.Б. Икрамова**

ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫ ҚҰРЫЛЫМЫН МУЛЬТИФРАКТАЛДЫ ТАЛДАУ

Аннотация. Берілген зерттеу Юпитер атмосферасының фотографиялық суреттерін талдауда жаңа бағытты көрсетеді. Жұмыста алғашқы рет Юпитердің атмосфералық ағыны құрылымын сипаттау үшін мультифракталды талдау-динамикалық хаос теориясы әдісі қолданылды.

Зерттеу объектісі ретінде Кристофер Го астрономы түсірген Юпитер атмосферасының суреттері қолданылды. 1997 жылғы маусым айынан 2015 жылғы желтоқсан айына дейінгі периодтағы 819 суреттер зерттелінді. Юпитер атмосферасы зоналары мен белдіктері құрылымын талдау мақсатында әрбір сурет үшін мультифракталдық және метрикалық сипаттамалар есептелініп, мультифракталдық спектрлер мен энтропиялық диаграммалар құрылды.

Зерттеу нәтижесінде мультифракталдық спектр арқылы есептелген Юпитер атмосферасы суретінің өзқасас энтропиясы азаятыны және 12 жылға ығысқан мәліметтерді талдау кезінде 1997 жылдан 2015 жылға дейінгі аралықта екі өлшемді форма коэффициентінің артуы анықталды. Сонымен қоса, әр жылдар үшін өзқасас энтропияның және екі өлшемді форма коэффициентінің орта айлық мәндерін зерттеу кезінде сипаттама өзгерісінің тенденциясы өзгеретін уақыт периодтары анықталды.

Ұсынылған жұмыстағы зерттеу әдісі Юпитер атмосферасы құрылымы өзгерісіндегі заңдылықтарды анықтауға және сандық сипаттаманы жүргізуге мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: динамикалық хаос, мультифракталдық талдау, энтропия, фракталдар.

Кіріспе

2012 ж. 6 қаңтар №528-і «Ғарыш қызметі туралы» ҚР-ның заңына сәйкес ғарыштық кеңістікті, планетаны және күн мен жердің байланысын зерттеу ғарыштық қызметтің ең басым бағыттарының бірі болып табылады. Астрофизикалық зерттеулерде Алып- Планеталар ерекше орын алады. Алып-планета атмосферасын зерттеуге көптеген ғылыми жарияланымдар арналса да, алайда кейбір кезеңдер әлі де болса түсініксіз болып қалған.

Юпитер атмосферасының бетінде әрқашан да планета атмосферасында бұлттық түзілуді көрсететін қара қоңыр жолақтар қатары бақыланады. Бұл жолақтардың түстері, орналасуы, ені, интенсивтілігі бірнеше айлар ішінде едәуір өзгерген. Бұл өзгерістердің себептері, заңдылықтары әлі анықталмаған. Кейбір авторлар жолақ өзгерісі мен күн белсенділігінің арасындағы тәуелділікті табуға тырысты [1-5]. Салыстырмалы түрде өзінің сипаты күрделі емес Юпитер жолағын бақылау, әсіресе, олар жүйелік түрде жүргізілсе ғылыми мәнге ие

бола алады. Бұдан бөлек болып жатқан физикалық процестерді түсінуге үлес қосушылар бақыланатын мәліметтердің дұрыс интерпретациясы және талдау әдістері болып табылады.

Бұл зерттеу Юпитер атмосферасының фотографиялық суреттерін талдауда жаңа бір бағытты көрсетеді. Жұмыста ең алғаш рет Юпитердің атмосфералық ағыны құрылымын сипаттау үшін мультифракталды талдау-динамикалық хаос теориясы әдісі қолданылды.

1.Зерттеу әдісінің теориялық негізі

Фракталдар мен мультифракталдар теориясы күрделі біртекті емес объектілердің өзқасас қасиеттерін суреттеу үшін қолданылады. Фракталдарға мынадай объектілер жатады:өте жырымдалған түрге ие денелер, сызықтар, кеңістіктер жатады. Олар масштабтардың кең диапазонында кейбір қайталануларды көрсетеді. Қайталану (ұқсастық) толық болуы мүмкін (регуляр фрактал) немесе кездейсоқтылықтың кейбір элементі (кездейсоқ фрактал) бақылануы

мүмкін. Аз масштабтағы кездейсоқ фракталдар құрылымы бүкіл объект құрылымына ұқсас болмайды. Алайда, олардың статистикалық сипаттамалары сәйкес келеді және объектінің статистикалық түрде тәуелсіз іске асырылуды орташалағаннан кейін өзұқсас қасиеті сақталады [6-10].

