

ГОДИШНИТЕ КРЪГОВЕ НА ДЪРВЕТАТА И ВРЪЗКАТА "СЛЪНЦЕ-КЛИМАТ"

Борис Комитов⁽¹⁾, Петър Духлев⁽¹⁾, Георги Бяндов⁽²⁾ и Даниела Кирилова⁽¹⁾

⁽¹⁾ - *Институт по астрономия с НАО "Рожен"-БАН; 1784 София, Цариградско шосе 72*

b_komitov@sz.inetg.bg; pduchlev@astro.bas.bg; dani@astro.bas.bg

⁽²⁾ - *Народна астрономическа обсерватория с планетариум "Ю. Гагарин"; 6000 Ст.Загора, ул. "Цар Иван Шишман" 72
aogagarin@gmail.com*

Предметът на настоящата работа е изследване на връзка "Слънце-климат" на територията на Централна България за периода от края на 18-ти до началото на 21-и век въз основа на дендрохронологични данни. За целта се използват изгладените временни редове на ширините на годишните кръгове на два букови образеца от района на Средна Стара планина. Специално внимание е обърнато на 20-22 годишните осцилации в растежа на дървесната маса и връзката на тяхната амплитуда с фазата на слънчевите цикли със субвекова и двувекова продължителност. Показано е, че отслабването на 20-22 годишния магнитен слънчев цикъл по време на свръхвековия Минимум на Далтон (1795-1825/1830г) е свързано със силно засушаване и затопляне на летата в Централна Южна България по това време. Настъпването на нов Далтоно-подобен свръхвекови минимум в началото на 21-и век съответства на аналогична климатична ситуация.

1. Увод

На американския астроном Ендрю Дъглас принадлежи идеята за разработване на метод за реконструкция на климата в миналото въз основа на анализ на ширините на годишните кръгове на дърветата. Затова той се счита за "баща на дендрохронологията" (Fritz, 1973). Предполагайки, че климатът зависи от съответните нива на слънчевата активност в миналото Дъглас същевременно е разглеждал дендрохронологичните наблюдения и като метод за анализ на поведението на слънчевата активност в миналото. До тези свои идеи той достигнал в резултат на дългите си разходки из горите на Аризона в края на 19-ти и началото на 20-ти век и наблюдения върху сечищата там. Своите схващания и първи резултати той описва в редица свои статии и книги от началото на 20-ти век. Възникването на школа за дендрохронологични проучвания и съответната лаборатория по дендрохронология към Университета на Аризона в гр. Тусон е пряко следствие от пионерските работи на Дъглас и неговите последователи.

В средата и през втората половина на 20-ти век дендрохронологичният метод получава голямо развитие. Той действително се превръща в сериозно средство за изучаване на връзките "Слънце-климат" в миналото. Ще посочим три от най-интересните примери.

Данни за годишните пръстени на дърветата са ползвани частично от Дерек Шове за получаване на неговата редица за 11-годишните слънчеви цикли през последните 2600 години, известна като "Ред на Шове" (Schove, 1955, 1983) Доказано е влиянието на 20-22 годишния слънчев цикъл върху количеството на валежите в западната част на САЩ за периода между средата на 17-ти и края на 20-ти век (Mitchell et al., 1979)

Доказано е и е анализирано влиянието на 200-210 годишния слънчев цикъл върху климата на Централна Азия по данни за ширините на годишните пръстени на туркестански кипарис (Rasspopov et al., 2008).

През м. ноември 2012 г между Института по астрономия с НАО "Рожен" към БАН и Министерството на земеделието, горите и продоволствието беше сключен договор за научно-изследователски проект в областта на дендрохронологията. Тук ще изброим накратко основните задачи, свързани с конкретното направление, ня което е посветена настоящата работа. Те са, както следва:

1. Изучаване на времеви закономерности в растежа на дърветата за периода 1750 - 2010/12г. Изследване на трендове и цикли във временните редове на годишните кръгове на дървесните образци. Основен дървесен вид - бук (*Fagus*); 2. Изследване на статистически връзки между ширините на годишните кръгове на дърветата от една страна и различни индекси на слънчевата и геофизична активност и климата от друга; 3. Климатична калибровка за всеки един от дървесните образци, т.е. намиране на емпирични връзки, свързващи растежа на годишните кръгове с климатични данни (валежи и температури) за съответния район.; 4. Изследване на ефектите от дълбоките (т.нар. свръхвекови) слънчеви минимума върху климата на съответните райони и тяхното влияние върху нарастване на дървесната горска маса. Свръхвекови слънчеви минимума от последните 400 години са Минимумът на Маундер (1642 - 1715г) и Минимумът на Далтон (1795/1798 -1834 г); Аналогично изследване на ефекти от вековия слънчев минимум на Глайсберг- Гневишев (1898-1923 г); 5. Получаване на информация за едромасабните вариации в режима на "слънчевото динамо", т.е. източника на магнитното поле на Слънцето и неговите промени; 6. Прогностични модели за измененията на климата и растежа на горската дървесна маса през 21-и век.

Реализацията на поставените цели, изисква предварителна информация и повече яснота по следните въпроси:

1. Какво знаем за свръхвековата динамика на слънчевата активност и връзката "Слънце-климат"?
2. Какво знаем за физическите механизми, чрез които се осъществява връзката "Слънце- климат"? ;
3. Какви са близките и средносрочните тенденции в поведението на Слънцето?;
4. Какво знаем за връзката "Слънце-климат" на територията на България въз основа на инструментални данни и/или исторически документи ?

2. Връзката "Слънце-климат"

2.1. Слънчевите цикли и тяхното климатично "ехо"

Първо ще направим кратък преглед на основните цикли на слънчевата активност през следледниковата епоха (Холоцен, последните 11000 години) в светлината на техните прояви в климата въз основа на различни изследвания.

1. Кратки цикли с продължителност между 2 и 6 години.

Относително неустойчиви- характерни са за слънчевата еруптивна и корпускулярна активност, някои видове протуберанси, по-слабо са забележими в петнообразувателната активност. Имат аналози в геомагнитната активност, общото съдържание на озона, атмосфераната циркулация и циклогенезата, регионални климатични индекси - температура, налягане, валежи и др.

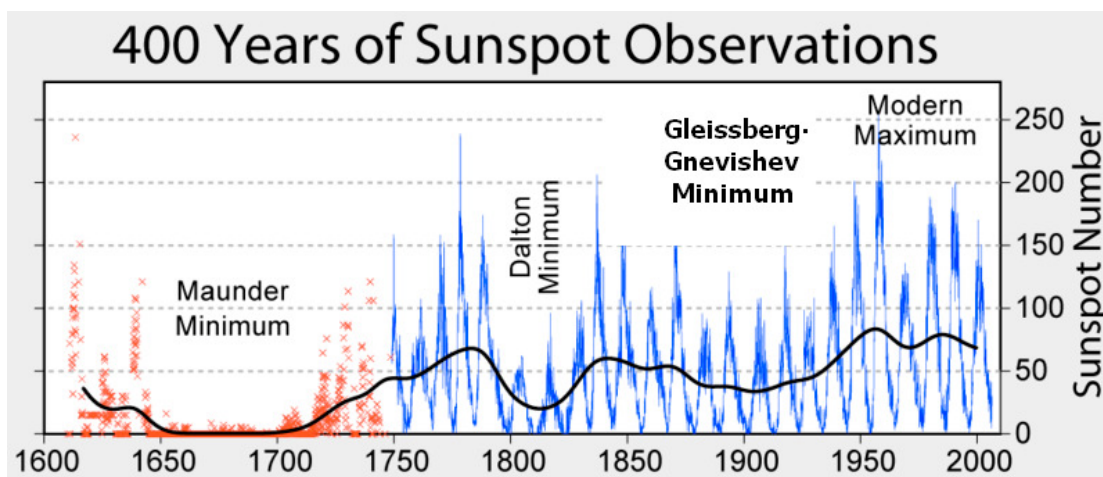
2. *Цикли на Швабе-Волф (~11г) и Хейл (20-22г)* .Най-добре изучените слънчеви цикли. Теорията на "слънчевото динамо" е изградена на знанията за тях. Добре са изразени в регионални климатични параметри.

3. *Квазивекови слънчев "мултиплет" (55/60- 120г) - 55-60 год.цикъл* е добре изявен в много регионални параметри, както и в климата на Северното полукълбо на Земята като цяло; цикълът на Глайсберг и 110-120 г колебания по-често се срещат в регионални климатични параметри

4. *200-210 и 2200-2400 годишни слънчеви и климатични цикли*

На фиг.1 е показана една визуализация на хода на слънчевата петнообразователна активност през последните 400 години въз основа на наблюдения с телескопи. Вижда се, че кратките пикове, които представляват отделните 11-годишни цикли не са еднакво високи. Наблюдава се циклична тенденция на отслабване и усилване на тяхната амплитуда през следен период от около 80- 100, които се свързват именно с действието на вековите колебания. Периодите на слаби 11-годишни цикли се наричат минимуми на Маундер, Далтон и Глайсберг- Гневишев, съответно през втората половина на 17-ти, началото на 19-ти и началото на 20-ни век. Най-дълбок измежду тях е Минимумът на Маундер, когато 11-годишния цикъл е бил съвсем слаб- почти не е действал. Ясно се вижда свръхвекови възходящ тренд в нивото на петнообразователната активност. Епохата на висока активност в средата и през втората половина на 20-ти век напоследък все по- често се означава в научната литература като "Модерен слънчев свръхвекови максимум". На общото нарастване на слънчевата активност през последните 400 години съответства покачване на средната температура на Земята с около 1.2-1.5 градуса Целзий. В климатично отношение на Маундеровия минимум съответства т.нар. "Малък ледников период", а на Модерния слънчев свръхвекови максимум - съвременното "глобално затопляне".

Налице е приблизителна обща тенденция - колкото по-дълъг е даден слънчев цикъл, толкова повече неговото влияние върху климата има по-добре изразен общопланетарен характер.



