Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski", Faculté de Physique, 97, 2004

ДАЛЕЧНИ КОРЕЛАЦИИ В КЛИМАТИЧНИ РЕДИЦИ ОТ СТАНЦИЯ САНДАНСКИ

СТИЛИЯН ЕВТИМОВ, МИЛЕН ЦАНКОВ, МИЛЕН ЦЕКОВ

Катедра "Метеорология и геофизика"
Централна лаборатория по слънчево-земни въздействия, БАН

Стилиян Евтимов, Милен Цанков, Милен Цеков. ДАЛЕЧНИ КОРЕЛАЦИИ В КЛИМАТИЧНИ РЕДИЦИ ОТ СТАНЦИЯ САНДАНСКИ

Климатичните времеви редици за средните месечни максимални и минимални температури, приземно атмосферно налягане и продължителност на слънчевото греене са анализирани за присъствието на далечни корелации. За целта се прилагат статистическите методи Fluctuation Analysis (FA) и Detrended Fluctuation Analysis (DFA). Методът FA не дава надеждна диагностика за евентуална далечна корелираност. Анализът с DFA показва, че след елиминирането на годишния ход в редиците за аномалиите на максималните температури и налягането има остатъчни локални квадратични трендове. За продължителността на слънчевото греене също може да се диагностицира квадратичен тренд, но не със същата степен на сигурност. За минималните температури остатъчният тренд е линеен. В изследваните редици има далечни корелации, но до определени времеви мащаби. Докато за максималните температури далечната корелираност е почти до две години, то за продължителността на слънчевото греене тя пада до около една година. За по-големите времеви мащаби разглежданите редици не демострират наличие на далечни корелации. Степента на корелираност и за четирите изследвани метеоелемента е приблизително еднаква.

Stilian Evtimov, Milen Tsankov, Milen Tsekov. LONG-TERM CORRELATIONS IN CLIMATIC RECORDS FROM STATION SANDANSKI

Climatic records of monthly mean maximum and minimum diurnal temperature, pressure and sunshine duration measured at meteorological station Sandansky are examined for existence of the long-term correlations. The statistical methods of Fluctuation Analysis (FA) and Detrended Fluctuation Analysis (DFA) are utilized for this purpose. FA does not provide a reliable diagnostic of possible long-term correlations. For the time series of the minimum temperature and the pressure DFA indicates the presence of residual quadratic trends when the periodic trends have already been eliminated. For the sunshine duration record the presence of quadratic trend can also be hypothesized but with lower confidence. For the minimum temperatures only linear residual trend has been detected. Long-term correlations have been established in the investigated records but only up to limited time scales. Maximum temperatures are long-term correlated up to two years, while the sunshine duration is long-term correlated only up to about a year. For longer time scales the analyzed records do not show evidence of long-term correlations. All four analyzed weather elements are approximately equally persistent.

Keywords: climate records, fluctuation analysis (FA), detrended fluctuation analysis (DFA), long-term correlations, scaling

PACS number: 89.75.Da; 95.75.Wx

1. УВОД

Статистическият анализ е рутинен метод за извличане на климатична информация от времевите редици от метеорологичната мрежа. Една от целите на анализа е диагностицирането на средните тенденции в еволюцията на метеорологичните елементи – трендовете и статистическите свойства на наложените върху тях флуктуации – аномалиите. Обикновенно това се прави с процедурите на корелационния и спектралния анализ.

Като правило след филтрирането на трендовете експерименталните автоковариационни функции затихват с увеличаването на времевия интервал. Обикновено, въпреки евентуалните осцилации, затихването е експоненциално. Тогава радиусът на корелацията е краен и корелациите са близки. Във физиката са известни и корелации, затихващи по степенен, а не експоненциален закон. Те се наричат далечни.

Ефективни методи за диагностициране на далечните корелации са разработени във връзка с изследването на ДНК редиците [1–3]. В литературата те са известни като Fluctuation Analysis (FA) и Detrended Fluctuation Analysis (DFA). Сравнително отскоро FA и DFA намериха приложение и в метеорологични изследвания. С тяхната помощ Koscielny-Bunde et al. [4] анализират четиринадесет редици от максимални денонощни температури, измерени в някои метеорологични станции от Европа, Северна Америка и Австралия, и идентифицират за интервалите от няколко дни до десетилетия един "почти универсален степенен закон" на затихване на далечните корелации. Monetti et al. [5] установяват далечна корелираност при флуктуациите на повърхностните морски температури, но с по-висок скейлингов показател. Talkner and Weber [6] и Weber and Talkner [7] демонстрират, че степента на корелираност зависи също и от надморската височина. Анализирайки редиците за средни денонощни температури от значителен брой континентални и островни станции, Eichner et al. [8] подтвърждават изводите на [4] относно универсалността на скейлинговия показател в континенталните райони. Изследвайки географското разпределение на показателя, Fraedrich and Blender [9] показват обаче, че универсалността е само в крайбрежните райони. Във вътрешността на континетите те не детектират наличието на далечни корелации. DFA се използва също и за оценка на качествата на някои числени [10] и статистически [11] климатични модели. Явлението El Niño също е третирано с помощта на DFA [12, 13]. DFA се прилага и за изследването на динамиката на слоестите облаци [14].