Фракталдар табиғатта күрделі геометриялық объектілер түрінде ғана кездесуі мүмкін. Олар мультифракталдар деп аталады. Фракталдардағы әр түрлі процестер (физикалық, химиялық және т.б.) стационарлы үлестіруді генерациялай алады. Ол фракталдық өлшем деп аталады. Оның математикалық суреттемесі сингулярлық спектр $f(\alpha)$ (мультифракталдық спектр функциясы) термині арқылы жүзеге асады.

Егер P өлшемді үлестіруі бар жиын өлшемі δ болатын ұяшықтарға бөлінген болса, онда төмендегі өрнекті аламыз:

$$P_i(\delta) \propto \delta^{\alpha_i}, \quad (1)$$

мұнда α_i сингулярлық экспонента деп аталады. Онда

$$\alpha_i = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln P_i(\delta)}{\ln \delta}. \quad (2)$$

Теңөлшемді үлестіру кезінде $\alpha_i = 1$ -ге тең. $f(\alpha)$ сингулярлық спектрі α мәніне тең сингулярлық экспонента нүктесіне сәйкес келетін N_α ұяшық сандарының δ сандарына тәуелділігін сипаттайды:

$$N_\alpha(\delta) \propto \delta^{-f(\alpha)}. \quad (3)$$

Жиында өлшемдерді теңөлшемді үлестіру жағдайында $\alpha = const$ тең және мультифракталды спектр функциясы (α, f) жазықтығында жалғыз нүктені көрсетеді. Өлшемдерді теңөлшемсіз үлестіру кезінде $f(\alpha)$ функциясы күрделірек көрініске ие болады[2].

Мультифракталдар теориясында мультифракталдық спектр функциясын

есептеу үшін жалпыланған статистикалық суммалар арқылы жалпыланған фракталдық өлшемділік есебіне негізделген тәсіл қолданылады.

$$Z(q, \delta) = \sum_{i=1}^{N(\delta)} P_i^q(\delta), \quad -\infty < q < +\infty \quad (4)$$

Мұнда $N(\delta)$ – δ өлшемді ұяшықтар саны, q – біртекті еместік параметрі. Z -тің δ -дан тәуелділігі дәрежелік сипатты көрсетеді:

$$Z(q, \delta) \propto \delta^{(q-1)D_q}, \quad (5)$$

мұнда D_q – жалпыланған фракталдық өлшемділік.

Әдетте келесідей белгілеу қолданылады:

$$\tau(q) = (q-1)D_q, \quad (6)$$

Мұнда $\tau(q)$ – скейлингтік экспоненталар немесе кезектестік көрсеткіші [11-12].

Монофракталдар (қарапайым) үшін $D_q = const$ тең, мультифракталды объект үшін D_q q -дің артуымен монотонды азаяды.

Бұл азаюды зерттеліп отырған объектінің біртекті емес фрактал екенін растайтын диагностикалық критерий негізінде қарастыруға болады.

Бұл әдіс шеңберінде $f(\alpha)$ мультифракталды функция спектрі Лежандр түрлендіруі көмегімен анықталынады:

$$\begin{cases} \alpha = -\frac{d\tau}{dq}, \\ f(\alpha) = q\alpha + \tau(q). \end{cases} \quad (7)$$

Мультифракталдың маңызды өкілдері болып нақты тәжірибеде тіркелген көптеген сигналдар (сәулеленудің уақыттық ағындары, фотографиялық суреттер) жатады. Тәжірибелік есептердің толық қатары үшін сөзсіз құндылықты әр түрлі табиғаты

процестердің құрылымдарын талдауға қатаң түрде математикалық амалды қолдану көрсетеді.