Фиг.1. Международният слънчев петнообразователен индекс (R_i) за периода на инструменталните телескопични наблюдения (1610-2008 г). Със синя линия са показани данните, включени в Цюрихския ред.

2.2. Слънчевият 200-210 годишен слънчев цикъл и неговото влияние върху земния климат

200-210 годишният слънчев цикъл е открит и изследван преди всичко по косвени данни- анализ на исторически документи за слънчевата и геомагнитната активност и съдържанията на космогенните радиоизотопи въглерод-14 и берилий-10 в различни пръстенообразни и слоисти среди - годишни кръгове на дърветата, пещерни образувания, континенталните ледници и др. (Schove, 1955; de Vries, 1958; Stuiver and Quay, 1980; Damon and Sonett, 1991; Дергачев и Чистяков, 1993)

Проследява се много добре в Реда на Шове. Именно преди всичко с този цикъл са свързани в ясни, продължаващи по няколко десетилетия епохи на ниска слънчева активност, редуващи се през около 200 години (фиг.2, панел "а"). След 1000 г от новата ера те попадат в нечетните календарни столетия и са

известни като минимума на Оорт , Волф, Шпърер и Маундер. Детайлният анализ показва, че с минимум на 200-годишния цикъл е свързан и минимумът на Далтон в началото на 19-ти век, но не и минимумът на Глайсберг-Гневишев. Изключително добре 200-210 годишния цикъл личи в радиовъглеродните данни за годишните кръгове на дърветата, където свързаните с него минимума съответстват на максимуми в радиовъглеродните съдържания заради явлението "Форбуш- ефект" - обратната връзка между нивото на слънчевата активност и потока на ГКЛ, от които се образуват космогенните радиоизотопи (фиг.2, панел "b") (*Stuiver and Quay, 1980*).

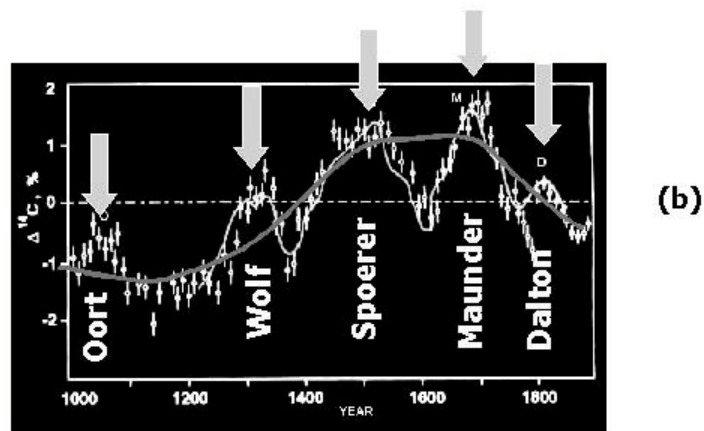
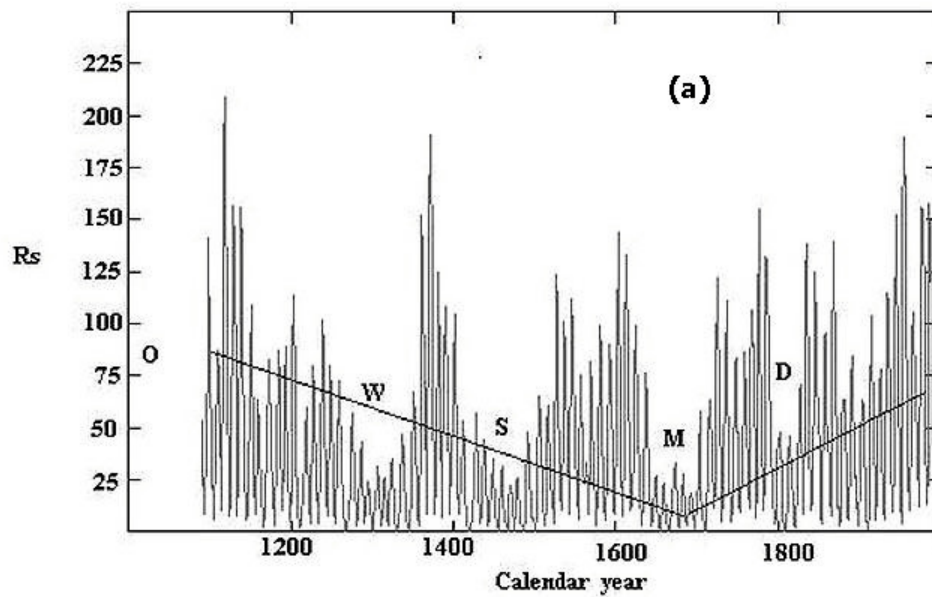
Климатичните прояви на 200-210 годишния слънчев цикъл имат както регионален, така и общопланетарен характер. С него са свързани среднопланетарни температурни колебания в рамките на 0.5 до 1 градус. Установен е в ширините на годишните пръстени на дърветата по данни от различни части на света. 200-210 годишният цикъл е изключително устойчива черта в климата на Земята. Проследен е по анализи на утаечни скали включително до епохата на късния палеозой (преди 250 милиона години) (see *Rasspopov et al., 2008 and cites therein*).

2.3. 2200-2400 годишният слънчев цикъл (Халщадтцайт) и цикълът на "малките ледникови епохи"

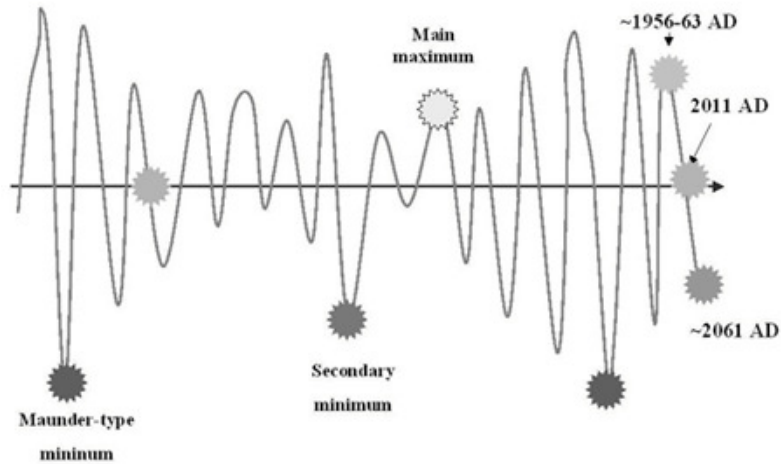
2200-2400 слънчев цикъл (Халщадтцайт) е най-мощната циклична проява на слънчевата активност в рамките на Холоцена. (*Damon and Sonett, 1991; Дергачев и Чистяков, 1993*). Проследен е обаче над 100 000 години назад във времето , включително и през Вюрмския и Риския велики ледникови периоди. Установен е на базата на изследване на радиовъглеродните съдържания в годишните кръгове на дървета, корали, пещерни образувания. Неговите минимумни фази са "маундеро-подобни" минимума, последният от които е самият Минимум на Маундер. Неговият климатичен аналог е "цикълът на малките ледникови епохи", открит в края на 60-те години от американските геолози Дентън и Карлен (*Denton and Karlen, 1973*).

Климатичният ефект от действието на Халщадтцайт е общопланетарен. Той причинява температурни вариации около 2-2.5 градуса.

Важна особеност на 200-годишния цикъл е, че той се модулира по амплитуда от Халщадтцайт (*Damon and Sonett, 1991; Bonev et al., 2004; Komitov and Kaftan, 2013*). Най-доре изразен е 200 годишният цикъл в низходящите фази на последния и маундеро-подобните минимума, (фиг.3). Най-слабо личи двувековият цикъл в околоразмаха на максимумните епохи на Халщадтцайт. На графиката са показани приблизителните календарни моменти на последния минимум и максимум на 200-210 годишния цикъл, които са съответно около 1850-51 и 1956-1963г (цюрихския 11г цикъл под номер 19.), а следващия ще бъде около 2061 г. От друга страна цикълът се намира в поредната начална фаза на затихване, макар и все още да е твърде мощен. От показаната схема се вижда също така, че в момента Слънцето трябва е в началото на Далтоно-подобен, минимум, свързан преди всичко от низходящата фаза на дву-вековия цикъл. За целта нека да направим справка и с инструменталните данни за слънчевата активност от последните години.



Фиг.2. Горe: Синтетичния ред на индекса на слънчево петнообразуване за периода 1099- 2002 г от н.е. на базата на Редата на Шове (Наговъщизин и др. 2006). С буквите "O", "W", "S", "M" и "D" са обозначени минимумите на Оорт, Волф, Шпърер, Маундер и Далтон; долу- Радиовъглеродният ред на годишните кръгове на дърветата за последните ~ 1000 години (Stuiver and Quay, 1980)



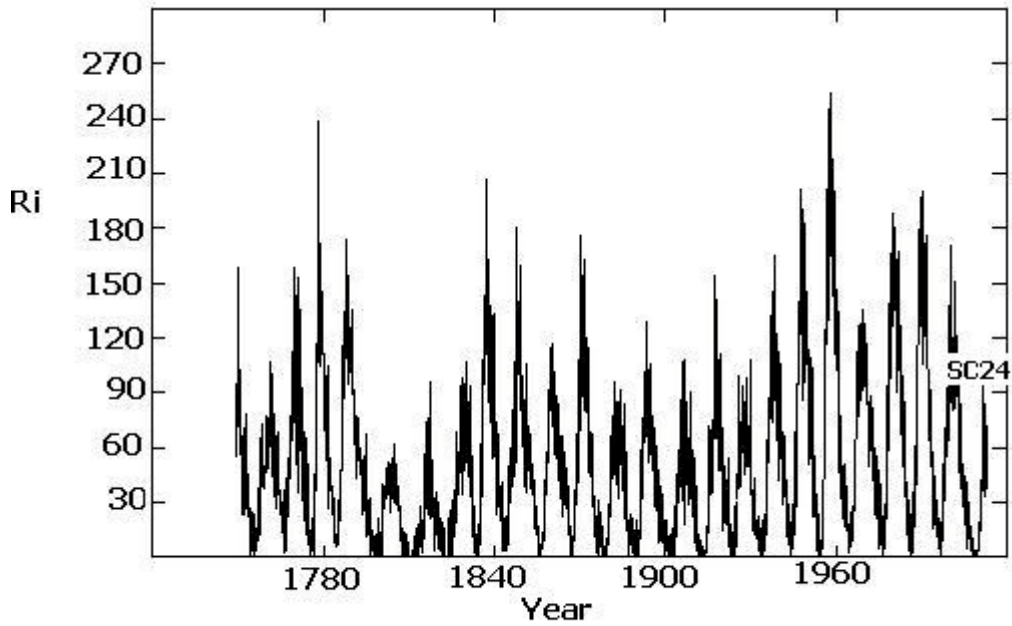
Фиг.3. Амплитудата на 200-210 г слънчев цикъл в различните фази на Халцадтцайт (Komitov and Kaftan, 2013)

