ГОДОВЫЕ КОЛЬЦА БУКА (*FAGUS SYLVATICA*) И СОЛНЕЧНО-ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КОЛЛЕБАНИЯ КЛИМАТА ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО БАЛКАНА В XVIII–XXI ВВ.

Комитов Б.¹, Кафтан В.^{2,3}

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

²*Геофизический центр РАН, Москва, Россия*

³*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

THE ANNUAL BEECH THREE RINGS (*FAGUS SYLVATICA*) AND SOLAR MODULATED CLIMATE OSCILLATIONS IN CENTRAL AND WEST BALKAN MOUNTAIN BELT DURING THE 18TH–21ST CENTURIES

Komitov B.¹, Kaftan V.^{2,3}

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

²*Geophysical Center of RAS, Moscow, Russia*

³*Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

*The time series of annual beech tree rings (*Fagus Sylvatica*) in regions of West and Central Balkan Mountain Belt (i.e. Stara planina, Bulgaria) and detecting of solar modulated climate cycles is a main subject of this paper. For a better study of solar activity influence over beech growing during the deep Dalton solar minimum (1793/98–1833 AD) the 7 oldest founded samples in age of ≥ 200 years are used. On the base of two different methods (wavelet analysis and T-R periodogram algorithm) statistically reliable cycles by duration of ~ 20 –22, 40, 60–70, 110–120 and 200–220 years are detected. Statistically significant relationships between the beech growth and the rains and temperatures on the other side are proved for the most of samples.*

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-231-234

Введение

В настоящей работе представлены результаты анализа временных рядов годовых колец шести образцов (спилов) бука (*Fagus Silvatica*) возрастом более 200 лет, которые получены в районах Западного и Центрального Балкана (Стара Планина) – Болгария в 2013 году. Они являются наиболее возрастными из 44 образцов, с которыми экспериментировали в ходе научно-исследовательского проекта Института астрономии с Национальной астрономической обсерваторией Болгарской академии наук по заказу Министерства сельского хозяйства, питания и лесного хозяйства Болгарии. Результаты выполнения основной части проекта представлены в [1].

Одной из задач этого дополнительного исследования самых старых образцов является более подробный анализ о статистически достоверных при-

знаках присутствия квазидвухвекового цикла в соответствующих временных рядах; вторая задача – получение картины состояния климата в Центральной и Западной Болгарии во время солнечного минимума Далтона, третья – попытка построения кинематических моделей роста исследуемых образцов и экстраполяция на последующие ~ 30 лет, вплоть до максимума цюрихского солнечного цикла 27 (SC27), который следует ожидать примерно к 2045 году. Четвертым этапом исследования является калибровка дендрохронологических данных по отношению к осадкам и температурам, измеренным на ближайших метеорологических станциях для вегетационного периода бука. Получение информации о вероятном сценарии изменения климата Болгарии на основе полученных результатов также является целью работы. В качестве эпигноза и верификации полученных выводов сделано сравнение с аналогичным исследованием более старого букового образца («Гурково-01»), данные которого относятся к эпохе 1780–1982 гг.

Данные и методы

Для лучшего выявления тенденций на интервале порядка продолжительности основного солнечного цикла Швабе-Вольфа (~ 11 лет) и более, все используемые дендрохронологические и климатические данные сглажены в пятилетнем скользящем временном окне.

Для выявления статистически достоверных циклов использован Т-Р периодограммный алгоритм, который описан в нескольких наших прежних работах, например [1, 2]. В качестве второго независимого метода для анализа временных рядов использована стандартная вейвлет-процедура, которая реализована в программной среде MATLAB [3].

Для исследования корреляционных связей между шириной годовых колец D исследуемых образцов и среднесезонных значений осадков L , а также температур, для вегетационного периода бука, использован кросскорреляционный и множественный корреляционно-регрессионный анализ. Основная цель этих процедур – установление зависимости D от изменений климатических параметров L и θ . Вторая цель – применение полученных результатов для климатической калибровки временных рядов D тех древесных образцов, у которых связь с L и достаточно сильная, чтобы удовлетворять критерий Снедекора-Фишера F с вероятностью более 95%.

В кросс-корреляционном анализе были использованы климатические данные следующих метеорологических станций:

София – для древесных образцов «Годеч-01» и «Годеч-02»; Кнежа – для образца «Мездра-01»; Плевен – для образца «Росица-01»; Стара Загора – для образцов «Казанлык-01», «Гурково-01» и «Гурково-05».

Результаты более старого образца «Гурково-01», который получен в 1983 году, использованы в этой работе в качестве эпигностического теста.

Результаты и выводы

В компактном виде все основные полученные результаты показаны на рис. 1. Содержание отдельных столбцов таблицы следующее.

В первом столбце показаны изображения образцов; во втором – установленные на основе вейвлет-анализа циклы изменений древесных колец; в третьем – статистически достоверные циклы, полученные методом Т-Р периодограмм-анализа; в четвертом – коэффициенты корреляции R кинематических моделей и исходных рядов D (слева), значение F критерия (справа); в пятом столбце содержатся коэффициенты кросс-корреляции r между значениями D и количеством осадков L (вверху слева) и температуры (внизу слева), и соответствующие F -критерии (справа). В шестом столбце показаны фазовые сдвиги (сдвиги) t кросс-корреляционных связей между D и L (слева) и D и (справа). Положительный знак соответствует запаздыванию D по отношению к климатическим факторам. В седьмом столбце отмечены главные результаты экстраполяции (прогнозы) кинематических моделей для D , а также связанный с этим наиболее вероятный ход осадков и температур. Основные выводы, которые можно сделать на основе представленных результатов, следующие.