Хаостық сигналдың энтропиясын мультфракталды спектралды функция арқылы анықтауға болады [13-14].

$$f(a(q=1)) = a(q=1) = D_{q=1} = S = I_2^*, \quad (8)$$

Мұнда q -мультфракталдық момент реті, $\alpha(q)$ - ұяшықтың фракталдық өлшемділігі (δ минималды масштабты құрылым), $f(\alpha(q))$ - $\alpha(q)$ сипаттамасы бар ұяшықтар жиынтығының фракталдық өлшемділігі, D_q - жалпыланған мультфракталдық өлшемділік.

(8)-формула бойынша анықталатын $S = I_2^*$ энтропия ($q=1$) алмасуынсыз біртекті жиындарды сипаттайды. Яғни, өзқсас күйіне сәйкес келеді. q -дің келген таңдап алынған мәндері үшін (8)-формуланы мына түрде жазамыз:

$$\frac{f}{f_{\max}} = \frac{a}{a_{\max}} = S = I_1^*, \quad (9)$$

мұндағы α_{\max} - α -ның максималды мәні, I_1^*, I_2^* - өзэффиндік және өзқсас күйге сәйкес келетін энтропияның бақыланатын мәндері.

Информациялық энтропия метрикалық және топологиялық сипаттама болып табылады. Оның тәуелділігін сандық түрде сипаттау үшін тағы да басқа, мысалы үшін таза метрикалық сипаттаманы қолдану қажетті. Ол үшін қисықтар формасының әр түрлілігін бірегей сипаттайтын ортақ сандық сипаттаманы қолданамыз [15]:

$$K_{x_i, x_j}^{p, q} = \frac{\left(\langle |x_i|^p \rangle\right)^{1/p} \left(\langle |x_j|^q \rangle\right)^{1/q}}{|x_i x_j|}, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1. \quad (10)$$

(10)-формула сигналдың жалпыланған метрикалық сипаттамасы болып табылады. Бұл сипаттама $p=q=2$ кезінде сигнал формасының екіөлшемді коэффициенті болып табылады.

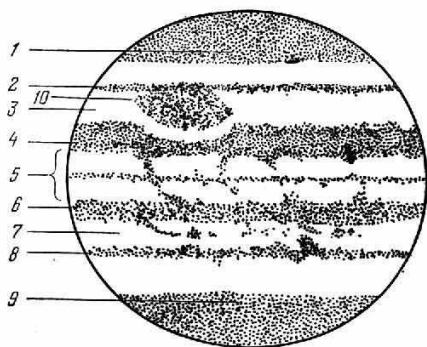
2. Юпитер атмосферасы бойынша бақыланған мәліметтер

Зерттеуді жүргізу үшін мәліметтер жапондық астроном-бақылаушылардың интернет сайынан алынды [16-18].

Объектілер ретінде Кристофер Го астрономы жасаған фотографиялық суреттері қолданылды. Суреттер Банилада (Себу, Финляндия) Astrophysics AP900GTO де орнатылған Celestron C14 көмегімен түсірілген. Skyris 132M камерасы қолданылады. RGB Starlight Xpress Motorized филтрациялаушы дөңгелегі негізінде Chroma Technology RGB филтрлер жиыны көмегімен жүзеге асырылады.

Метан диапазонының көрінісі Chroma Methane Band (өткізу жолағы 889 нм мен 18 нм аралығындағы) филтр көмегімен алынған. Ультракүлгін бейне Astrodon UV филтр көмегімен жүзеге асырылған. Күшею 2.0X те жұмыс жасайтын Astrophysics Convertible Barlowды қолдану есебінен, бейнелерді жинау Torsten Edelmann's Firecapture 2.4 программалық қамтамасыз ету көмегімен іске асырылған. Барлық суреттер, бейнелер солтүстікке бұрылған. Skyris 132mUSB пор арқылы Thinkpad T520 көмегімен бақыланады. Өңдеу AutoStakkert! және Registax-ты қолдану көмегімен жүзеге асырылды.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты Юпитер атмосферасында белдеулер мен зоналар құрылымын зерттеу (1-сурет). Экваторға параллель орналасқан бұлт жолақтары әрбір момент сайын төмендеуші суық (температура минус 154⁰С маңайында) немесе жоғарылаушы жылы (температура минус 147⁰С маңайында) қандай атмосфера ағындары әсерінен ұшырағандығына сәйкес ашық немесе қоңыр түстерде көрініс табады. Әдетте, ақ жолақтарды зона деп, ал қоңыр жолақтарды белдеулер деп атау енгізілген [19-20].



