СОЛНЕЧНО ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА ЮЖНОЙ БОЛГАРИИ: АНАЛИЗ ГОДОВЫХ КОЛЕЦ ИГЛОЛИСТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОБРАЗЦОВ

Комитов Б.П.¹, Кафтан В.И.²

¹*Институт астрономии с НАО, БАН, София, Болгария*

²*Геофизический центр РАН, Москва, Россия*

SOLAR MODULATED CLIMATE OSCILATIONS IN SOUTH BULGARIA: AN ANALYSIS OF PINOPSIDAE ANNUAL TREE RING WIDTHS

Komitov B.¹, Kaftan V.²

¹*Institute of Astronomy and NAO, BAS, Sofia, Bulgaria*

²*Geophysical Center of RAS, Moscow, Russia*

The time series analysis of pinophyta annual tree ring widths (D), which have been obtained during the execution of the scientific project, which has been provided by Institute of astronomy – Bulgarian Academy of Sciences and Ministry of agriculture and foods between 2012–2014 AD is a main subject of the present work. It is a next stage of our previous study [1]. From the whole complex of tree samples only 4 are belonged to Pinopsidae class. One of sample is spruce (Picea), the remained tree are pines (Pinus). The samples age lies in range of 65–129 years. Two methods for obtaining of statistically certain cycles are used- the T-R periodogram algorithm and wavelet analysis. Statistically certain cycles by duration of 10–11, 20–22, 38 and 64–68 years is clear detected. There are solar and geophysical analogues for the all of these oscillations. Statistically significant cross-correlation relationships by shifting in the range of 0 to 5 years between D of pine samples from one side and temperatures and rains from the other side in adjacent meteorological stations (delaying of D) have been established. There are also secondary peaks of correlations coefficients are detected by shifting on 20–25 years. The last one is an additional evidence for solar-geophysical origin of the obtained relationships.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-233-236

Введение

В нашей прежней работе [1] были представлены результаты анализа временных рядов ширины годовых колец (D_m) семи древесных образцов бука (*Fagus silvatica*), возрастом более 200 лет. Они были получены в районах Западного и Центрального Балкана (Стара Планина), Болгария в рамках совместного научно-исследовательского проекта Института астрономии Болгарской академии наук и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Болгарии. Сорок пять древесных проб (спилов) были получены при выполнении этого проекта в горных областях страны, главным образом, в районе Балкан и Рило-Пиринском горном массиве в Юго-Западной Болгарии. Большинство из них (34 образца) являются спилами бука, а семь – дуба (*Quercus*).

В данной работе кратко обобщены результаты исследования временных рядов четырех хвойных образцов (один спил ели и три – сосны).

Данные и методы

Образец ели («Говедарци-01») получен на лесном участке, расположенном на северном склоне горы Рила. Два сосновых образца («Бор номер 6» и «Шарения-01») получены на северо-западных склонах горы Пирин и один – несколько южнее главного хребта Центрального Балкана. Все образцы получены летом 2013-го года. Календарные интервалы исследований для каждого из образцов, показаны в первой колонке таблицы рис. 1. Как следует из таблицы, возраст образцов изменяется в интервале 65–134 лет.

С целью выявления низкочастотных циклических колебаний для усредненных по разным направлениям толщин годовых колец всех образцов было выполнено сглаживание пятилетним скользящим временным окном.

У всех образцов наблюдается сильный нелинейный нисходящий тренд, который показывает тенденцию замедления во времени у сосновых образцов, за исключением образца ели. Возможно, что этот тренд связан с некоторыми реальными тенденциями изменений солнечной активности или климата. Однако, по нашему мнению, он, прежде всего, является биологическим эффектом особенностей возраста дерева. После удаления трендов из первичных временных рядов D_m , с целью выявления статистически значимых циклических колебаний, были исследованы ряды остатков. Как и в прежних исследованиях, нами были использованы два метода – Т-Р периодограммный алгоритм [2] и вейвлет-анализ [3]. Полученные результаты сопоставлены друг с другом.

Анализ и результаты

Во второй колонке таблицы рис. 1 показаны, выявленные при помощи вейвлет анализа, статистически значимые циклы, а в третьей – циклы, выявленные при помощи Т-Р периодограммной процедуры. Можно видеть, что результаты, полученные двумя методами, согласуются хорошо. Обобщая, можно сказать, что во временных рядах исследуемых образцов присутствуют циклы продолжительностью 10–11, 20–22, 52–54, 64–68 и ~130 лет. Все они имеют свои аналоги в солнечной и геомагнитной активности, а также в вариациях потоков галактических космических лучей (ГКЛ). Эти факты указывают на то, что первоисточниками выявленных циклов являются активные процессы на Солнце. Околодвадцатилетний цикл хорошо выражен во временных рядах сосновых образцов «Шарения-01» и «Бор номер 6». В обоих рядах заметны одиннадцатилетние колебания, а также околопятидесятилетний цикл, соответствующий ~5 солнечным одиннадцатилетним циклам). В тоже время эти циклы не видны в рядах «Говедарци - 01» и «Мъглиж-03». Зато у них четко выделяются периоды 25–26 лет, ре-

зонансно связанные с периодами 52–54 года), и колебания ~ 64–68 лет. Последние уверенно проявляются в частоте среднеширотных сияний, а также в скорости образования космогенного изотопа ^{10}Be [4].