Образец, календарный интервал	Вейвлет	Циклы [лет]	R ; $F_{\text{м}}$	r ; F	Δt	Модельный прогноз
Годеч-01 (1800-2012гг)	75;260	32.5;39;50.5; 69.5; 107.5; 148.5; 217; 337;	0.93 6.74	-0.71; 1.99 (L) -0.66; 1.77 (θ)	+17 (L) +9 (θ)	рост D до ~2045г, потом -слабый спад
Годеч-02 (1794-2012гг)	100;260	36, 59, 102, 458	0.91 5.60	+0.52; 1.37 (L) +0.33; 1.12 (θ)	+11 (L) +4 (θ)	рост D до ~2035, потом - спад
Мездра-01 (1810-2012гг)	70;200	44.5; 70;186.5	0.91; 5.67	+0.44; 1.24 (L) -0.52; 1.37 (θ)	+1 (L) +17 (θ)	рост D после ~ 2010 г
Росица-01 (1811 -2011 гг)	40;70;200	12.5; 16.5;21 29; 38.5 55; 84, 209	0.85; 3.33	+0.44; 1.24 (L) -0.67; 1.81 (θ)	0 (L) +1 (θ)	рост D (+осадков) и похолодание до 2030г, процесс ускоряется в интервале 2030-2045гг
Казанлык-03 (1811-2012гг)	40;110	12.5; 22; 33; 73; 132; 217	0.77; 2.30	-0.36; 1.14 (L) +0.7; 1.92 (θ)	+10 (L) +12 (θ)	рост D и похолодание до 2045г
Гурково-01 (1780-1982гг)	20;110	17.5; 21;24; 50; 67; 116	0.73; 2.05	+0.71; 1.99 (L) -0.69; 1.87 (θ)	0 (L) 0 (θ)	уменьшение D в интервале 1980-2010гг и осадков, потепление и наступление БСМ
Гурково-05 (1775-2012 гг)	40;150;260	42.5; 73; 221.5	0.88; 4.22	+0.57; 1.45 (L) -0.58; 1.48 (θ)	+7 (L) +7 (θ)	рост D и осадков и похолодание до 2045г

Рис. 1. Основные результаты, полученные для отдельных образцов.

Полученные двумя методами (вейвлет и Т-Р процедура) статистически значимые циклы в общем близки, но значительно более детальный спектр обеспечивает Т-Р процедура. Оба результата свидетельствуют о том, что в спектрах вариаций D чаще всего присутствуют циклы с периодами ~40, 60–70, 100–120 и 200–220 лет. В данных образцов Центрального Балкана уста-

новлено также присутствие околосолнечных циклов. Для всех этих колебаний имеются аналоги в различных прямых либо косвенных индексах солнечной активности (пятнообразование, геомагнитная и авроральная активность, вариации образования «космогенных» радиоизотопов ^{14}C и ^{10}Be и др.).

Результаты кросс-корреляционного анализа указывают на то, что для всех образцов Центрального Балкана характерны сравнительно сильные связи между «параметром роста» бука D и климатическими параметрами L и T . Значительный фазовый сдвиг ($t \geq 7$ лет) установлен для связей между D и климатическими показателями у 5-ти из 7-ми образцов (за исключением «Гурково-01» и «Росица-01» Центрального Балкана. Наблюдается тенденция уменьшения сдвига с запада на восток. Это частично связано с климатическими различиями между Западной и Центральной Болгарией (включая и тот факт, что в Центральной Болгарии выявляется околосолнечный климатический цикл, который на западе страны почти не заметен). Однако для проявления такого сдвига есть и другие причины (особенности ландшафта, структура и минеральный состав почвы, условия для накопления воды и др.).

Анализ полученных результатов показывает, что летние периоды в Центральной Болгарии в эпоху солнечного минимума Дальтона (1793/98–1933) были преимущественно жаркие и сухие в его начальной и средней фазе, но к его завершению (после ~1820 года) они очень быстро менялись на очень холодные и влажные. Экстраполяция кинематических рядов D для всех 4 образцов («Росица-01», «Казанлык-01» и «Гурково-01 и 05») Центрального Балкана указывает на то, что похолодание и увеличение осадков, соответственно, с юга на север в Верхнефракийской и Нижнедунайской низменностях для интервала 2010–2045 гг., является самым вероятным сценарием. Кроме того, в этих экстраполяциях не виден эффект влияния солнечного цикла 26 (SC26), что является косвенным индикатором того, что он будет слишком слабым. Этот вывод согласуется с заключениями других исследователей о слабом SC26, сделанными на основе моделей «солнечного динамо».

Литература

1. Комитов Б., П. Духлев, Д. Кирилова, Г. Бяндов и Н. Кискинова. Връзката „Слънце - климат“ и годишните кръгове на дърветата. Изд. «Алфа Визия», Ст. Загора. 2014, ISBN 978-954-9483-28-4 (на болгарском)
2. Комитов Б. О возможном влиянии солнечных циклов на климат в Болгарии / Солнечные данные, 1986, № 5. С.73-78.
3. Torrence C., Compo G.P. A of Practical Guide to Wavelet Analysis. В Am Meteorol Soc., 1998, V. 79. P. 61-78