Целта на настоящата работа е с помощта на FA и DFA да се изследва характерът на корелациите в климатичните редици, измерени в станция Сандански. Анализираните редици са за четири метеорологични елемента: средните месечни минимални и максимални температури, приземното атмосферно налягане и продължителността на слънчевото греене.

2. FA И DFA – ОПИСАНИЕ НА МЕТОДИТЕ И АЛГОРИТМИТЕ

Една от основните статистически характеристики на стационарната времева редица $x(i)$ е автоковариационната функция $C_x(n)$, където $n = |i - j|$. От физични съображения тя затихва при големи n. В зависимост от асимптотиката, по която става затихването, експоненциална или степенна, корелациите са съответно близки или далечни. При къси времеви редове и високо ниво на шум, каквито като правило са и повечето климатични редици, стандартните методи на автокорелационен и спектрален анализ имат недостатъци, които затрудняват детектирането на евентуална далечна корелираност. Ето защо в случая са необходими други, специфични статистически оценки, които елиминират в достатъчна степен влиянието на изброените маскиращи фактори. FA и DFA представляват именно такъв тип оценки.

Методите FA и DFA работят с интегрираната редица $y(i) = \sum_{j=0}^{i} x(j)$. Според приетата терминология новата редица и нейната графика се наричат профили на $x(i)$. При FA основна роля играе стандартната девиация на разликата $y(i+n)-y(i)$. Тя се означава с $F(n)$ и се нарича флуктуационна функция от нулев ред [15]. Между флуктуационната и автоковариационната функции съществува връзка [16]. Тя е такава, че за некорелираните редици и редиците на Марков флуктуационната функция при големи n има асимптотиката $F(n) \propto n^{1/2}$. При далечни корелации, т.е. за редици чиято ковариационната функция при $n \to \infty$ затихва по степенения закон $C_x(n) \propto n^{-\gamma}$, където $0 < \gamma < 1$, флуктуационната функция има скейлинговото поведение $F(n) \propto n^{\alpha}$. Скелинговият показател на флуктуационната функция и степенният показател на затихване на автоковариационната функциа са свързани с равенството $\gamma = 2 - 2\alpha$ [15, 17].

И така, при скейлингово поведение на флуктуационната функция, конкретната стойност на степенния показател дава еднозначен отговор на въпроса за типа на корелациите. При $\alpha = 1/2$ корелациите са близки, т.е. изходната редица е с краен радиус на корелацията, в частност – нула за напълно случайните редици. При $1/2 < \alpha < 1$ корелациите са далечни и положителни, а при $0 < \alpha < 1/2$ отново далечни, но отрицателни или антикорелации. Освен това по числената стойност на скейлинговия показател може да се съди още и за степента на корелираност или антикорелираност. В случая на антикорелации колкото α е по-близо до 0, толкова антикорелираността е по-силно изразена. В случая на корелираност колкото α е по-близо до 1, толкова профилът е по-изгладен и интервалите със запазващите се средни тенденции на нарастване или намаляване са по-продължителни.

Алгоритъмът, реализиращ числено FA (напр. [4, 10]), се състои от следните стъпки:

— Изчислява се профилът на редицата $y(i)$ за $i = 1, \ldots, N$, където N е броят на данните.

— Профилът се разделя на $N_n = \mathrm{int}(N/n)$ непресичащи се интервали (прозорци) с еднаква дължина n.

— За всеки прозорец ν, $\nu = 1, \ldots, N_n$ се пресмята разликата $F^2(\nu, n) = (y((\nu+1)n) - y(\nu n))^2$.

— Осреднявайки по прозорците, се намира флуктуационната функция $F(n) = \left[\frac{1}{N_n} \sum_{\nu=1}^{N_n} F^2(\nu, n)\right]^{1/2}$.

— Цикълът се повтаря за различни дължини на прозореца n.

— В двойно-логаритмичен мащаб се построява зависимостта на $F(n)$ от n.

— Ако в графиката се наблюдава добре изразен линеен участък, то по наклона на апроксимиращата го права се оценява скейлинговият показател α.

FA не може да филтрира евентуални трендове в изходните редици. Идеята на DFA е това да се направи предварително. За целта във всеки от прозорците профилът се апроксимира локално с някакъв "среден" и след това се анализира разликата между истинския и апроксимиращия профил. Самото апроксимиране може да се реализира по различни начини. Например в [4] това става с използването на т. нар. Wavelet Method. Тук за тази цел се използва апроксимация с полиноми по метода на най-малките квадрати, както е и при най-разпространения в момента алгоритъм. По-надолу ще изложим алгоритъма за DFA, следвайки [2, 15–17]. Основните стъпки са както следва:

— Изчилява се профилът на редицата по формулата $y(i) = \sum_{j=0}^{i} (x(j) - M)$, $i = 1, \ldots, N$, където N е броят на данните, а M е средната стойност на редицата.

— Фиксира се прозорец с дължина n, започващ в точката ν. Профилът, попадащ в прозореца, се апроксимира по метода на най-малките квадрати с полинома $y_\nu^{(k)}$ от степен k.