Образец, календарный интервал	Вейлет циклы [лет]	T - R циклы [лет]	r , фазовое смещение (1)	r , фазовое смещение (2)
Бор № 6 (1909 – 2012гг)	22; 48	10.5; 22.0; 54.0	(L): $r = +0.38$; $F = 1.18$; $Dt = 0$ (T): $r = -0.73$; $F = 2.14$; $Dt = +4$	(L): $r = +0.74$; $F = 2.18$; $Dt = +15$
Шарения (1908 – 2012гг)	11; 38; 64; 130	11.0; 20.0; 26.0; 51.5	(L): $r = -0.37$; $F = 1.16$; $Dt = +10$
Говедарци-01 (1908 – 2012гг)	11; 38; 64; 130	25.25; 38.25; 68.5	(L): $r = -0.33$; $F = 1.12$; $Dt = +5$	(T): $r = +0.65$; $F = 1.73$; $Dt = +25$
Мзлык-03 (1948 – 2012гг)	30; 64; 130	25.75; 66.0	(L): $r = -0.42$; $F = 1.21$ (T): $r = +0.89$; $F = 4.8$; $Dt = +12$	(L): $r = +0.93$; $F = 7.4$; $\theta = 25$ (T): $r = -0.89$; $F = 4.8$; $Dt = +26$

Рис. 1. Таблица основных результатов исследований хвойных образцов.

В ходе исследования была осуществлена климатическая калибровка временных рядов используемых образцов. Для этой цели были привлечены климатические данные об осадках и температурах с трех метеорологических станций (Благоевград, София и Стара Загора). Все они находятся недалеко от упомянутых выше лесных участков, и на протяжении не менее 40 лет временные ряды климатических параметров перекрываются по времени с временными рядами древесных образцов. Для получения более убедительных результатов был использован кросскорреляционный анализ.

Как видно из таблицы рис. 1 (4-я колонка, смещение (1)), положительная статистически значимая корреляция выявляется между осадками L и параметром D_m при фазовом смещении $0 \leq D_i \leq 5$ лет (при этом D_m запаздывает) у сосновых образцов «Шарения-01» и «Бор номер 6». Соответствующие коэффициенты корреляции между D_m и температурой T являются отрицательными. Это, по всей вероятности, имеет отношение не только к специфике ландшафта, но и к режиму вегетации сосны. Второй пик коэффициента корреляции наблюдается у двух других образцов (колонка 5,

смещение (2)), где фазовое смещение D_i составляет около 25 лет. Имеются основания предполагать, что этот факт является индикатором сильно смещенного во времени влияния 20–22-летнего солнечного цикла на рост этих образцов, но с учетом ландшафтных и почвенных особенностей лесных участков, а также особенности вегетации этого типа деревьев.

Хорошо выраженный 20–22-летний цикл, который наблюдается у сосновых образцов Юго-Западной Болгарии, имеет минимумы приблизительно в околорексимумных фазах четных солнечных циклов. Этот факт в комбинации с найденной положительной корреляционной зависимостью между D_m и L , подтверждает выводы прежних исследований начала 1980-х годов, согласно которым существует 20–22 летняя модуляция осадков L и температур T в теплом полугодии на территории Южной Болгарии. При этом максимумы засух приблизительно совпадают с максимумами четных 11-летних солнечных циклов [5].

Литература

1. *Комитов Б., Кафтан В.* Годовые кольца бука (*fagus sylvatica*) и солнечно-обусловленные колебания климата Центрального и Западного Балкана в XVIII–XIX вв. / Сб. докладов XXII Всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика-2018», Санкт Петербург, 2018. С. 231-234.
2. *Komitov B.* The Schöve's series. Centural and Supercentural variations of the solar activity. Relationships between adjacent 11-year cycles. *Bulg.Geoph.J.*, 1997, V. 23. P. 74-82.
3. *Torrence C., Compo G.P.* A Practical Guide to Wavelet Analysis // *Bul. Am. Meteor. Soc.* 1998, V. 79. P. 61-78
4. *Komitov B.* The “Sun-climate” relationship. II. The “cosmogenic” beryllium and the middle latitude aurora // *Bulg. Astron. J.*, 2009, V. 12, P. 75-90
5. *Комитов Б.* О влиянии солнечных циклов на климат в Болгарии // *Солн. данные*, 1986, № 3, С. 73-78.