1 - S-полярлық қалпақ, 2 - S-қоңыржай жолақ, 3 - S-тропикалық зона, 4 - S-тропикалық жолақ, 5 - экватор зонасы, 6 - N-тропикалық жолақ, 7 - N-тропикалық зона, 8 - N-қоңыржай жолақ, 9 - N-полярлық қалпақ, 10 – Үлкен Қызыл дақ

1-сурет. Юпитердегі жолақ пен зона схемасы

Юпитер атмосферасында зона мен белдеулер үлестіру құрылымын талдау үшін 10 минуттан кем емес экспозиция кезінде жасалынған суреттер пайдаланылды. Себебі, мұндай жағдайда зона мен белдеулер құрылымын айқын ажыратуға болады.

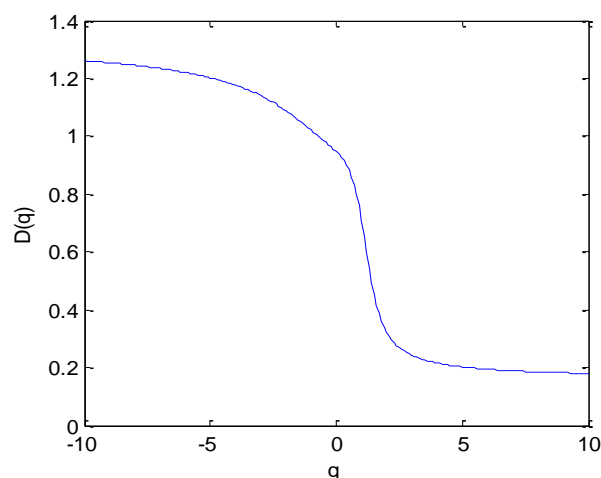
Юпитердің әрбір фотографиялық суреттері MatLab математикалық модельдеу компьютерлік ортасында өңдеуге ыңғайлы болатын форматқа ауыстырылды. Себебі, барлық есептеулер осы ортада жүргізілді.

3. Зерттеу нәтижелері

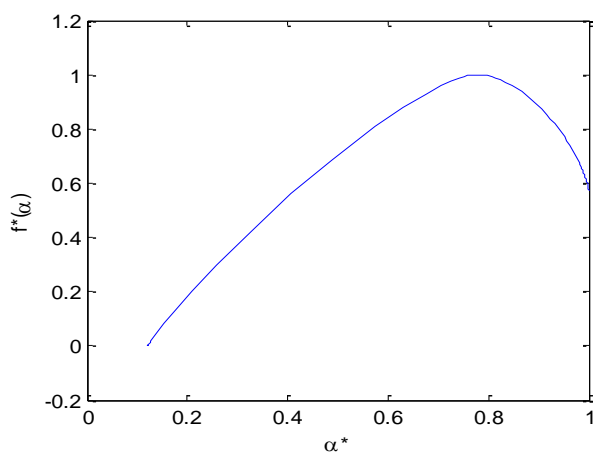
Біз, барлығы 819 суретті зерттедік. Бұл суреттер 1997 ж. маусым айы мен 2015 жылдың желтоқсан айына дейінгі аралықтағы алынған суреттер. Юпитер атмосферасының зоналары мен белдеулері құрылымдарын талдау үшін әрбір сурет үшін мультифракталдық және метрикалық сипаттамалары есептелінді, мультифракталдық спектрлер (2-сурет, б) және энтропиялық диаграммалар тұрғызылды.