2.4. Слънцето е в началото на нов свръхвекови (Далтоно-подобен) минимум

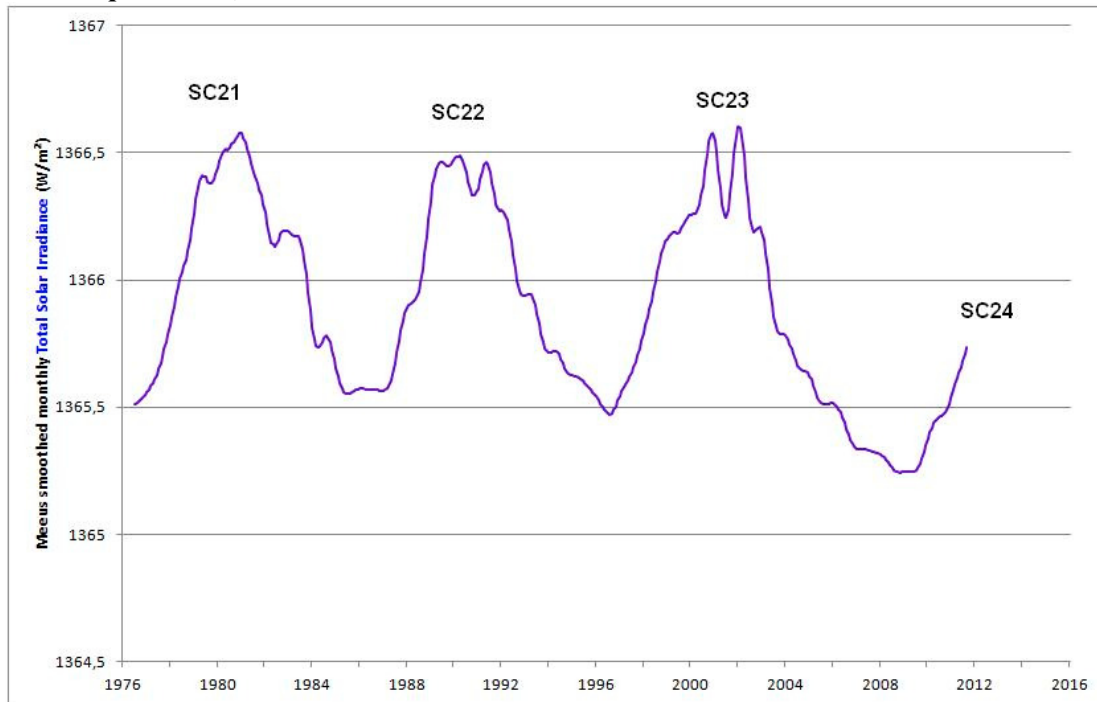
На фиг.4а,b са показани два различни индекси на слънчевата активност, за целите периоди на техни непрекъснати наблюдения. На фиг.4а (а) са дадени месечните стойности на индекса Волфово число (R_i) в Цюрихския ред от 1749 до м.април 2013 г, а на фиг.4(b) е индексът TSI (обща слънчева радиация), представен като композитна графика от данните на различни спътници за периода 1978- 2011 г. Съвсем очевидно е, че настоящият 24-ти в Цюрихския ред 11-годишен цикъл на Швабе-Волф (SC24) е най- слаб по отношение на петнообразуването за последните 100 години. Същото се отнася и до индекса TSI, който по време на настоящия слънчев цикъл е най-слаб от началото на спътниковите наблюдения през 1978, т.е. спрямо трите предходни слънчеви 11-годишни цикли (SC21, SC22 и SC23). От друга страна данните от хелиосейсмологичните наблюдения сочат, че следващият цикъл SC25 ще бъде дори по-слаб от SC24, което ще означава и за последните 200 години.

Като се имат предвид тези факти, а така също и резултатите от изучаване на едромасщабния ход на слънчевата активност, които накратко бяха представени в &2.2 и 2.3 следва, че Слънцето най-вероятно е в началото на нов Далтоно-подобен минимум. Отчитайки не само на 200-210 годишния цикъл, но също и влиянието и приноса и на другите дългосрочни слънчеви колебания, той най-вероятно ще бъде умерено дълбок, но в същото време и доста продължителен. Ще обхване по-голямата част от настоящия 21-и век. Същият е започнал през 2007-2008 г, а 24-ят в Цюрихския ред 11-годишен цикъл е първият, който попада в този свръхвекови минимум. Между другото някои изследователи изказват аргументирани становища, че всъщност тенденцията към нов дългосрочен слънчев минимум е започнала още по време на низходящата фаза на слънчевия цикъл под номер 22 през 1993г (Duhau, 2003).

Обстоятелството, че Слънцето навлиза в нов Далтоно-подобен минимум неизбежно налага условието, че за дендрохронологичния анализ трябва да се ползват достатъчно стари дървесни образци, т.е. такива, които да съдържат информация за Минимума на Далтон и са на възраст не по-малка от 200-250 години.



Фиг.4а Месечните стойности на петнообразователния индекс R_i (януари 1749- април 2013г).



Фиг. 4b Месечните стойности на индекса TSI за периода м.ноември 1978- декември 2011г.

2.5. За физическите механизми на връзката "Слънце- климат"

Влиянието на слънчевата активност върху земният климат съвсем не се изчерпва с ефекта от промените в индекса TSI- общата слънчева радиация, както обикновено се счита (*Lean et al*, 1995, 2002; *Lean* 2000, 2004). Много често ролята на слънчевата активност за промените на климата се свързва и с нейното влияние върху галактичните космически лъчи (*Svensmark and Friiz-Christensen* 1997; *Yu* 2002). Детайлният анализ на наличните данни показва, че на вариациите на TSI се дължи едва около 15-20% от общия ефект на влияние на слънчевата активност върху климата. Този факт е специално отбелязан от проведено в началото на януари 2013 г под егидата на Националния научен съвет на САЩ съвещание по въпросите на климата (http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/08jan_sunclimate/). Анализът на данните сочи, че съизмеримо, а в някои случаи по-силно влияние от вариациите на TSI и радиационните индекси имат показатели, свързани със слънчевите изригвания и изхвърляне на коронална маса, често отделящите се при тези явления слънчеви протони с висока енергия. Вече има сериозни статистически доказателства, че земната тектоника, включително и вулканизмът са повлияни в значителна степен от слънчевата активност (*Рогожин и Шестопалов*, 2007). Същата играе ролята на тригер за много тектонични явления - силни земетресения и вулканични изригвания (*Комитов*, 2011). Това е допълнителен косвен канал за влияние на Слънцето върху климата.

Тези обстоятелства са важен ориентир при изследване на преки статистически връзки между дендрохронологичните данни и различни слънчеви и геофизични индекси.

3. Данни, първична обработка и методи за анализ

Представените в тази статия резултати се основават на изследването на два дългоживущи букови образци. И двата са на възраст над 200 години и са взети от два различни района на Средна Стара планина в участъци за промишлен дърводобив.

Първият буков образец ("Паисий"-01), който е обект на нашия анализ е отрязан още преди 30 години - през 1983 година в района на мина "Паисий", близо до прохода Хаинбоаз северно от гр. Гурково, обл. Ст.Загора на около 500 метра надморска височина, южно от главното старопланинско било.

Механичната обработка и детайлни измервания на ширините на годишните пръстени са проведени 17 години по-късно - през 2000-2001 година. Възрастта на образца беше определена на 212 ± 1 година. Извършени са измервания по 8 радиални профила в различни направления, приблизително през 40- 45 градуса. Точността на отделното измерване бе около 0.1 мм. От съображение за по-голяма сигурност ширините на най-старите дървесни кръгове около центъра на дървесната шайба не бяха включени в измерванията. Самите измервания се провеждаха по посока от външния край на дървесната шайба към центъра. За всеки един годишен пръстен беше получена неговата средна ширина посредством усредняване на данните по 8-те радиални профила. Това бе направено с цел да се намали ефектът от флукуации, свързани с факотри, влияещи по различните направления. Като последна календарна година в редицата беше приета 1982-ра, т.е годината на най-външния напълно изграден годишен пръстен. Най-старият използван годишен пръстен се отнася за 1780-та година. Върху получения усреднен радиален профил беше приложено изглаждане по 5 стойности. Това беше направено с цел да се намали ефекта от различни флукуации по време, но също така и за да могат по-добре да се проявят цикли с продължителност около 10 -11 години или по – висока такава. Първите

предварителни резултати са описани в доклад и статия от 2001 г (Комитов и Владимирова, 2001).

В началото на месец април 2013 г във връзка с реализацията на договора между Института по астрономия с НАО Рожен и Министерството на земеделието със съдействието и пряката помощ на административното ръководство на Северно-централното дърводобивно предприятие в Габрово и ДГС "Росица" с. Стоките обл. Габрово, от района на СевлиеВСкия Балкан бяха взети две букови проби - "Росица"-01 и 02. Пробите бяха доставени за механична обработка и анализ в НАОП-Ст.Загора, където е организиран център за предварителна техническа подготовка и измервания на дървесните образци.

