

## О НОВОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ХРОНООРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Многими исследованиями, особенно после работ А.Л. Чижевского, выявлено, что вместе с комплексом космических причин (возмущение земной орбиты, пространственное сорасположение небесных тел) иерархическая система астроклиматических циклов и их интерференции определяют ту или иную периодичность изменения природных процессов. Длительность солнечно обусловленных (гелиотермических) циклов зависит и от довольно мощной (10-25 %) случайной составляющей.

В длинных метеорологических рядах обнаружены циклы с периодом 11 (солнечный, цикл Швабе-Вольфа), 22 (магнитный), 40 (30-35) (цикл Брикнера) и 80-90 лет (вековой цикл), частично связанные с солнечными пятнами, геомагнитными явлениями и движением планет (Фейрбридж, 1966). Из частотно-временного спектрального анализа следует, что солнечная активность представляет собой амплитудно-модулированный процесс с главными периодами в 11 и 10 лет и периодами модуляции, кратными 90 годам (Витинский, 1973).

В качестве экологического отклика геосферно-биосферных процессов нами использованы дендрохронологические данные за период XVIII-XX вв. Экологические особенности всего календарного года достаточно чувствительно отражают дендрограммы сосны. Сосна обыкновенная - вечнозеленое хвойное дерево, светолюбивая порода, исключительно холодостойкая, ксерофит, малотребовательна к почвам, солевынослива. Для исследования нами привлечены данные, опубликованные С.М. Матвеевым и В.А. Чеботаревым [ ]. Их дендрошкала охватывает 133 года (1866-1999 гг.), включая индустриальный период функционирования биосферы. Для сравнения использованы данные 97-летней сосны (1716-1812 гг.), полученные при реконструкции памятника эпохи классицизма «Круглого здания» [ ].

Дендрохронологические ряды, отражающие динамику радиального прироста деревьев ( $P_R$ ), выявляют реакцию биоты на внешние воздействия (естественный прибор), которая зависит от вида дерева, его возраста и др. При обработке временного ряда, прежде всего, необходимо элиминировать проявление «аппаратной» функции дерева, что позволит затем анализировать внешние воздействия. Очевидно, что для полного решения этой задачи необходимо предложить модель механизма интегрирования внешних воздействий деревом при формировании годичных колец той или иной ширины. Следует

отметить, что в настоящее время проблема в такой постановке не рассматривалась. Обработка дендрорядов, как правило, сводится к вычислению относительных индексов прироста [ ], в которых, по мнению авторов этого метода и их последователей, ростовые характеристики (аппаратная функция) дерева элиминированы. При этом предполагается, что ряд, состоящий из индексов, можно использовать в качестве основы для анализа внешних воздействий, включая антропогенные.

На наш взгляд, это утверждение не имеет корректного обоснования, что не позволяет говорить об адекватности такого подхода решаемой задаче анализа внешних воздействий. Поэтому нами предпринята попытка создания математической модели интегрирования деревом внешних воздействий при формировании годичных колец и разработки на этой основе методики и соответствующих вычислительных процедур обработки дендрохронологических рядов с целью анализа как самих внешних воздействий, так и их влияний на рост деревьев. Отметим, что модель механизма интегрирования деревом внешних воздействий представляет самостоятельный интерес для решения ряда прогностических задач.

Содержанием данной работы является феноменологическое обоснование математической модели проявления в годичных кольцах влияния «аппаратной» функции дерева и методики его элиминирования.

В дальнейшем, символ  $y_t, t = 0, \dots, N$  означает результат измерения толщины кольца некоторого дерева в году с номером  $t$ , где  $N$  - количество лет его роста. Для описания динамики изменений толщин колец предлагается использовать мультипликативную модель вида

$$y_t = R_t * S_t * G_t * D_{1t} * .. * D_{Mt} \quad (1)$$

где  $R_t$  - функция роста дерева, учитывающая динамику реакции дерева на внешние воздействия;  $S_t$  - показатель солнечной активности, например в виде чисел Вольфа;  $G_t$  - биологическая эффективность земной термогидродинамической (климатической) машины;  $D_{it}, i = 1, \dots, M$  - локальные детерминанты (факторы), влияющие на рост колец, например, гидрогеологические условия.

Для отражения временного ряда изменения величин  $P_R$ , выраженных с помощью натуральных логарифмов, из выражения (1) получим

$$y_t = r_t + g_t + d_{1t} + .. + d_{Mt}, \quad (2)$$

где малыми буквами обозначены логарифмы соответствующих характеристик, которые в (1) обозначены большими буквами.

Отметим, что логарифм является монотонной функцией аргумента и поэтому сохраняет характер циклических его изменений. С другой стороны правая часть соотношения (2) представляет собой аддитивную комбинацию логарифмов исследуемых процессов, выделение которых из ансамбля может быть осуществлено, например, с использованием метода Фурье-анализа. В

частности нами разработан новый и эффективный метод частотного разделения компонент без реального вычисления трансформант Фурье исходных комбинаций.

Отметим также, что имеется достаточное число аргументов содержательного плана в пользу аппроксимации вида

$$r_t = a + bt, \quad (3)$$

которая соответствует экспоненциальному спаду регенерирующей способности биосистемы.