— Изчислява се остатъчната сума от квадратите

$$F_k^2(n, \nu) = \sum_{i=1}^{n} [y((\nu-1)n + i) - y_\nu^{(k)}(i)]^2.$$

— Намира се средната стойност, придвижвайки прозореца от първата до $N - n + 1$-та точка на профила, и се пресмята флуктуационната функция от ред k $F(n) = \left[\frac{1}{N-n+1} \sum_{\nu=1}^{N-n+1} F_k^2(n, \nu)\right]^{1/2}$.

— Цикълът се повтаря за различни n и различни степени на полинома k.

— За нарастващи степени на полинома се построяват зависимостите на флуктуационната функция от размера на прозореца в двойнологаритмичен мащаб.

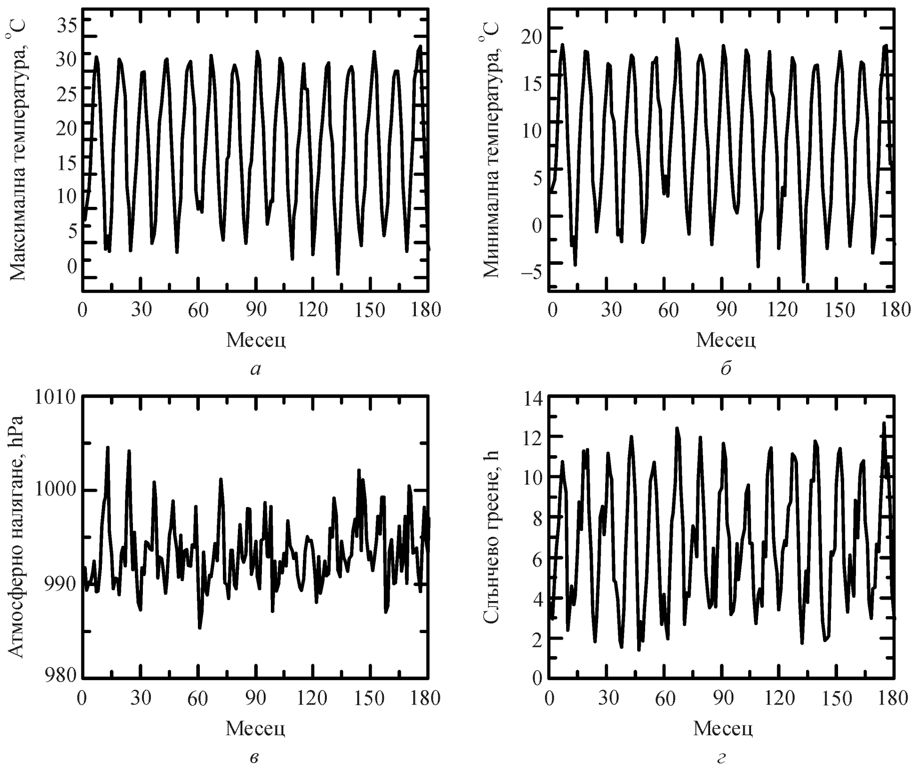
— Ако след някоя степен на апроксимиращия полином в графиките се наблюдават линейни участъци с еднакви наклони, то по наклона на апроксимиращата ги права се определя скейлинговият показател α.

След оценяването на скейлинговия показател по-нататъшната интерпретация на получените резултати е както при FA. Прието е в зависимост от степента на използвания полином и самата процедура да се нарича DFA от същия, както степента на полинома ред. Трябва да се отбележи, че DFA от ред k успешно филтрира полиномиални трендове от $k-1$-ва степен в изходния ред.

И така, FA и DFA са два статистически метода за диагностициране характера на автоковариациите в една времева редица – близки или далечни, корелации или антикорелации, а също така и структурата на трендовете – линейни, квадратични, кубични и т.н. Методът дава възможност да се оцени количествено и степента на корелираност.

3. ДАННИ. ПРЕДВАРИТЕЛЕН АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА

Изходните данни са измерените в метеорологична станция Сандански денонощни максимална и минимална температура, атмосферно налягане и про-



Фиг. 1. Еволюция на измерените в станция Сандански средни месечни: *а*) максимални денонощни температури (1931–1945 г.), *б*) минимални денонощни температури (1931–1945 г.), *в*) средно денонощно налягане (1931–1945 г.), *г*) за продължителност на слъчевото греене (1951–1965 г.)

дължителност на слънчевото греене. Град Сандански е с географски координати 41°34′ N, 23°17′ E и може да се смята представителен в климатично отношение за най-югоизточната част на България, където климатът е преходно-средиземноморски. Данните за температурите и налягането са за периода от 01.01.1931 г. до 30.11.2000 г., или общо за 25 537 последователни дни. Продължителността на слънчевото греене е за периода от 01.01.1951 г. до 31.12.2000 г., или общо за 18 263 последователни дни.