Възрастта на "Росица-01" беше определена на 245 ± 5 години, а на "Росица-02" на 160 години . Поради недостатъчната си възраст при "Росица-02" данните от този образец бяха използвани само за сравнения, а изследването се съсредоточи основно върху "Росица-01"(фиг.5).



Фиг.5 Дървесната проба "Росица"-01

Изучаването и правилната интерпретация на климатичните тенденции в България въз основа на данните за годишните кръгове на дървета предполага, че трябва да разполагаме с климатични инструментални данни, за районите , от който са взети и да извършим по тях калибровка. Такава информация е взета още в периода 1982-83г за 42 дъждомерни и 31 климатични станции, разположени върху цялата територия на страната във връзка с проведено тогава от Гогошев и Комитов (1983) проучване на влиянието на слънчевата активност върху климата на България . За около половината от тях информацията обхваща периода от 1899 до 1979 година. Данните са публикувани в издаваните тогава годишници на ГУХМ към БАН. Първичната обработка включваше получаването на полугодишни стойности за количеството валежи и температурите за всяка една станция. За студено полугодие беше избран периодът ноември-април, а за топло - периодът май-октомври. През 1997 година редиците за някои станции бяха

допълнени за следващите 15 години, т.е до 1994 година.

Получените от измерванията временни редове на ширините на годишните пръстени на дървесните образци са изследвани за статистически достоверни трендове и цикли. Като метод за изследване на цикли и тяхната устойчивост във времето беше използвана Т-Р периодограмната процедура. Тя е описана в редица други наши предишни работи (Комитов 1986; Комитов 1997, 2007), така, че в момента на нея няма да се спираме в детайли. Получените резултати бяха използвани с цел получаване на модели на съответните временни редове. На свой ред последните бяха екстраполирани извън времевите интервали на извадките, от които бяха получени, т.е. с цел прогноза. Климатичната калибровка на образците бе извършена с помощта на корелационно-регресионен анализ. Бяха направени също така и опити намерените връзки да бъдат подоброени чрез нелинейни апроксимации. Оказа се обаче, че нелинейните ефекти не са статистически значими.

4. Резултати и анализ

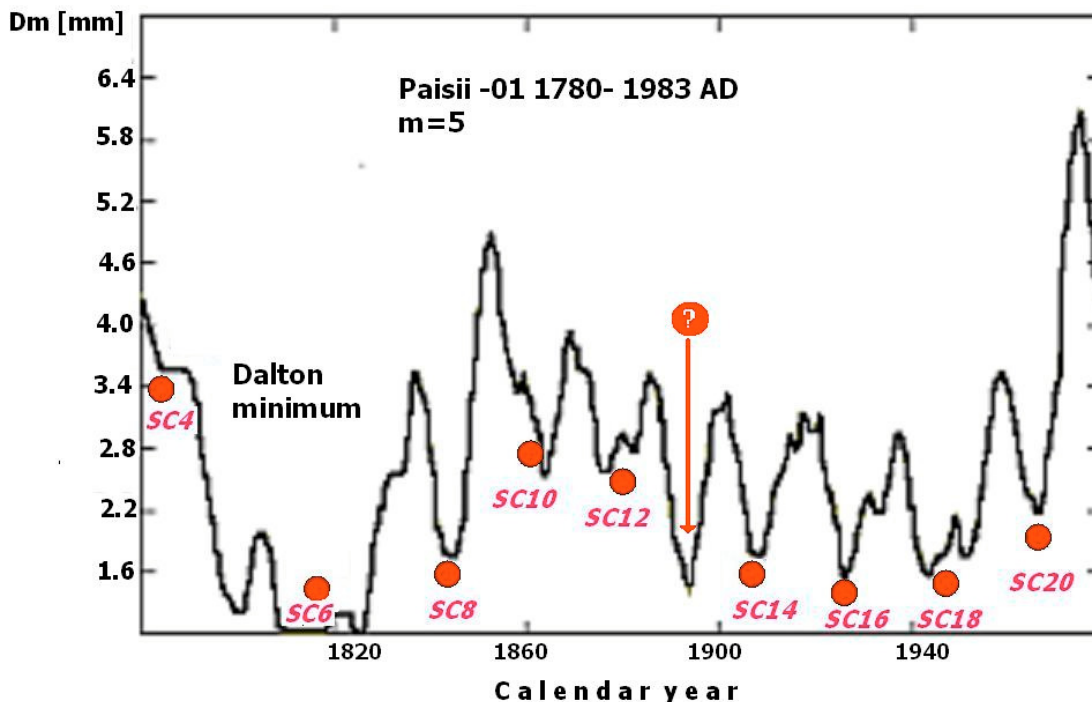
4.1. "Паисий"-01

Полученият изгладен временен ред е показан на фиг.6. От една страна като цяло в данните личи много добре изразена 20-22 годишна цикличност. С нея са свързани локални минимума на изгладените ширини на пръстените (параметърът Dm). Съответните минимума с изключение на един в самия край на 19-ти век съответстват на максимуми на 11-годишни слънчеви цикли с четни номера в Цюрихския ред. От друга страна ясно се вижда от графиката, че амплитудите на този ~20 годишен климатичен цикъл не са еднакви. Той е мощен в средата на 19-ти век, но след 1870 година забележимо отслабва, а след 1940 година се усилва отново и достига високи амплитуди през 60-те -70-те години на 20-ти век. Много е интересен ходът на графиката към края на 18-ти век. Първоначално стойностите на Dm са високи и започват да спадат до околномаксимумната фаза на слънчевия 11 г цикъл с четен номер 4 (SC4), където се оформя "стъпало". Вместо да поеме обратно нагоре както това става в другите случаи след максимум на четен цикъл изгладените ширини обаче бързо тръгват надолу. Това показва, че след този 4-ти четен слънчев максимум започва да действа мощен допълнителен фактор. Несъмнено това е настъпването на Минимума на Далтон. От хелиофизична гледна явлението е свързано със значително и рязко намаляване на магнитния поток на Слънцето, което пък води до отслабване на амплитудата на следващите два 11 годишни цикли и почти пълното замиране на 22-годишния цикъл. Това от своя страна резонира върху климатичните условия в района, откъдето е взета пробата и съответства на много слаб растеж на дървесната маса. Нещата се променят едва към 1830 година, т.е при излизането от Слънцето от Минимума на Далтон.

Климатът, а във връзка с това и ширините на годишните пръстени на този образец са реагирали по някакъв начин и на вековия минимум на Глайсберг - Гневишев (1898-1923г). С прехода към него изглежда е свързан дълбокият минимум около 1895-1900 г, който излиза извън рамките на обичайната иначе за тази редица 20-22 годишна цикличност.

С помощта на процедурата "Т- Р периодограмен анализ" беше анализиран временния ред на усреднените и изгладени стойности на ширините на годишните пръстени на пробата "Паисий -01". Статистически значими се оказаха циклите с продължителност около 18-24 години (средно 21 г) плюс 50г, 67г и 116 годишни цикли (фиг.7). До известна степен беше изненадващ фактът, че там не беше открит статистически значим 200 годишен цикъл, независимо от много доброто проявяване на Минимума на Далтон в тези данни. Защо това е така ще бъде обект на специална дискусия, която обаче би могла да се проведе след като бъдат изследвани повече образци по южните склонове на Стара планина.

На фиг.8 е показан параметър, който е получен въз основа на T-R периодограмната процедура и характеризира измененията на амплитудата на колебанията в диапазона между 18 и 24 години, т.е. диапазон чийто център е при период от 21 г. Графиката илюстрира че 20-22 годишния цикъл има три периода за времето между 1780 и 1980 г в които той е най-слаб. Те са - по по време на Далтоновия Минимум, в края на 19-ти век (т.е около 1880-1900 г) и около 1940 г. Интересно е, че динамиката на този параметър през 20-ти век съответства много добре на определени промени в режима на пренос на вещество в конвективната зона на Слънцето, описани от Георгиева и Киров (2011). Както се вижда, процесът е цикличен, а неговата средна продължителност е около 60 години.

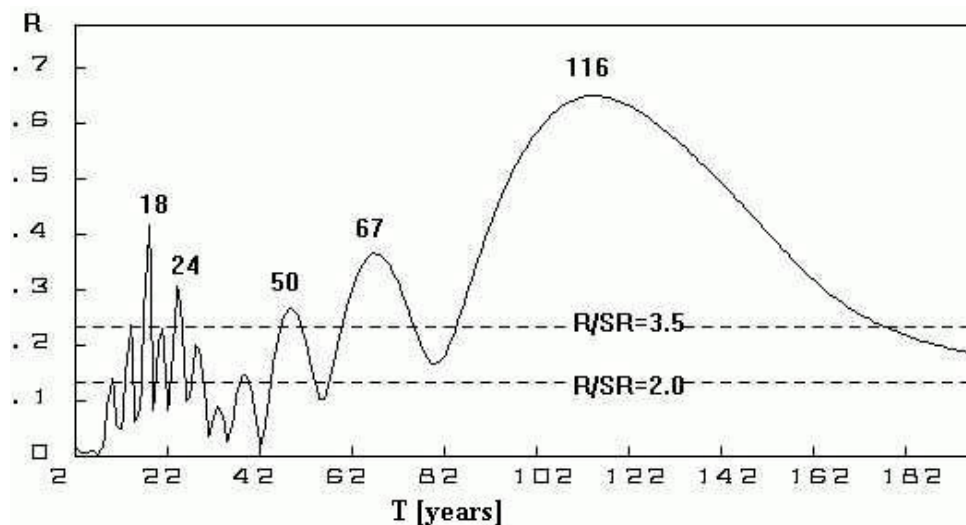


Фиг.6 Изгладеният временен ред на ширините на годишните пръстени на дървесниата проба "Паисий'-01.