Біз, берілген аумақта нүктенің үлестірілуін сипаттайтын D_q бейнесінің жалпыланған фракталдық өлшемділігі анықталды. q біртекті еместік параметріне тәуелді етіп көрсетілген D_q функциясы (2-сурет, а) зерттеліп жатқан нүктелер жиынтығының қаншалықты біртекті емес екендігін көрсетеді. $q \rightarrow +\infty$ кезінде негізгі

үлесті n_i бөлшектердің ең үлкен санын құрайтын және сәйкесінше, p_i олардың толуының ең үлкен ықтималдылығын сипаттайтын ұяшықтар жүзеге асырады. Керісінше, $q \rightarrow -\infty$ кезінде негізгі үлесті ең аз толтыру саны p_i мәніне тең ең сиретілген ұяшықтар құрайды. D_q функциясы q арқылы өзгертін болғандықтан қарастырып отырған нүктелер жиыны мультифракталды болып табылады. Сондықтан келесі сипаттама мультифракталдық спектр функциясы арқылы анықталды.



а) мультифракталдық өлшемділіктің біртекті еместік параметріне тәуелділігі;



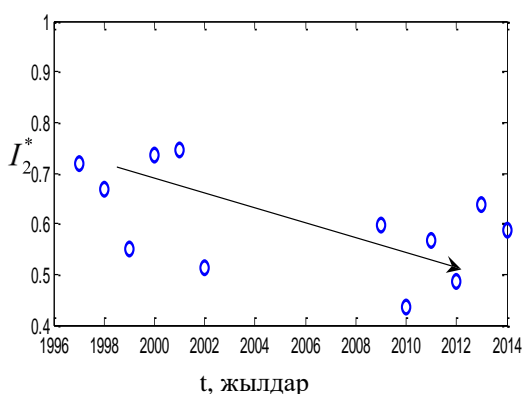
б) мультифракталдық спектр

2-сурет. Юпитер атмосферасының суреттерін мультифракталдық талдау

Кейбір уақыт периодтарында зоналар мен белдеулер өзінің орнын өзгертуі мүмкін. Бірақ, уақыт өте қайта қалпына келеді. Біз үшін зерттеуде қызығушылықты тудырған бір уақыт периодында суреттерді зерттеу.

Біз, планетаның айналу периодын және жерге қатысты оның орныны ескере отырып әр жылдағы Юпитер суреттері таңдалынып алынды. Зерттеу нәтижесінде мультифракталды спектр бойынша келесіде орташаланған өзұқсастық энтропия мәні есептелінді.

Мысалы, 1997 ж. маусым айының бірнеше күндері үшін энтропияның орташа мәні $I_2^* = 0,719$ -ға, ал 12 жылдан соң дәл сол күндер үшін энтропия мәні $I_2^* = 0,597$ -ге дейін азайды. Ұқсас картина 12 жылға жылжытылған басқа күндер үшін де бақыланды (3-сурет).



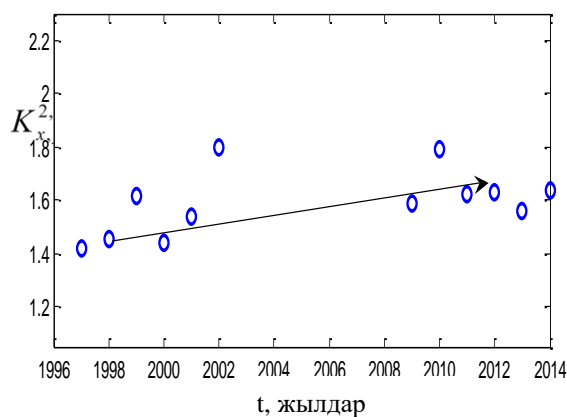
3-сурет. Юпитер атмосферасы суреттерінің өзұқсас энтропиясы

Яғни, біз Юпитердің фотографиялық суреттері үшін мультифракталды спектр негізінде есептелген өзұқсас энтропия уақыт өте азаятынын көріп тұрмыз. Мұндай азаюдың физикалық себептерінің бірі уақыт өте зона мен белдеу құрылымдарының уақыт өте өзгеруі болуы мүмкін. Мұндай құбылыс бақыланып қойылған, алайда әлі де бір мәнді түсіндірулер жоқ. Гипотезаның біреуі былай болжайды, уақыт өткен сайын ақ түсті бұлттар бейнесіне төменде орналасқан қоңыр түсті бұлттардың бүркеленуі, жасырынуы болады, келесі болжамда газдық ағындарда химиялық өзгерістер болады деп жорамалдайды.