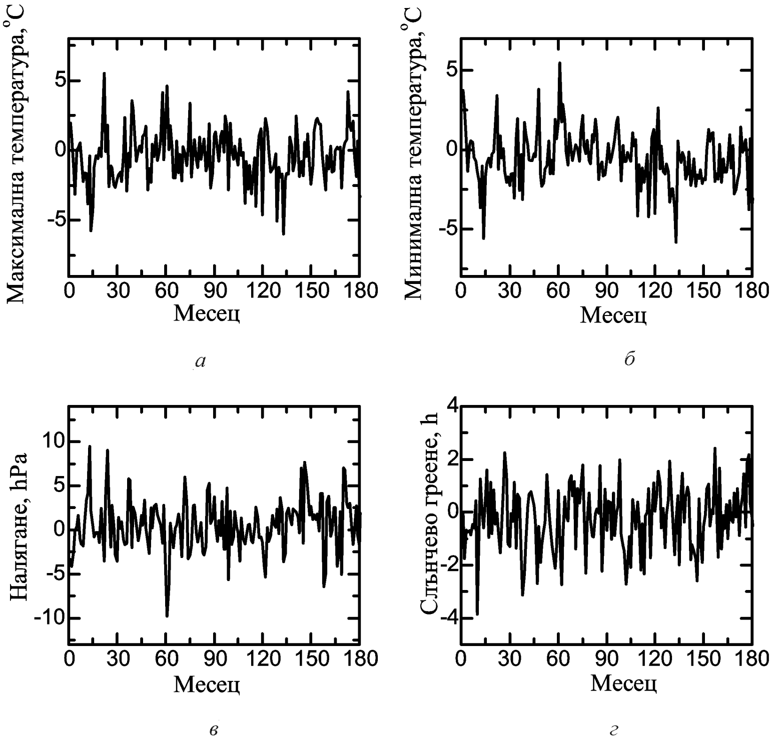
Като начало от изходните данни бяха пресметнати редиците от средните стойности за всеки последователен месец. По този начин за температурите и налягането бяха формирани редици от 839 последователни средни стойности, а за слънчевото греене – от 600 стойности. Сегменти от тези редици с дължина 15 гидини са представени на фиг.1. Фиг. 1*а* и *б* дават съответно средните месечни максимална и минимална температура, фиг. 1*в* – налягането, и фиг. 1*г* – слънчевото греене. По хоризонталните оси са нанесени номерата на месеците, а по вертикалните оси – стойностите на метеорологичните елементи.

Средната стойност на максималната температура за изследвания период е 19,6 °C, на минималната температура – 8,5 °C, на налягането – 992,8 hPa, и на слънчевото греене – 7,0 h.

Най-високите максимална и минимална температури са през 07.1988 г. и са съответно 35,8 °C и 20,9 °C. Най-ниските са също в един месец – 01.1942 г., и са съответно 0,4 °C за максималнате температури и −7,1 °C за минималните. Максималното средно месечно налягане от 1006,0 hPa е измерено през 01.1981 г., а минималното от 984.3 hPa през 12.1981. Най-продължителното средноденонощно слънчево греене от 12,8 h е наблюдавно през 07.1984 г., а най-краткото – от 1,4 h през 11.1954 г. Стандартната девиация на максималните температури е 9,0 °C, на минималните температури – 6,8 °C, на налягането – 3,5 hPa, и на слънчевото греене – 2,9 h.

От вида на кривите на фиг.1 ясно се вижда, че разглежданите времеви редици имат добре изразен годишен ход. Като метод DFA премахва ефективно полиномиалните трендове. В случая обаче трендът е периодичен. Ето защо се налага неговото предварително филтриране. Това бе направено чрез пресмятането на редиците от месечните аномалии. За целта първо бе намерен годишният ход на всеки метеоелемент чрез осредняване на неговите стойности за даден месец по всичките години в редицата. След това от стойността за всеки месец в редицата бе извадена съответната норма от годишния ход. По този начин в крайна сметка бяха формирани редиците от средните месечни аномалии на разглежданите величини. Тяхната еволюция е илюстрирана на фиг. 2, където по хоризонталните оси, започвайки от нулата, са нанесени последователните месеци, а по вертикалните оси – аномалиите.

От фиг. 2 се вижда, че годишният ход е премахнат, т.е. основният периодичен тренд е филтриран. Това, разбира се, не означава, че в редиците няма остатъчни локални трендове.