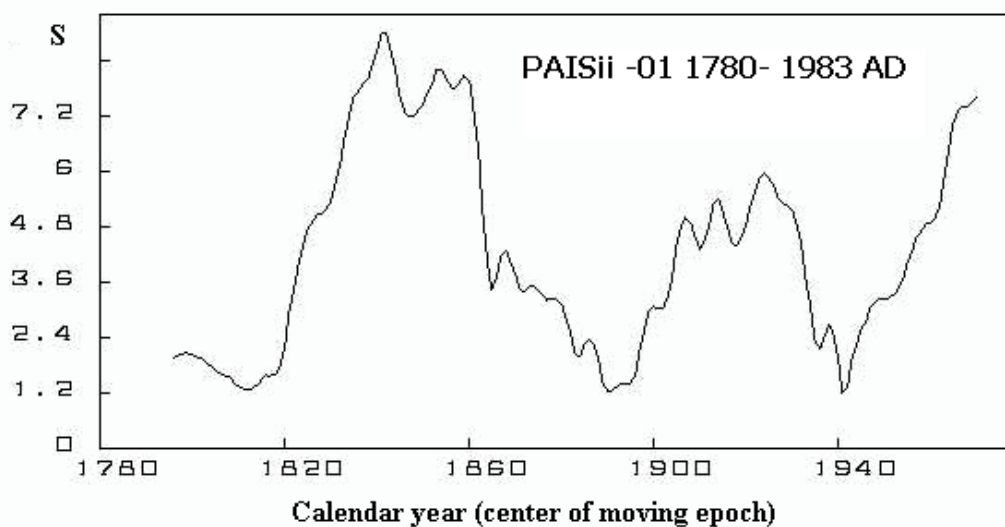
Бяха изследвани статистическите връзки между изгладените стойности на ширините на годишните пръстени на образеца "Паисий'-01" и изгладените по 5 години данни за температурите и валежите в близки станции. Целта беше да се направи климатична калибровка за образеца по някой от двата (или и по двата) параметъра. Бяха избрани пет близки станции - Стара Загора, Казанлък, Габрово, Велико Търново и Сливен. Установено беше, че най-силните връзки са с валежите и температурите през топлото полугодие със станциите Казанлък и Стара Загора, а връзките с данните и за двете станции се оказаха практически еднакво силни. Установена беше положителна корелация ($r=+0.71$) между ширините на годишните пръстени на "Паисий'-01" и количеството валежи в Стара Загора. Съответният коефициент за Казанлък е $r=+0.72$. Коефициентът на корелация с температурите се оказа малко по-нисък и близък за двете станции ($r=-0.69$). По такъв начин става ясно, че интензивният растеж на екземпляра, от който е взета пробата "Паисий'-01" е бил в периодите с по-хладни и дъждовни лета .

Обратно, тесните годишни пръстени показват тенденция да се групират към по-горещите и сухи летни периоди. Фактът обаче, че локалните минимума на летните валежи и съответно най-горещите лета се групират около

максимумите на четните 11-годишни цикли е в пълно съответствие с направените от нас изводи през 80-те години за влиянието на 20-22 г слънчев цикъл върху климата на Южна България въз основа на инструменталните данни (Комитов 1981, 1986; Гогошев и Комитов, 1983).



Фиг.7. T-R корелограма на временния ред на изгладените ширини на годишните пръстени на пробата "Паисий"-01



Фиг.8 Интегрален мощностен параметър S (виж Комитов 1997) на квази-20 годишните осцилации във временния ред на изгладените стойности на ширините на годишните пръстени на пробата "Паисий"-01.

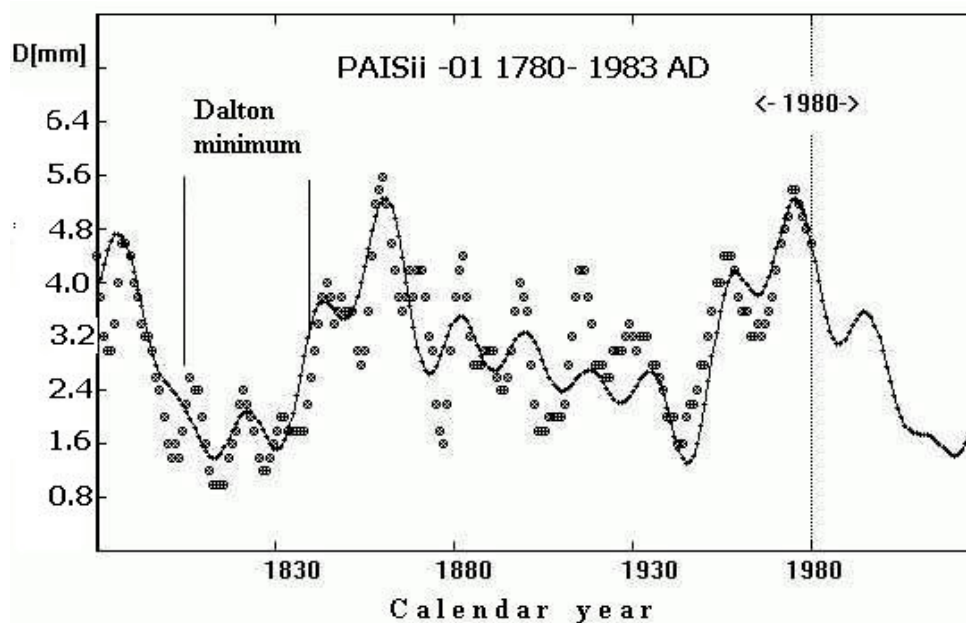
По всичко изглежда, че Далтоновият минимум е бил период на горещи и сухи лета в Южна България. Може ли обаче да се направи някакъв по-определен извод за зимното полугодие?

За съжаление букът е широколистно дърво и неговият вегетационен период е през топлото полугодие. Въпреки това беше намерена, макар и значително по-слаба връзка със зимните температури във Велико Търново и съответният коефициент на корелация се оказа $r=+0.56$.

Този коефициент е доста слаб за сигурни изводи, но все пак показва тенденция, че на по-тесните годишни кръгове съответстват по-ниски температури през студеното полугодие. Най-вероятно студените и по-дълги зими забавят

развитието на дървото през пролетта.

Ако това наистина е така, то следва, че Минимумът на Далтон се е характеризирал в нашите земи освен с горещи и сухи лета, също и с по-студени зими или (по-вероятно) по-студена ранна пролет. Това от своя страна означава по-континентален климат.



Фиг.9. Модел на временния ред на изгладените ширини на годишните пръстени на пробата "Паисий"-01, получен на базата на T-R корелограмата, представена на фиг. 7.

Този извод би трябвало да бъде проверен с анализ на повече дървесни проби.

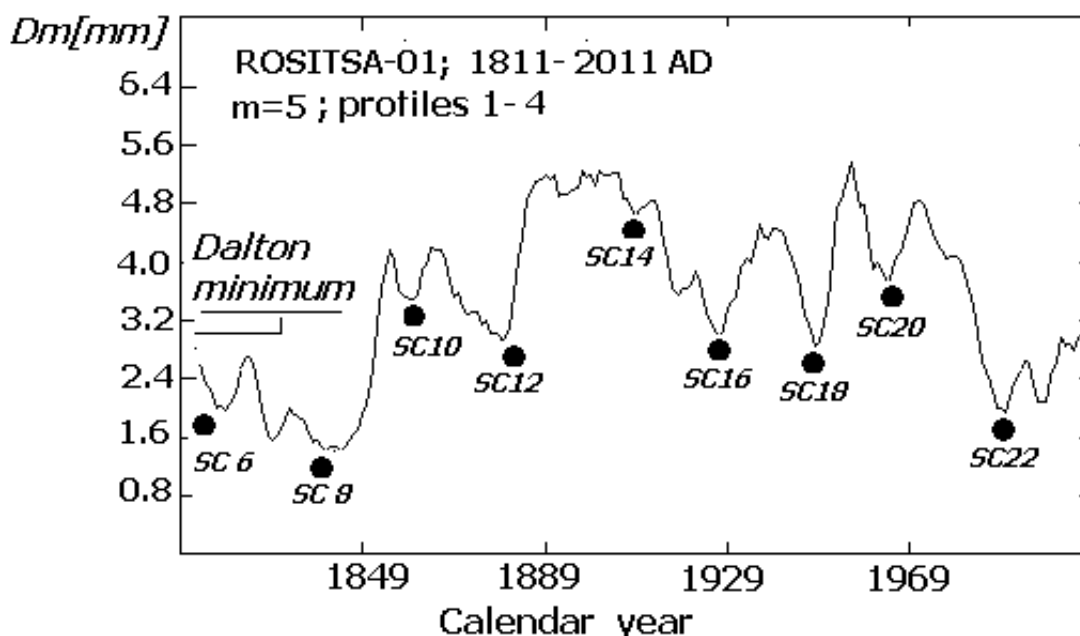
Въз основа на статистически достоверните цикли, установени с помощта на T-R периодограмния анализ беше построен модел на временния ред на изгладените ширини на пръстените на образеца "Паисий-01"(фиг.9). Коефициентът на корелация между моделните и фактическите стойности е 0.82. Той е показан на графиката с плътна линия. Моделът е екстраполиран за 30 години напред след 1980 година, за която се отнася последната изгладена стойност от оригиналните данни. Както се вижда от графиката тази екстраполация показва бързо намаляване на ширините на годишните пръстени след началото на 80-те години и включително докъм 2010 г. Ако се вземат предвид и резултатите от климатичната калибровка то тази екстраполация може да се приеме като прогноза за настъпване на продължителен период на сухи и горещи лета , която започва от след околномаксимумната фаза на слънчевия 11-г цикъл под номер 21. Отначало тя следва много бърз спад до максимума на четния цикъл 22 и известно нарастване през 90-те години, което обаче е доста по-слабо от това през 70-те години. Това показва, че много скоро след максимума на 22-и цикъл е започнал процес, който твърде много наподобява ситуацията след максимума на слънчев цикъл No 4 в края на 18-ти век. Впрочем , както вече казахме в &2.4. някои изследователи показаха аргументи за това, че всъщност преходът към новия Далтоно-подобен минимум е започнал не в края на цикъл 23, а още през 1993 г, т.е. скоро след максимума на цикъл номер 22 (Duhau, 2003).