Энтропия азаюының келесі бір себебі ретінде телескоп сипаттамаларының жақсаруы және 90-шы ж. аяғындағы техникамен салыстырып қарағанда оның құрамдасы болуы бола алады. Суреттер нақты бір аумақта және экспозицияда бір ғана бақылаушы көмегімен алынса да

шамасы бойынша соңғы жылдардағы суреттерде әрбір бөлшек нақтырақ көрсетілген. Бұл бөлшектер зона мен белдеулер құрылымы жайында көп ақпарат береді.

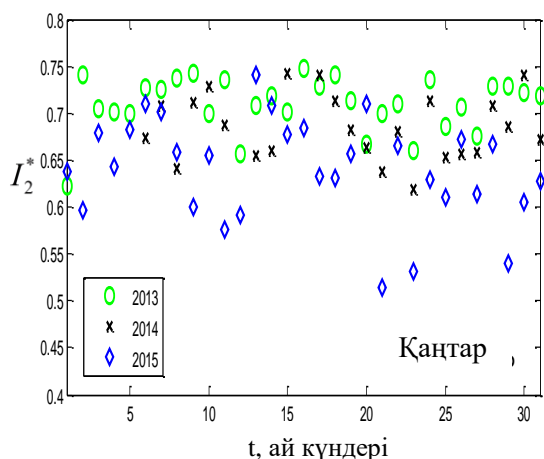
Сондай-ақ, біз түсті таратуды ұяшық бойынша үлестіру қисығы негізінде жалпыланған метрикалық сипаттама анықтадық (әрбір бейне бірдей өлшемді ұяшық аумағына бөлінді). Нәтижесінде келесі алдыңғы периодты алдық (90-шы жыл соңы). $K_{x,y}^{2,2}$ 1,42 маңында орта мәнді иеленеді, ал келесі периодта 1,66-ға дейін артады (4-сурет). Бұл, ең дұрысы, Юпитер атмосферасының суреттерінде зона мен белдеу құрылымдарының айқын ерекшеленетініне байланысты.



4-сурет. Юпитер атмосферасы суретіндегі түсті таратуды үлестіру қисығының жалпыланған метрикалық сипаттамасы

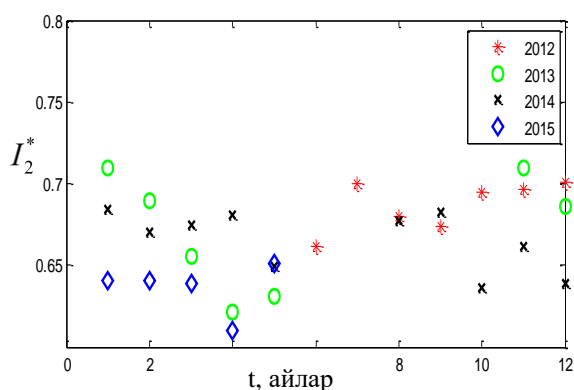
5-суретте 2013, 2014, 2015 жылдар «Қаңтар» айы ішіндегі өзұқсас энтропия өзгерісі көрсетілген. Біз келесідей картинаны бақыладық: 2013 жыл үшін энтропия мәні 2015 жыл ішіндегі энтропия мәніне қарағанда диаграммада жоғары орналасқан. Бұл 2 жыл ішінде Юпитердің жерге қатысты өзінің орнын ауыстыруына байланысты. Суреттер планетаның бейнесінде ығысулар болғанын көрсетті. Яғни, Юпитер атмосферасының осыған дейінгі суретке түсірілген жағының тек бір бөлігі ғана көрініп тұрды. Юпитер атмосферасында ағыстар құрылымын қарастыру кезінде басқа айлар ішінде ұқсас картина көрдік. Мұндай нәтиженің сенімділігі үшін әрі қарай үлкен уақыт

аралығы үшін толық талқылау жүргізу қажет.