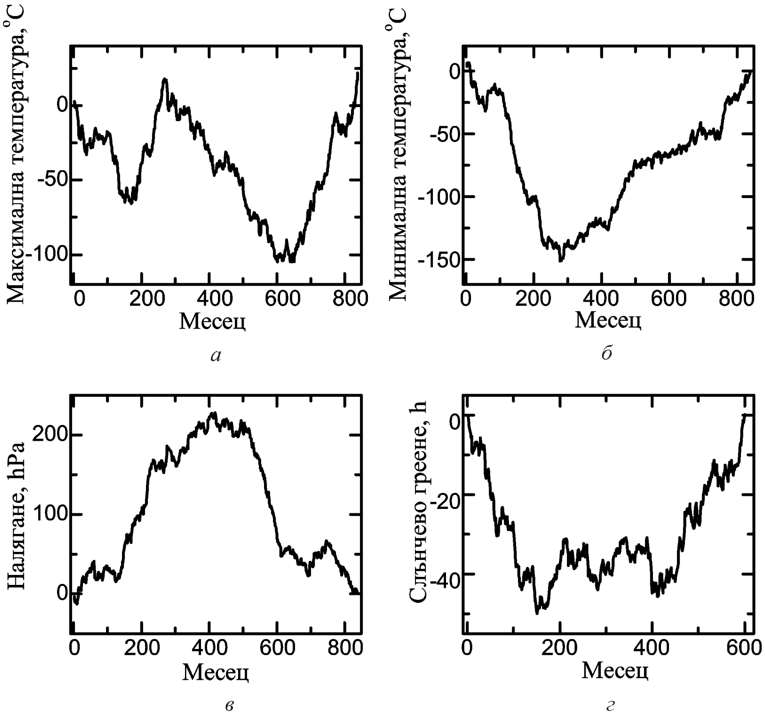


Фиг. 2. Еволюция на аномалиите в станция Сандански на средните месечни: *а*) максимални денонощни температури (1931–1945 г.), *б*) минимални денонощни температури (1931–1945 г.), *в*) средно денонощно налягане (1931–1945 г.), *г*) продължителност на слъчевото греене (1951–1965 г.)

4. РЕЗУЛТАТИ

Методът DFA преследва две основни цели. Да се изясни характерът на корелациите в редицата – близки или далечни, корелации или антикорелации, а също така и евентуалното наличие на полиномиални трендове от ниска степен. Следвайки раздел 2, като начало бяха изчислени профилите на аномалите. За целта, започвайки от първия месец в редицата, бяха намерени последователните суми: за първия и втория месец, след това за първия, втория и третия месец и т.н. до края на редицата. Получените профили са представени графично на фиг. 3.

По хоризонталните оси са нанесени дължините на комулативните суми, а по вертикалните – самите суми. Както се вижда, в профила на всеки от метеоелементите има сравнително широки интервали, в които последователните комулативни суми имат като цяло една и съща тенденция, на нарастване или

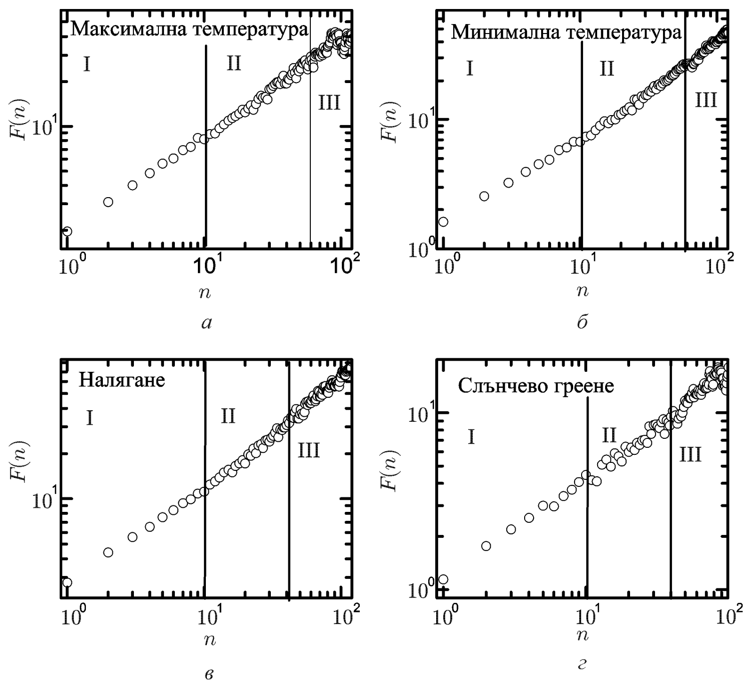


Фиг. 3. Кумулативни суми за станция Сандански на аномалиите на средните месечни: *а*) за максималните температури, *б*) за минималните температури, *в*) за налягането, *г*) за продължителността на слънчевото греене

намаляване. Освен това и в четирите случая профилите наподобяват параболи. За налягането кривата е изпъкнала, а за минималната и максималната температура и слънчевото греене кривите са вдлъбнати. Това е указание за наличието поне на линеен тренд, положителен за екстремалните температури и греенето и отрицателен за налягането. Трендовете обаче са нехомогенни, показвайки известни междугодишни вариации. Особено отчетливо това се вижда в профила на максималните температури. Подобно поведение на екстремалните температури и налягането в станция Сандански е вече констатирано чрез други методи на статистически анализ в [18]. Значителните отклонения на профилите от нулевото начално положение от своя страна е указание за наличието на евентуални далечни автокорелации.

Пресмятанията за FA бяха проведени със собствен код, реализиращ алгоритъма изложен в [4]. За реализацията на DFA бе използвана модификация на кода на Goldberger et al. [19], следващ алгоритъма описан в [2].