По този начин екстраполацията на нашия модел представлява прогноза не само за настъпването на продължителен сух и горещ летен период в Южна България, но едновременно с това и на нов свръхвекови минимум от Далтонов тип. Този резултат естествено поражда интерес да бъдат изследвани и други

букови образци. Такава възможност се удаде едва през 2013 г и тя е свързана с осъществяването на настоящия проект.

4.2. "Росица"-01

Поради нарушенията в структурата на "Росица"-01 в централната част на шайбата и различни нелинейни ефекти и смущения в най-ранния период от развитието на дървото, най-вътрешната околоцентрална област не беше включена в измерванията и анализа. На практика резултатите бяха получени по 4 радиални профила. Два от тях бяха 221-годишни, а другите два - 200 годишни. Усредненият по 4 радиуса и изгладен по 5 години 200 годишен профил за периода 1811- 2011г е показан на фиг10. Основната разлика между нея и съответната графика за образца "Паисий-01" е много ясно изразената квази- 200-годишна вълна, която започва с дълбок минимум в началото на 19-ти век (Минимумът на Далтон) и завършва с друг също така добре изразен минимум в самия край на 20-ти и началото на 21-и век.

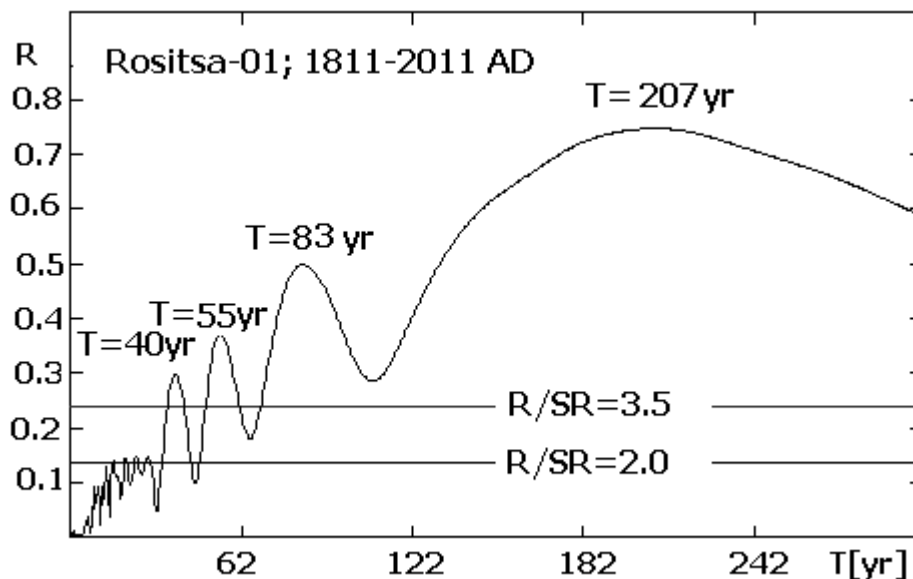


Фиг.10 Изгладеният временен ред на ширините на годишните пръстени на дървесниата проба "Росица"-01: 200- годишни профили 1-4 .

На графиката на фиг.10 ясно се виждат локални минимума около максимумите на четните 11-годишни цикли. За разлика от пробата "Паисий-01" дълбочините на тези минимума се различават като цяло много по-силно. Очевидно е, че тези дълбочини силно зависят от фазата на 200- годишната вълна. Най-силна е амплитудата на 20-22год. цикли по средите на възходящите и низходящи клонове на 200- годишния цикъл. Те почти изчезват около нейния максимум, който приблизително съвпада със слънчевия векови минимум на Глайсберг-Гневишев. Впрочем пикът в ширините на годишните пръстени по време на този минимум ясно изпъква и доминира над другите две епохи на силен растеж на образца около 1860-1870 и 1960- 1980 та година. Това е втората съществена разлика с образца от района на Хаинбоаз, но именно тя е причината 200- годишния цикъл в района на СевлиеВСкия балкан да е толкова силно изявен под формата на квазипериодичен тренд. За сметка на това квазивековите и

субвековите колебания изглеждат доста по-слабо изявиени.

Че това наистина е така, личи от T-R спектъра на изгладената редица на ширините на пръстените за пробата "Росица-01"(фиг.11). Двувековият 200-210 годишен цикъл присъства мощно в този спектър като пик при период, равен на 207 години с много висок коефициент на корелация - почти 0.8. От друга страна квази 120-годишният цикъл тук е заменен от друга компонента на вековия "мултиплет", а именно аналог на слънчевия цикъл на Глайсберг. Квази 60-годишният цикъл е представен в по-късия си вариант като 55 годишен, какъвто впрочем той беше установен при летните валежи в Южна България. Прави впечатление присъствието на 40- годишен статистически значим двоен хейловски цикъл (~40-44г). Достоверното му съществуване в поведението на Слънцето беше доказано от Javaraiah (2003).



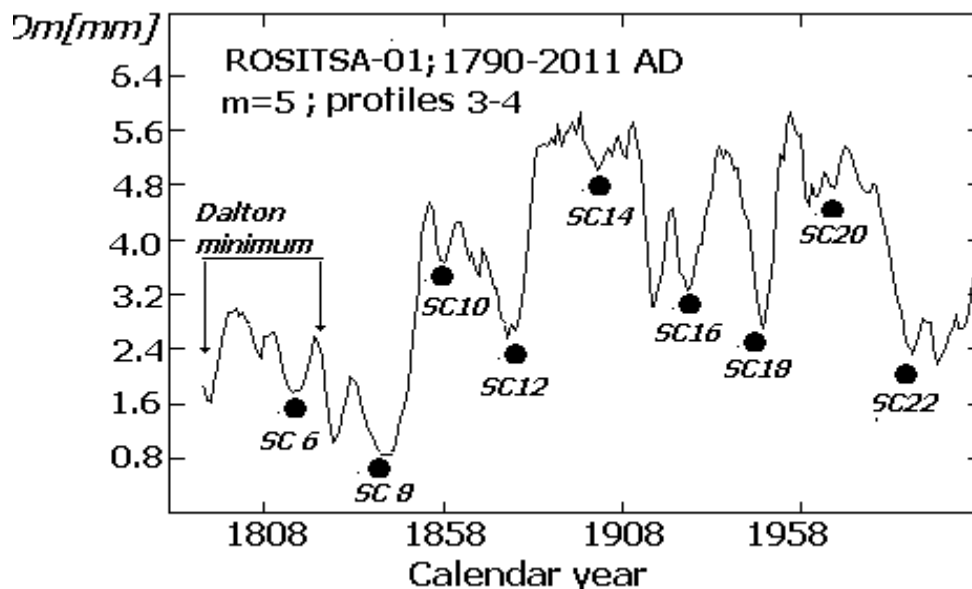
Фиг.11. T-R корелограма на временния ред на изгладените ширини на годишните пръстени на пробата "Росица"-01: 200- годишни профили 1-4

На фиг.12 са показани усреднените и изгладени данни, получени само на базата на по-дългите 221- годишни профили. Целта е да се провери доколко при малък брой усреднени радиални профили изключването или включването на допълнителен такъв може да повлияе на резултатите. От графиката се вижда, че в качествено отношение няма разлика между случаите на усредняване по 2 или по 4 радиални профила, а като стойности самите данни също малко се различават. Единствената по-съществена разлика е, че в случая с два усреднени профила 20-22 годишният цикъл изглежда по-добре изявен.

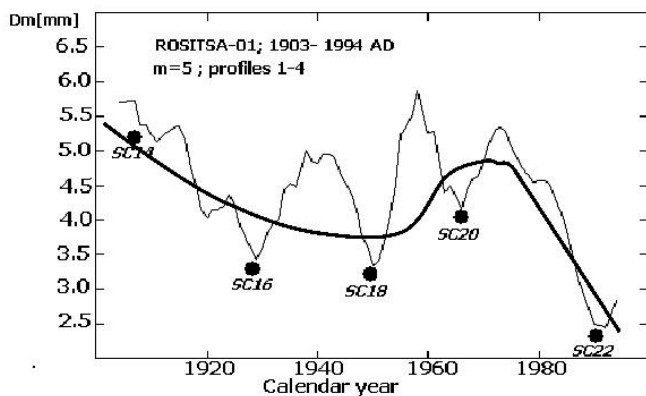
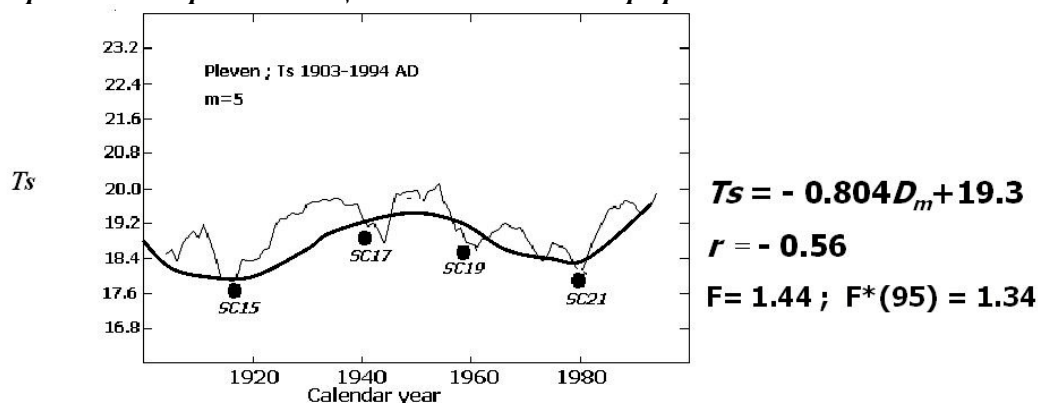
За климатична калибровка на образеца "Росица"-01 бяха ползвани данни от близките метеорологичните станции Габрово и Плевен.