Используя упомянутые выше эмпирические ряды, мы вычислили параметры этих аппроксимаций, что позволило элиминировать функцию роста. После этого были проведены вычисления оценок дисперсии отрезков равной длины оставшейся последовательности. Кроме того, для этих оценок вычислялись доверительные интервалы, сопоставление которых позволяет принять гипотезу о равенстве дисперсий локальных участков. Иными словами ряд логарифмов с элиминированной функцией роста является стационарным, что позволяет для его анализа использовать хорошо разработанные методы и приёмы. Обработка нормированной дендрошкалы длиной 133 года, полученной двумя разными способами: логарифмированием значений  $P_R$  и методом расчета относительных индексов показала, что в первом случае коэффициент вариации составляет 23,2 %, во втором – 18,2 % (за счет большей степени сглаживания вариационного ряда).

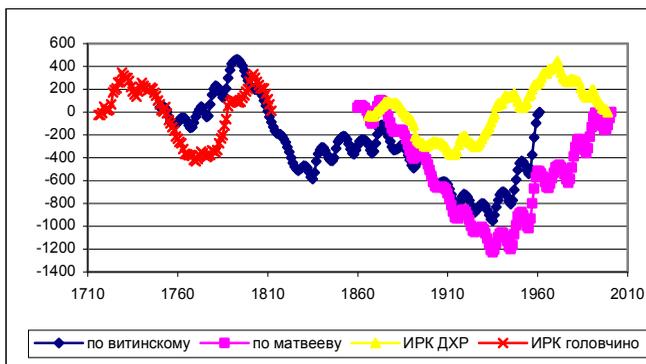
Таким образом, модель вида (1) можно признать адекватной задаче анализа внешних воздействий на базе дендрорядов. Экспоненциальная модель функции роста, по-видимому, хорошо отражает реальность. Дальнейшие шаги заключаются в установлении свойств остальных компонент модели, для чего их необходимо сначала выделить их смесей.

Исходные данные (ширина годичного кольца) были математически обработаны для устранения фактора возраста.

Проведенный анализ динамики прироста, в пределах 11-летнего цикла солнечной активности, показал, что максимальные радиальные величины прироста сосны, либо совпадают с максимальным значением солнечной активности текущего года, либо через 1-2 года после максимального значения, что подтверждают исследования С.И. Костина.

Имеющиеся данные были обработаны методом ИРК, который позволяет получить даты экстремумов, необходимые для расчета их повторяемости, и проследить многолетние тенденции в изменении динамики прироста. Что касается отражения в дендрохронологических архивах активности Солнца, то замечено, что вековой (80-90 лет) цикл изменения древесных приростов более тесно следует за изменениями динамического солнечно-планетного коэффициента, нежели за числами Вольфа (Максимов, 1989).

В доиндустриальный период сосна четко фиксирует цикл Брикнера (30-35 лет), в индустриальный – 46-47 лет (?).



Методом периодограммного анализа было установлено наличие 7-9 летнего периода для этих экземпляров сосен.

Кроме того, ширина годичных колец деревьев содержит не только информацию о солнечной активности, но и о локальных условиях (температура, осадки и т.д.). В течение последних двух тысячелетий наблюдалось понижение среднего уровня приростов, на фоне которого, тем не менее, отчетливо проявляются минимумы, синхронные с минимумами солнечной активности.

Условия тепло- и влагообеспеченности отдельных лет были обобщены нами с помощью годовой величины затрат радиационной энергии на почвообразование -  $Q$ , которая после приведения авторской записи [1] к единицам СИ, рассчитывается по формуле

$$Q = 41,87 [R \cdot \exp(-18,8 \cdot R^{0,73}/P)],$$

где  $R$  - радиационный баланс, ккал/(см<sup>2</sup>·год);  $P$  - годовая сумма осадков, мм;  $Q$  выражается в МДж/(м<sup>2</sup>·год).

Проследив изменение радиального прироста тополя за период с 1941 по 1995 гг. мы обнаружили, что на протяжении всего графика минимальные и максимальные значения радиального прироста сосны совпадают со значениями энергетических затрат, что позволяет сделать вывод о тесной взаимосвязи прироста сосны с данным показателем. Наибольший максимальный прирост у сосны (за весь период ее роста), который выпадает на 1990 год, очень точно выявляет максимальный скачок энергетических затрат (за этот же год), который составляет 1273 МДж/(м<sup>2</sup>·год). Это позволяет сделать нам следующий вывод: радиальный прирост сосны в большей степени отражает общие энергетические затраты, чем отдельные климатические показатели.

#### Литература

- Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. – Л.: Наука, 1973. 275 с.
- Лисецкий Ф.Н., Митрайкина А.М. Дендрологический анализ изменений природной среды в XVIII-XX веках // Экология. 2002. №2 (9). С. 146-150.
- Максимов А.А. Природные циклы: причины повторяемости экологических процессов. – Л.: Наука, 1989. 236с.
- Матвеев С.М., Нестеров Ю.А. Эталонные дендрохронологические шкалы ЦЧР: построение, хранение, применение // Вестник ВГУ, серия география и геоэкология. 2003., № 2. С. 77-85.
- Фейрбридж Р.У. Сходимость данных об изменениях климата и об эпохах оледенения // Солнечная активность и изменения климата. Л.: Гидрометеоздат, 1966. С. 270-315.