Получените резултати от FA са представени в систематизиран вид на фиг. 4, където в двойнологаритмичен мащаб са дадени зависимостите на съответ-



Фиг. 4. FA-флуктуационната функция $F(n)$ в зависимост от широчината на прозореца n: *а*) за средните месечни максимални температури, *б*) за минималните температури, *в*) за налягането, *г*) за продължителност на слънчевото греене. Вертикалните плътни линии разделят областите с различно поведение на флуктуационната функция

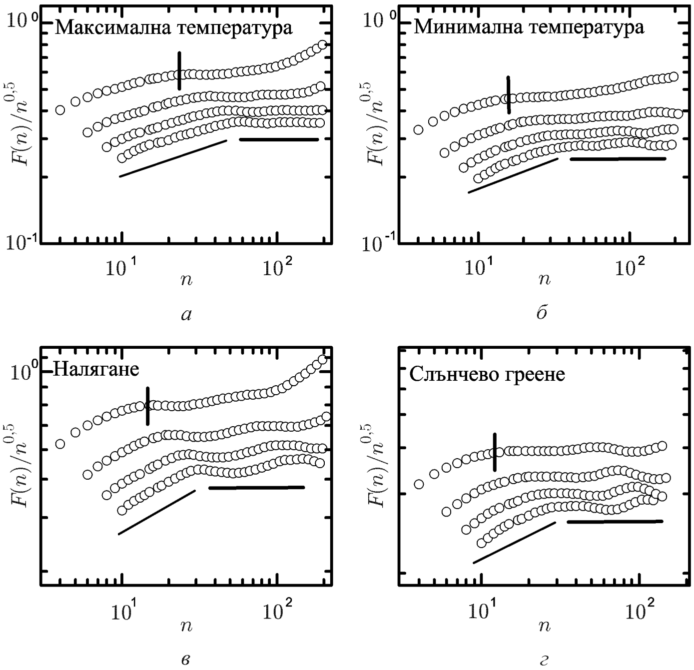
ните флуктуационни функции от широчината на прозореца. По хоризонталните оси е широчината на прозореца, а по вертикалните – флуктуационната функция.

В графиките за всичките елементи могат да се отделят три области. В първата, обхващаща прозорци с размери до десет месеца, флуктуационните функции се апроксимират добре с регресионни прави, чиито ъглови коефиценти са както следва: за максималната и минималната температура – 0,64, за налягането – 0,61, и за продължителността на слънчевото греене – 0,55. Както се вижда, и в четирите случая скейлинговият показател е по-голям от 0,5. Това би трябвало да е индикация за присъствието на далечни корелации. Областта II, започвайки от десет месеца, продължава до около шестдесет месеца за минималните и максималните температури и до около четиридесет месеца за налягането и слънчевото грееене. В тази област кривите отново добре се апроксимират с регресионни прави. Ъгловите коефиценти са както следва: за максималната температура – 0,70, за минималната температура – 0,78, за налягането – 0,71, и за слънчевото греене – 0,61. Областта III за минималните и максималните температури започва от около шестдесет месеца, а за налягането и слънчевото грееене от около четиридесет месеца. В тази област статистиката е лоша, защото при тази дължина редиците съдържат само няколко прозореца. На фиг. 4 това личи най-добре за максималната температура и слънчевото греене. Все пак скейлинговите показатели бяха оценени. Резултатите са както следва. За максималната температура ъгловият коефициент на съответната регресиона права е 0,67, за минималната температура – 0,77, за налягането – 0,76, и за слънчевото греене – 0,76.

Както се вижда, и за четирите изследвани метеоелемента скейлинговият показател в областта II е по-голям, отколкото в областта I. Аналогична е ситуацията и за областта III. Отново корелациите при по-големите прозорци са по-силни, отколкото при по-малките! Този резултат е в дисонанс с естествената представа, че с увеличаването на времевия интервал степента на корелираност на случайните флуктуации би трябвало да намалява. Възниква основателно съмнение доколко наблюдаваните далечни корелации не са просто ефект от неелиминирани трендове. За изясняването на този въпрос редиците трябва да се подложат на DFA, който, премахвайки последователно локалните полиномиални трендове, дава аргументирани отговори на подобни въпроси, още преди да се занимава със самите скейлингови показатели.

Резултатите от DFA са илюстрирани на фиг. 5. Зависимостта на флуктуационните функции от широчината на прозореца е дадена в двойно-логаритмичен мащаб. Трябва да се отблележи, че на фиг. 5 по ординатата е нанесена флуктуационната функция, разделена на дължината на прозореца на степен 0,5. Това е полезно, защото тогава на редиците с краен радиус на корелация съответстват хоризонтални линии, на далечните положителни корелации – прави с положителни ъглови коефициенти, и на отрицателни корелации – прави с отрицателни ъглови коефициенти. Ако след даден прозорец се извършва преход от далечни корелации към некорелирано поведение, то над този участък графиката преминава в плато.