Намерени бяха статистически достоверни връзки с летните валежи и температури и в двете станции. Единствената от тях обаче с прогностична значимост, макар и почти на критичния минимален праг за F- критерия на Снедекор- Фишер се оказва връзката със средните температури през топлото полугодие за станция Плевен. От намерената зависимост следва, че връзката между ширините на годишните пръстени на "Росица-01" и температурите е обратна - тоест на горещите лета съответства бавен растеж на бука (фиг.13). Този резултат е в пълно съответствие с аналогичния за пробата "Паисий-01" на южния склон на Стара планина. Силното намаляване на ширините на годишните пръстени на "Росица-01" в края на 20-ти век е фактическо независимо потвърждение за правилността на прогнозата за лятно засушаване и настъпване

на Далтоно-подобен слънчев минимум около границата на 20-ти и 21-век, направено по пробата "Паисий -01" на базата на данни до 1982г. От тази гледна точка последната може да се разглежда в известен смисъл като много успешен пример за "епигноза" (т.е. пробна прогноза върху предварително известен ход на изследван параметър).



Фиг.12 Изгладеният временен ред на ширините на годишните пръстени на дървесниата проба "Росица"-01: 221- годишни профили 3 и 4 .



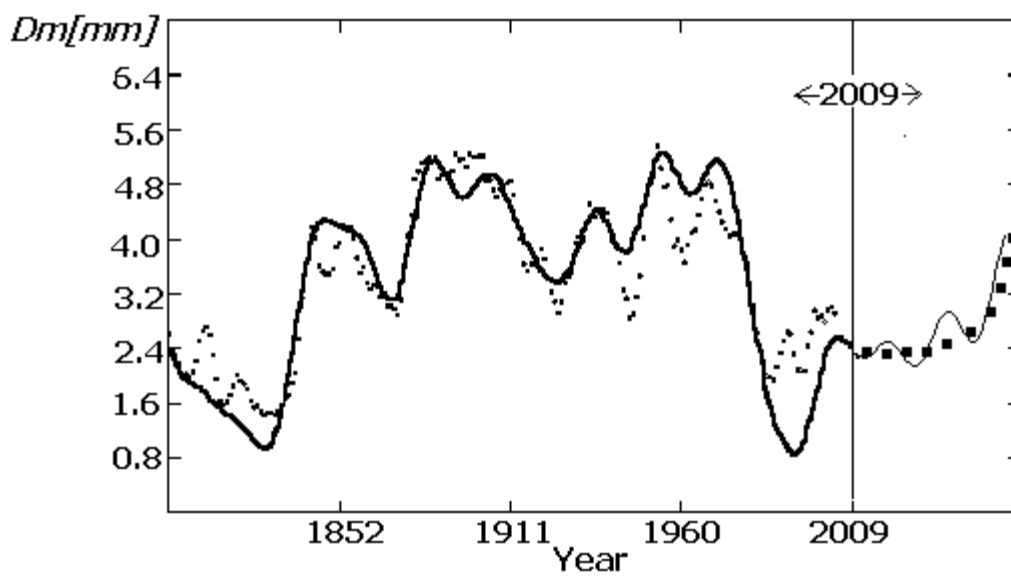
$$Ts = - 0.804D_m + 19.3$$

$$r = - 0.56$$

$$F = 1.44 ; F^*(95) = 1.34$$

Фиг. 13 Връзката между изгладените стойности на ширините Dm на годишните пръстени на образца "Росица"-01 и средната температура през топлото полугодие Ts в станция Плевен за периода 1899-1994г

Както и в случая с "Паисий" -01 и за образца "Росица" -01 беше построен модел на временния ред, на базата на откритите статистически достоверни цикли (фиг.14). Същият е с много висок коефициент на корелация с оригиналните данни, а именно 0.91. Той е екстраполиран за периода между 2011 и 2040 година. От него ясно се вижда, че минимумът на годишните кръгове (т.е. максимум на лятно затопляне) е вече достигнат около началото на четвия 24-ти слънчев цикъл или дори малко по-рано. Следва период на постепенно захлаждане на климата през лятото, което бързо ще се засили след 2030г.



Фиг.14. Модел на временния ред на изгладените ширини на годишните пръстени на пробата "Росица"-01, получен на базата на T-R корелограмата, представена на фиг. 11.

5. Дискусия

Получените и показани дотук резултати се отнасят само за два дървесни образца от един и същи вид. От друга страна обаче се оказва, че макар и малко по обем, дори и на този етап, те позволяват да се направят някои интересни предварителни интерпретации.

Нека на първо място да се спрем на факта, че в ширините на пръстените и на двата образца личи 20-22 годишна цикличност. В данните за образца "Паисий"-01, който е взет от място, разположено на южните склонове на Средна Стара планина, той е много силно изявен и личи добре в съответния T-R спектър. В същото време бе показано, че макар и видим в данните за "Росица"-01, той е силно "подавен" от мощната 200-годишна вълна, очевидно свързана с 200-210 годишния слънчево климатичен цикъл. В същото време, както се вижда на съответната T-R корелограма, той е практически около критичния праг на 95% достоверност ($R/SR \approx 2$; SR е грешката на съответния коефициент на корелация R). Би ли могло това да означава, че през топлото полугодие в климата на Южна България през последните два века се е проявявал по-добре изявен 20-22 годишен цикъл, отколкото северно от главното старопланинско било?

Да разгледаме независими резултати в тази насока, получени в началото на 80-те години. Тогава в Базова обсерватория "Ю.Гагарин"-Ст.Загора към Централна лаборатория за космически изследвания към БАН беше реализирана

близо тригодишна програма по изследване на влиянието на слънчевата активност върху климата на България през 20-ти век на основата на максимално пълна извадка от инструментални данни за периода 1899-1979 г. Всъщност използваната тогава мрежа от станции е фактически в основата на климатичната калибровка на дървесните образци по настоящата програма. Получените тогава от Комитов (1981, 1986) и Гогошев и Комитов (1983) година резултати показаха, че в рамките на изследвания близо 80 годишен период (1899-1979г) върху по-голямата част от територията на Южна България са се наблюдавали 20-22 годишни вариации на валежите и температурите през топлото полугодие, свързани със слънчевия магнитен хейловски цикъл. Тези вариации обаче в Северна България почти са отсъствали и на практика са били статистически достоверни само при данните за три от изследваните станции (Плевен, Сухиндол и Вършец) (фиг.15).



Фиг15. 20-22 годишният цикъл през топлото полугодие в климата на Южна България по инструментални данни за периода 1899-1979 г. С тъмни кръгчета са обозначени станциите, в които този цикъл е установен със статистическа достоверност $\geq 95\%$ (Гогошев и Комитов, 1983).

Получените при сегашното изследване резултати категорично потвърждават установената преди близо три десетилетия разлика в степента на климатична проявеност на хейловския слънчев цикъл от двете страни на старопланинското било. И в този случай, както и при инструменталните данни южно от билото той е по-силно изявен, отколкото северно от него. Каква може да бъде причината за това?

Най-вероятно тя е свързана с динамиката на средиземноморските циклони. Поне доколкото може да се съди както от инструменталните, така и от дендрохронологичните данни от изследваните дървесни образци, през последните два века това влияние е било забележимо по-силно в Южна отколкото в Северна България. Това изглежда логично дори от най-груби физико-географски съображения. Тъй като циклогенезата над Западното Средиземноморие е пряко свързана с активността на Исландския баричен минимум, то тези резултати са косвено независимо потвърждение за влиянието на 20-22 годишния магнитен слънчев цикъл върху динамиката на този голям баричен център в Северното полукълбо. Този факт е открит и изследван от голям брой изследователи от Втората световна война насам (Рубашев 1963 и цитатите там; Shourmans and Oort, 1969; Витински и др., 1976 и цитатите там; Hergman and Goldberg, 1978 г и

цитатите там).

По-добрата проявеност на 200-210 годишния слънчево-климатичен цикъл през топлото полугодие в Северна България е може би следствие от това, че същият е слабо проявен (или се проявява по по-специфичен начин) в поведението на Исландския баричен минимум и респективно на средиземноморските циклони. Както вече казахме, този въпрос ще бъде подробно изследван и дискутиран допълнително, след като бъдат обработени данните от по-голям брой дървесни образци, а същите бъдат сравнени с дендрохронологични данни и от други части на Северното полукълбо. Тук само отново ще напомним, че климатичният ефект от 200-210 годишния цикъл се проявява както в регионален, така и в общопланетарен мащаб, докато влиянието на 20-22 годишния цикъл има по-скоро регионален характер и е видимо най-вече в райони с преходно-континентален и субтропичен климат.

От представените резултати следва изводът, че свръхвековите Далтоноподобни минимума са периоди , в които 20-22 годишния климатичен цикъл не само че забележимо отслабва, но и практически временно напълно изчезва. Както вече казахме, това е свързано най-вероятно с дългосрочно намаляване на магнитния поток на Слънцето и формирането на серия от слаби (два или повече на брой) 11-годишни цикли. До подобен извод водят и резултатите на Митчел и др.(*Mitchel et al.1979*) . Тези автори, които изследват годишните пръстени на голям брой образци от секвоя в западната част на САЩ също установяват, че 20-22 годишният цикъл се проявява много устойчиво в климата на споменатия район, поне от средата на 17-ти век насам. В същото време обаче те констатират значително отслабване на неговата мощност по време на минимумите на Маундер, Далтон и Глайсберг- Гневишев , съответно през втората половина на 17-ти, началото на 19-ти и началото на 20-ти век.