5-сурет. Әр жылдар үшін бір ай ішіндегі Юпитер атмосферасы суреттерінің өзұқсас энтропиясының өзгерісі

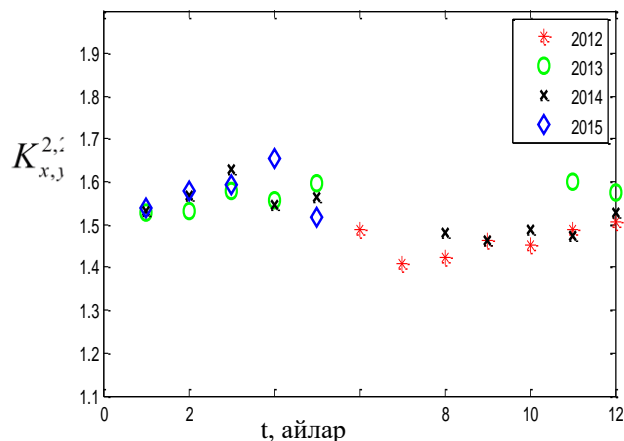
6-7-суреттерде айлардағы әр түрлі жылдар үшін әр түрлі белгілеулері бар сипаттамалардың орташа мәндері есептелген. Екі диаграмма үшін сипаттама өзгерісінде қандай да бір тенденция байқалады: «Сәуір» айына жақын кейбір сынық пайда болады. Өзұқсас энтропия «Қаңтар» айынан бастап «Сәуір» айына дейін азаяды, ал содан кейін жыл соңына қарай ақырындап артады.



6-сурет. Әр жылдағы өзұқсас энтропияның өзгерісі

Екіөлшемді форма коэффициенті өзінің мәнін ең аз мән «Қаңтар» айынан бастап арту жағына өзгертеді. Содан соң «Сәуір»

айынан бастап ақырындап кемиді. Мұнан былай ол қайта артады. Алайда, сенімді түрде нәтижені негіздеу үшін диаграммада осы және басқа да себептерден осы период арасында суреттер өңделмейтіндігін көрсететін мән болмайды.



7-сурет. Әр жылдардағы жалпыланған метрикалық сипаттаманың өзгерісі

Қорытынды

Зерттеудің негізгі мақсаты Юпитердің атмосфералық ағыстары құрылымдарын сандық сипаттау болып табылды. Зерттеу нәтижесінде мультифракталдық спектр арқылы есептелген Юпитер атмосферасы суреттерінің өзұқсас энтропиясының кемитіндігі және 12 жыл аралығындағы мәліметтерді талдау кезінде 1997 ж.-дан 2015 жылға дейінгі екі өлшемді форма коэффициентінің артатындығы анықталды. Сонымен қоса, энтропияның айлық орта мәндерін және әр жылдағы екіөлшемді форма коэффициентін есептеу кезінде сипаттама өзгерісінің тенденциялары өзгеретін уақыт периоды анықталды.

Осылайша, мынадай нәтиже шығаруға болады: жұмыста көрсетілген фотографиялық суреттер арқылы Юпитер атмосферасының құрылымын зерттеу әдісі оның сандық сипаттамасын жүргізуге және оның атмосферасында құрылым өзгерісіндегі заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

- 1 Hockey, T. The search for historical impact sites on Jupiter. *Planet. Space Sci.*, 1996. – 44. – P. 559-564.
- 2 Vidmachenko A. P. Seasonal changes on Jupiter. 1. The factor activity of hemispheres // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.*— 2016.—32, N 4.—P. 48—58.
- 3 Wolff, C. L., Patrone, P. N.: A new way that planets can affect the Sun. *Solar Physics* 266, 227-246, 2010.
- 4 Tattersall, R.: The Hum: Lognormal distribution of Planetary-Solar resonance. *Pattern Recogn. Phys.*, 1, 185-198, 2013.
- 5 Tan, B., Cheng, Z.: The mid-term and long-term solar quasi-periodic cycles and the possible relationship with planetary motions. *Astrophys Space Sci.* 343(2), 511-521, 2013.
- 6 Федер Ф. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
- 7 Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физматлит, 2001. – 296 с.
- 8 Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б., Турмухамбетов А.Ж. Фракталы. Информация. Турбулентность // РИО ВАК РК, 2000. – С. 226.
- 9 Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
- 10 Павлов А. Н. , Анищенко В. С. Мультифрактальный анализ сложных сигналов // *УФН.* – 2007. - Vol. 177:8. - РР. 859–876.
- 11 Klimontovich Yu.L. *Statistical Theory of Open Systems* // Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 1995. - Vol. 1.
- 12 Zhanabaev Z.Zh. The informational properties of self-organizing systems // *Rep. Nat. Acad. of Science RK.* – 1996. – № 5. – P. 14-19.
- 13 Жанабаев З.Ж. Самоподобие и самоаффинность хаотических систем. Приложение теории. // Матер. 6-й Межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». Астана, 2008. - С. 8-14.
- 14 Жанабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Алимгазинова Н.Ш., Бейсебаева А.С., Жетписбаев К.У. Энтропийный и мультифрактальный анализ космических и геофизических возмущений // Мат. 6-й межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». - Астана, - 2008. - С. 141-145.
- 15 Жанабаев З.Ж. Обобщенная метрическая характеристика динамического хаоса // 8-ая международная школа «Хаотические автоколебания и образование структур». – Саратов, 2007. - С. 67-68.
- 16 <http://www.jpl.nasa.gov/solar-system/>
- 17 <http://www.jpl.nasa.gov/missions/voya-ger-2/>
- 18 <http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/indexE.htm>
- 19 Ксанфомалити Л.В. Парад планет.- М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1997. - 256 с.
- 20 http://kosmosx.net.ru/photo/sputniki_ju_pitera/35