На фиг. 5 кривите, съответстващи на DFA от първи до четвърти ред, са последователно една под друга. Това разположение не е случайно. При фиксирана широчина на прозореца с увеличаването на степента на полинома, флуктуациите спрямо него стават все по-малки, защото той локално все по-добре апроксимира съответния профил. Тогава и самата флуктуационната функция задължително намалява, което на фигурата се изразява във вертикалното изместване надолу на нейната графиката. От фиг. 5 се вижда, че и за четирите изследвани метеоелемента след определена широчина на прозореца се извършва преход към плато, т.е. далечните корелации изчезват. За различните елементи прозорецът, при който това става, е различен. На фигурата той е отбелязан с къса вертикална черта, нанесена върху съответнита крива за DFA от първи ред. Критичният прозорец е най-голям за максималните температури, където той е почти две години, и най-малък – при продължителността на слънчевото греене – около една година. За минималните температури и налягането преходът е при около година и половина. От фиг. 5 се вижда също така, че при увеличаване на реда на DFA преходът настъпва при все по-големи времеви мащаби. Това се дължи на добре известното систематично изместване



Фиг. 5. Нормираните DFA-флуктуационни функции $F(n)/n^{0,5}$ в зависимост от широчината на прозореца n: *а*) за среднате месечни максимални температури, *б*) за минималните температури, *в*) за налягането, *г*) за продължителност на слънчевото греене. По вертикалните оси са нанесени флуктуационните функции, разделени на квадратния корен от дължината на прозореца. Кривите за DFA от първи до четвърти ред са една под друга. Късите вертикални линни маркират времевия мащаб след който далечната корелираност изчезва. Наклонените плътни линии са линейните апроксимации на съответните участъци от кривите за DFA от четвърти ред

към по-големите времеви мащаби на чупките (crossovers) в кривите на флуктуационната функция при увеличаване на степента на апроксимиращия полином [17, 20].

И така, за всеки от изследваните елементи може да се отделят две области на различни корелационни свойства. Първата област е при малките прозорци. Както се вижда от фиг. 5, там флуктуационните функции нарастват с разширяването на прозореца. Линейната апроксимация на съответните криви, особено за минималните температури и слънчевото греене, обаче не е много добра. Сравнително по-добре изразен е скейлингът при максималните температури. За улеснение съответните прави са дадени на фиг. 5 с тънки плътни линии. Средните наклони на апроксимационните прави са както следва. За максималната температура ъгловият коефициент е 0,23, за минималната – 0,27, за наляганeто – 0,29, и за продължителността на слънчевото греене – 0,29. Тези числени стойности представляват ъгловите коефиценти на най-добрите линейни апроксимации на кривите за DFA от четвърти ред. Що се отнася до скейлинговите показатели на самите флукуационни функции, то те са съответно: 0,73 за максималните температури, 0,77 за минималните, 0,79 за налягането и 0,79 за продължителността на слънчевото греене. Получените оценки дават информация и за степента на корелираност. Далечните корелации при минималните температури, налягането и слънчевото греене са с приблизително еднакви скейлингови коефиценти, единствено максималната температура има малко по-малък скейлингов показател.

Втората област е при по-големите времеви интервали. Както се вижда от фиг. 5, там флуктуационните функции сравнително добре се апроксимират с хоризонтални прави. И за четирите изследвани елемента скейлинговият показател е около 0,5. Следователно при големите мащаби няма далечни корелации.

В крайна сметка от проведения анализ може да се направи изводът, че в изследваните редици има далечни времеви корелации до мащаби от порядъка на една-две години, като мащабите са различни за различните елементи. За по-големи времеви интервали далечни корелации не се наблюдават. Качествено тези резултати съвпадат с изводите, получени в [21, 22], където с DFA са третирани редиците от ежедневните стойности на същите метеоелементи в станция Сандански.

Освен за корелациите DFA дава информация и за евентуалните трендове. Съгласно резултатите на [17, 20] при линеен тренд крива за DFA от първи ред при големите прозорци се закривявя нагоре. Квадратичнят тренд води до закривяване и на кривата на DFA от втори ред и т.н. При това колкото по-силен е трендът, толкова по-голямо е и закривяването. Като се имат предвид тези резултати от фиг. 5*а* и *б* може да се направи изводът, че в изходните редици за максималните температури и налягането присъстват значими квадратични трендове. От фиг. 5*г* също би могло да се диагностицира наличието на квадратичен тренд при слънчевото греене, но методът не позволява това да се направи със същата степен на сигурност, както в предните два случая. При продължителността на слънчевото греене ситуацията е влошена допълнително и от по-малката дължина на редицата. За минималните температури методът установява единствено линеен тренд.

5. ДИСКУСИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на настоящата работа бе диагностицирането на евентуални далечни корелации или антикорелации в климатичните редици от средните месечни стойности на максималната температура, минималната температура, налягането и слънчевото греене в станция Сандански. Като средство за анализ са използвани методите на FA и DFA. Те представляват съвременени статистически тестове за диагностициране на характера на автоковариациите в една времева редица – близки или далечни, корелации или антикорелации, а също така и на структурата на трендовете – линейни, квадратични, кубични и т.н. Методите дават възможност да се оцени количествено и степента на корелираност.

Основните резултати и изводи от проведения анализ са както следва. Прилагането на метода FA не позволява достатъчно надеждна диагностика на присъствието на далечни корелации в изследваните редици поради наличието на трендове в тях. Това наложи обработката на редиците с DFA. Оказа се, че след елиминирането на годишния ход в редовете за аномалиите на максималните температури и налягането действително има остатъчни локални квадратични трендове. При продължителността на слънчевото греене отново бе диагностициран квадратичен тренд, но не със същата степен на сигурност, както в предните два случая. При минималните температури DFA методът идентифицира само остатъчен линеен тренд.