Тук е мястото да отбележим, че видимо отслабване на амплитудата на 20-22 годишния цикъл в данните за ширините на пръстените на "Росица"-01 има и по време на Минимума на Глайсберг-Гневишев (1898-1923г). Както обаче се вижда на фиг.10, за разлика от Минимума на Далтон и новия свръхвекови минимум в началото на 21-и век, Минимума на Глайсберг-Гневишев се свързва с големи ширини на пръстените и съвсем слабо изразен минимум при слънчев цикъл No14 (SC14), т.е. и с хладни лета. Твърде е възможно Минимумът на Глайсберг -Гневишев да бил период когато климатичните контрасти в топлото полугодие между Северна и Южна България да са били най-големи за последните два века. В Северна България те са били прохладни, докато на юг от Стара планина те са били по-скоро сухи и горещи, а синхронът с 20-22 годишния цикъл е бил сравнително добър. Все пак и там има известен срив и доказателство за това е "излишният минимум" в ширините на пръстените на "Паисий"-01 в самия край на 19-ти век. Последният може би е указание за настъпването на Слънцето на събитие, аналогично на това след максимума на четния слънчев цикъл No 4 в началото на Далтоновия минимум. То обаче е било сравнително краткотрайно.

6. Заключение

Констатацията, че в момента климатът на България преминава през период, аналогичен на този по време на слънчевия Минимум на Далтон налага четири важни извода, а именно:

1. Съвременният период на горещи и сухи лета е резултат от закономерни квазициклични процеси, свързани с поведението на Слънцето в дългосрочен план. Става въпрос за времеви мащаби, надхвърлящи 11 и 22 годишните цикли и отнасящи се към климатичните ефекти, породени от съответната фаза на 200-210 годишния слънчев цикъл. До известна степен ситуацията е свързана и с настоящата фаза на свръххилядолетния 2200-2400 годишен слънчев цикъл (Халщадтцайт), чиято роля обаче тук беше съвсем бегло отразена. Във връзка с

това считаме за излишно включването на хипотеза за допълнителен източник на затопляне през последните 30 години, както това правят някои изследователи (Lockwood and Frolich 2007).

2. Периодът на съвременното затопляне на летата е протекъл в две фази. В първата фаза след максимума на слънчевия цикъл с цюрихски номер 21 (SC21) през 1980-81г е започнало "редовното" затопляне и засушаване на топлото полугодие. То е продължило до максимума на слънчевия цикъл No22, т.е. до 1989-91г. Скоро след това обаче са започнали дългосрочни промени в режима на пренос на слънчево вещество в конвективната зона. Това довежда до скъсяване на SC22, чиято продължителност се оказва едва 9.6 години. Ето защо този цикъл приключва твърде рано- през май 1996г. Това на практика е било прелюдия към настъпване на Далтоно-подобен минимум, съвсем видим след края на слънчевия цикъл No23 (SC23) през 2007-2008г. Процесът е съпроводен с рязко спадане на общия магнитен поток на Слънцето, което съпровожда бързото отслабване на 20-22 годишния слънчев цикъл. Климатичният ефект от това е значителното намаляване на активността на Исландския минимум и установяването на продължителен период със сухи и горещи лета в Югоизточна Европа в края на 20-ти и началото на 21-и век. Максималната фаза на този процес е достигната около или малко преди 2007г, т.е. непосредствено преди фактическото видимо начало на новия Далтоно-подобен минимум.

3. В дългосрочен план предстои бавно възстановяване на амплитудата на 20-22 г слънчев цикъл. Процесът обаче ще стане по осезателен след края на слънчевия цикъл с цюрихски номер 25 (SC25), т.е. след 2028-2030г. Слаба тенденция към захлаждане и овлажняване на летата трябва да се очаква още между максимумите на настоящия и следващия 11-годишни слънчевви цикли, т.е. между 2013/2014 и 2025г.

4. Съществуващите инструментални редици от данни у нас и по света са твърде къси за да може единствено само на тяхна основа правилно да се интерпретира съвременното състояние на климата и неговите бъдещи промени. Ползването на косвени данни може да даде добри резултати само тогава, когато съответните редици са с дължина минимум от 200 години или повече. Това се отнася и до дендрохронологичните данни.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят на административното ръководство на Северо-централното горско предприятие -Габрово и лично на неговите директор инж. Иван Недков и заместник - директор инж. Тодор Бонев за оказаната административна и организационна подкрепа. От друга страна сме благодарни и на персонала ан ДГС "Росица", с.Стоките, обл. Габрово и неговия ръководител инж. Иваничка Иванова във връзка с оказаната техническа помощ за получаването на дървесните проби "Росица"-01 и 02.

БИБЛИОГРАФИЯ

Bonev, B., Penev, K. and Sello, S.: 2004, Long-term solar variability and the solar cycle in the XXI century, Astrophys J. Lett . 81–84

Витинский Ю.И., Оль А. и Сазонов А., 1976, Солнце и атмосфера Земли, Гидрометеиздат, Ленинград

Гогошев М. и Комитов Б., 1983, Анализ на краткопериодичните вариации на климата в България през 20-и век и някои следствия, отнасящи се до народното стопанство, препринт на ЦЛКИ към БАН-Базова обсерватория Ст.Загора

Damon, P. E. and Sonett, C.P., 1991, in The Sun in Time, ed. Sonett, C.P., Giampapa, M.S de Jager C. and Usoskin I., 2006, On possible drivers of Sun-induced climate changes, J. Atm. Sol-Terr. Phys., v.68, pp2053-2060

Denton, G. H., and W. Karlen, 1973, Holocene climatic changes, their pattern and possible cause, Quaternary Research, 3, 155-205

de Vries H., 1958, Koninkl. Ned. Acad. Wetenschap. v. 861. pp 94-102.

Дергачев В.А, Чистяков В.Ф., 1993, 210 и 2400 летние солнечные циклы и колебания климата, Известия ФТИ, стр. 112

Duhau S., 2003, An Early Prediction of Maximum Sunspot Number in Solar Cycle 24, Sol. Phys, v. 213, Issue 1, p. 203-212 (2003)

Fritzt H., 1976, Tree Rings and Climate, Subsidiary of Harcourt Brace Jovanomch, Publ/ien, London, New York, San Francisco

Herman J.R. and Goldberg R., 1978, Sun, Weather and Climate, NASA Sci an Technology Inf. Branch

Javaraiah J.: 2003, Astron. Astrophys. 401 L9

Комитов Б., 1981, Върху една възможност за дългосрочно прогнозиране на агроклиматичните условия в Горнотракийската низина на базата на 22-годишния слънчев цикъл, докл. 2-ра Нац. Конференция по космическо-земен технологичен трансфер и първи резултати от спътника “Интеркосмос-България-1300”, 8-10 окт. 1981, Ст.Загора

Комитов Б., 1986, О возможном влиянии солнечных циклов на климат в Болгарии, Солн. данные, No 5, стр. 73-78

Комитов Б. и Владимиров В., 2001, Климатът през топлото полугодие в Централна България през 18-20-и век по дендрохронологични данни, 6-та Нац. конференция по слънчево-земни въздействия, София, дек.2001

Komitov B., 1997, The Schove's series. Centural and Supercentural variations of the solar activity. Relationships between adjacent 11-year cycles, Bulg.Geoph.J.,23,74 –82

Komitov B. and Bonev B., 2001 Amplitude Variations of the 11-year Solat Cycle and the Current Maximum 23, Astrophys. J. Lett v.554,L119-L122, 2001 June 10

Komitov B., 2007, The supercentural solar minima and their preceding phenomena,Bulg.Astron.J. No 9

Комитов Б.,2011, Гелиогеотектоника, Науки о Земле, No 2, ISSN 2223- 083

Komitov B. and Kaftan V., 2013, The sunspot cycle no. 24 in relation to long term solar activity variation, JARE, v. 4, 279-282

Lean, J., J. Beer, and Bradley R., 1995. Reconstruction of Solar Irradiance Since 1610: Implications for Climate Change, Geophys. Res. Lett., v.22, No. 23, pp 3195-3198, December 1, 1995.

Lean, J. , 2000. Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum. Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 16, pp. 2425-2428, Aug. 15

Lean J.L., Wang Y-M. and Scheeley Jr., 2002, The effect of increasing solar activity on the Sun's total and open magnetic flux during multiple cycles: Implications for solar forcing of climate, Geophys. Res. Lett., v29, No24

Lean, J. , 2004, Solar Irradiance Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2004-035. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Lockwood M. and Frolich C.,2007, Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature, Proc. R. Soc. A., doi:10.1098/rspa.2007.1880, /Published online/

Метеорологичен годишник ва ГУХМ –БАН, 1899-1979 всички токове

Mitchell, J. M., Jr., C. W. Stockton, and D. M. Meko, 1979: Evidence of a 22-year rhythm of drought in the western United related to the Hale solar cycle since the 17th century. Solar- Terrestrial Influences on Weather and Climate, B. M. McCormac and T. A. Seliga, Eds., D. Reidal, pp125–144.

Nagovitsyn Yu. A.: 1997, Astronomy Letters 23. No. 6. 742

Rasspopov O.M., Dergachev V.A., Esper J., Kozyreva O., Frank D., Ogurtsov M., Kolstrom T., Shao X., 2008, PPP, 259 , 16

Рогожин Ю. А. и Шестопалов И.П, 2007, Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность АЭС, Атомная стратегия, № 29, март 2007 г.

Рубашев Б., 1963, Проблемы солнечной активности, изд. Наука, Москва

Schöve, D. J. 1955, The Sunspot Cycle 649 BC to AD 2000, J. Geophys. Res., 60, 127

Schöve D.J. ,1983, Sunspot Cycles (Stroudsburg: Hutchinson Ross, Pennsylvania.)

Schuermans C.J. and Oort A.H., 1969, A Statistical Study of Pressure Changes in the Troposphere and Lower Stratosphere after Strong Solar Flares, Pure Appl.Geophys.,v75,No2,pp233-246

Stuiver M. and Quay P.D., 1980, Changes in Atmospheric Carbon -14 Attributed to a Variable Sun ,Science, v207,No 44, p26

Svensmark, H., and E. Friis-Christensen, 1997, Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage—A missing link in solar-climate relationships, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 59, 1225– 1232,

Yu F., 2002, Altitude variations of cosmic ray induced production of aerosols: Implications for global cloudiness and climate, Geophys. Res. Lett., v107, No A7