С.Б. Икрамова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

E-mail: Nazgul.Alimgazinoval@kaznu.kz

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРЫ ЮПИТЕРА

Аннотация. Данное исследование представляет собой новое направление в анализе фотографических снимков атмосферы Юпитера. В работе впервые был применен метод теории динамического хаоса - мультифрактальный анализ для описания структуры атмосферных течений Юпитера.

В качестве объектов исследования были использованы снимки атмосферы Юпитера, сделанные астрономом Кристофером Го. Было исследовано 819 снимков за период с июня 1997 года по декабрь 2015 года. С целью анализа структур поясов и зон атмосферы Юпитера по каждому снимку были рассчитаны мультифрактальные и метрические характеристики, построены мультифрактальные спектры и энтропийные диаграммы.

В результате исследования было выявлено уменьшение энтропии самоподобия снимков атмосферы Юпитера, вычисленной через мультифрактальный спектр, и увеличение двумерного коэффициента формы за период с 1997 по 2015 годы при анализе данных со смещением в 12 лет. Также при исследовании среднемесячных значений энтропии самоподобия и двумерного коэффициента формы в различные годы, были обнаружены периоды времени, при которых тенденция изменения характеристик меняется.

Представленный в работе метод исследования позволяет произвести количественное описание и выявить закономерности в изменениях структур атмосферы Юпитера.

Ключевые слова: динамический хаос, мультифрактальный анализ, энтропия, фракталы.

**N.Zh. Alimgazinoval, A.Zh.Naurzbaeva, N.T.Iztleuov, A.B.Manapbaeva,
S.B.Ikramova**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Nazgul.Alimgazinoval@kaznu.kz

MULTIFRACTAL ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC STRUCTURE OF JUPITER

Abstract. This study represents a new direction in the analysis of photographic images of the atmosphere of Jupiter. The method of the theory of dynamic chaos-multifractal analysis for the description of the structure of the atmospheric currents of Jupiter was first used in the work.

The objects of the study were images of the atmosphere of Jupiter made by the astronomer Christopher Guo. A total of 819 photographs were taken for the period from June 1997 to December 2015. To analyze the structures of the belts and zones of the Jupiter atmosphere, multifractal and metric characteristics were calculated for each image, multifractal spectra and entropy diagrams were constructed.

As a result of the study, a decrease in the entropy of the self-similarity of the images of the Jovian atmosphere calculated through the multifractal spectrum was revealed, and an increase in the two-dimensional shape coefficient over the period from 1997 to 2015 when data were analyzed with a bias of 12 years. Also, when examining the average monthly entropy values of self-similarity and the two-dimensional shape coefficient in different years, periods of time were found in which the trend of the characteristics changes.

The method of investigation presented in this work makes it possible to make a quantitative description and to reveal regularities in the changes in the structures of the atmosphere of Jupiter.

Keywords: dynamic chaos, multifractal analysis, entropy, fractals.