Оказа се също, че в изследваните редици се наблюдават далечни корелации, но само до определени времеви мащаби. Тези мащаби са различни за различните метеоелементи. Докато при максималните температури далечната корелираност е почти до две години, то за продължителността на слънчевото греене тя пада до около една година. За по-големите времеви мащаби изследваните аномалии не демострират наличието на далечни корелации.

До същите качествени изводи, но за средните дневни, а не средните месечни стойности на изследваните метеоелементи в станция Сандански се стига и в [21, 22]. Това обаче не намалява стойността на получените тук резултати. При преминаването от дневните към средните месечни стойности се формира една нова редица, в която са изгладени флуктуациите с малки времеви мащаби. Новата редица, разбира се, не би трябвало по-принцип да има същият характер на корелираност и структура на трендовете, както изходната редица. Освен това използваната и в двата случая еднаква процедура за предварително елиминиране на периодичния тренд би трябвало също да води до различни резултати. В този смисъл качественото съвпадане на получените резултати дава допълнителна увереност, че направените изводи за наличието на далечни корелации не са артефакт на изчислителната процедура, а съществени свойства на флуктуациите в климатичните редици от станция Сандански. Това, разбира се, има съществено значение за евентуалното бъдещо използване на метода в климатичните изследвания. Настоящата работа, която изяснява някои аспекти от прилагането на нестандартни индиректни методи за анализ на корелациите в климатични редици, е стъпка в тази посока.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват своята благодарност на НИМХ, БАН, за предоставените данни от станция Сандански.

REFERENCES

1. Peng, C.-K., S. V. Buldyrev, A. L. Goldberger, S. Havlin, F. Sciortino, M. Simons, and H. E. Stanley. *Nature*, **356**, 1992, 168.
2. Peng, C.-K., S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley, and A. L. Goldberger. *Phys. Rev. E*, **49**, 1994, 1685.
3. Buldyrev, S. V., A. L. Goldberger, S. Havlin, R. N. Mantegna, M. E. Matsa, C.- K Peng, M. Simons, and H. E. Stanley. *Phys. Rev. E*, **51**, 1995, 5084.
4. Koscielny-Bunde, E., A.Bunde , S. Havlin , H. E. Roman , Y. Goldreich, and H. Schellnhuber. *Phys. Rev. Lett.*, **81**, 1998, 729.
5. Monetti, R. A., S. Havlin, and A. Bunde. *Physica A*, **320**, 2003, 581.
6. Talkner, P. and R. O. Weber. *Phys. Rev E*, **62**, 2000, 150.
7. Weber, R. O. and P. Talkner. *J. Geophys. Res. D*, **17**, 2001, 20131.
8. Eichner, J. F., E. Koscielny-Bunde, A. Bunde, S. Havlin, and H. Schellnhuber. *Phys. Rev. E*, **68**, 2003, 046133.
9. Fraedrich, K. and R. Blender. *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 2003, 108501.
10. Govindan, R. B., D. Vyushin, A. Bunde, St. Brener, S. Havlin, and H. Schellnhuber. *Phys. Rev. Lett.*, **89**, 2002, 028501.
11. Kiraly, A., and M. Janosi. *Phys. Rev. E*, **65**, 2002, 051102.
12. Ausloos, M., and K. Ivanova. *Phys. Rev. E*, **63**, 2001, 047201.
13. Metzler, R. *Phys. Rev. E*, **67**, 2003, 018201.
14. Ivanova, K., M. Ausloos, E. E. Clothiaux, and T. P. Ackerman. *Europhys. Lett.*, **52**(1), 2000, 40.
15. Kantelhardt, J. W., S. A. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, A. Bunde, S. Havlin, and H. E. Stanley. arXiv:physics/0202070 (xxx.lanl.gov), 2002.
16. Yang, H.,F Zhao, X. Wu, Zx. Li, Y. Zhuo. arXiv:cond-mat/0111508 (xxx.lanl.gov), 2003.
17. Hu, K., Pl. Ch. Ivanov, Z. Chen, P. Carpena, and H. E. Stanley. *Phys. Rev. E*, **64**, 2001, 011114.
18. Tsekov, M. *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, **55**, 10, 2002, 21.
19. Goldberger, A. L., Amaral L. A. N., Glass L., Hausdorff J. M., Ivanov P. Ch., Mark R.G., Mietus J. E., Moody G. B., Peng C. K., Stanley H. E. PhysioBank, PhysioToolkit, and Physionet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215]; 2000 (June 13).
20. Kantelhardt, J. W., E. Koscielny-Bunde, H. Rego, S. Havlin and A. Bunde. *Physica A*, **295**, 2001, 441.
21. Tsekov, M. *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, accepted, 2004.
22. Tsekov, M., P. Ch. Ivanov, S. Evtimov and S. Panchev. Manuscript in preparation, 2004.

Постъпила март 2004

Стилиян Евтимов
Софийски университет “Св. Климент Охридски”
Физически факултет
Катедра “Метеорология и геофизика”
Бул. “Джеймс Баучер” 5
1164 София, България
E-mail: evtimov@phys.uni-sofia.bg