

УДК 004.4

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ**

*канд. техн. наук, доц. А.Ф. ОСЬКИН, канд. с.-х. наук, доц. А.А. БОЛБОТУНОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Описан программный комплекс, предназначенный для анализа и прогнозирования годичного радиального прироста деревьев. Предложен алгоритм обработки, основными шагами которого являются структурный анализ исходных данных, сглаживание временного ряда, построение математической модели процесса и прогнозирование. Для построения математической модели использован метод группового учета аргументов (МГУА). Построен программный комплекс, реализующий описанный выше алгоритм. Приведены результаты работы комплекса.

Введение. Исследование зависимостей годичного радиального прироста деревьев от внешних условий остается важнейшей задачей, стоящей перед дендроклиматологией. Как показывают многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых, на ширину годичного кольца деревьев влияют многочисленные климатические и метеорологические факторы.

Исследования цикличности в динамике радиального прироста деревьев начались в начале прошлого столетия и особенно интенсивно проводились американскими учеными [1–4]. Результаты, опубликованные А. Дугласом еще в 1936 г., показали, что во всех исследуемых группах деревьев можно выделить 11-летний цикл, характерный для динамики солнечной активности. Кроме того, им были выделены и другие циклы во временных рядах годичного радиального прироста деревьев. Эти исследования продолжаются и в настоящее время, однако интерес к ним в значительной мере снизился. Можно назвать несколько причин такого снижения – это и низкое качество прогноза радиального прироста, получаемое на моделях, учитывающих только динамику солнечной активности, и недостаточность учета в таких моделях современных знаний об экологии, физиологии и анатомии деревьев, и, наконец, несоответствие солнечных циклов динамике прироста.

Многочисленные исследования различных авторов подтверждают наличие четкой реакции на метеорологические и климатические факторы. Фитоценотическая среда способна влиять на колебания годичного прироста, нивелируя внешние воздействия, однако зависимость прироста от атмосферных климатических факторов остается неизменной, независимо от произрастания и положения в фитоценозе. Вследствие этого изучение связи между радиальным приростом и метеорологическими факторами представляется весьма актуальной задачей.

Алгоритм анализа и прогнозирования годичного радиального прироста.

Построение программного комплекса мы начали с разработки алгоритма анализа годовых циклов радиального прироста деревьев. Такие циклы представляют собой временной ряд, поэтому в программном комплексе реализованы следующие виды анализа:

- 1) структурный анализ, позволяющий определить, насколько зашумлены исходные данные;
- 2) удаление шума, случайных и стохастических компонент из исходных данных;
- 3) построение математической модели;
- 4) прогнозирование.

Структурный анализ было решено проводить путем расчета показателя Хёрста H для средних значений годичных радиальных приростов.

Показатель Хёрста рассчитывается как тангенс угла наклона прямой, проходящей максимально близко к точкам на плоскости, полученным из соотношения $(x_n, y_n) = \{\ln(n), \ln(R/S_n)\}$. Здесь R – размах первых n значений ряда, S_n – дисперсия.

Временные ряды, для которых значения показателя Хёрста больше 0,5, относятся к классу персистентных, сохраняющих имеющуюся тенденцию, причем чем ближе H к единице, тем более предсказуемо поведение моделируемого временного ряда.

Для проведения дальнейшего анализа выполним сглаживание исходного ряда, удалим шум, а также случайные и стохастические компоненты из исходных данных.

Для выполнения процедуры прогнозирования необходимо построить адекватную математическую модель, отображающую зависимость радиального прироста от климатических данных. Нами было принято решение использовать для моделирования алгоритмы, основанные на МГУА [5]. После

проведения предварительного анализа мы остановились на многорядном полиномиальном алгоритме МГУА. Суть этого метода заключается в следующем.

Пусть в нашем распоряжении имеется набор экспериментальных данных, описывающих зависимость исследуемой переменной от различных факторов. Перед нами стоит задача построения функции, наиболее точно аппроксимирующей эту зависимость. При применении для решения этой задачи многорядного полиномиального алгоритма МГУА, мы строим итерационный процесс, состоящий из следующих шагов:

- 1) имеющиеся экспериментальные данные разбиваются на две последовательности – обучающую и проверочную;
- 2) задается некоторое множество достаточно простых функций от исходных аргументов. Эти функции называются предикторами или частными описаниями моделируемого процесса. В случае полиномиального алгоритма МГУА в качестве таких функций выбираются полиномы второй степени от двух аргументов;
- 3) коэффициенты этих полиномов находятся методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных данных обучающей последовательности;
- 4) на проверочной последовательности определяется набор частных описаний, дающих лучшую точность;
- 5) если требуемая по условиям задачи точность не достигнута, выполняется следующая итерация. Строится новый набор предикторов, в котором в качестве аргументов используются частные описания текущей итерации;
- 6) процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута требуемая по условиям задачи точность. При этом лучшее частное описание последней итерации считается искомым оптимальным решением задачи.

Разработка программного комплекса.

Располагая значительными объемами накопленной дендроклиматохронологической информации, было принято решение построить программный комплекс, максимально автоматизирующий процедуры анализа, построения математических моделей и прогнозирования. Для этого мы воспользовались существующим программным обеспечением для анализа и прогнозирования временных рядов и программным обеспечением, реализующим алгоритмы МГУА.

Чтобы объединить обозначенные выше программные продукты в единый программный комплекс, был выбран AutoIt [6] – язык сценариев, позволяющий автоматизировать любые задачи, решаемые в среде операционной системы Windows.

На рисунке 1 представлено главное окно разработанного комплекса. Его главное меню содержит следующие пункты: **Данные**, **Сглаживание**, **Модель**, **Отчеты**, **Настройки** и **Помощь**.



Рисунок 1 – Главное окно комплекса

Рассмотрим назначение каждого из перечисленных пунктов меню.

Данные. При выборе этого пункта открывается выпадающее меню, содержащее подпункты **Годовые кольца**, **Температура**, **Осадки**. При выборе подпункта **Годовые кольца** начинается стандартный диалог открытия файла, содержащего временной ряд годовых радиальных приростов деревьев. Ряд должен быть представлен в формате MS Excel 2003 (.xls), после загрузки он отображается в главном окне комплекса. Аналогичные действия выполняются при выборе подпунктов **Температура** и **Осадки**. При выборе подпункта **Температура** загружается временной ряд среднемесячных температур, а при выборе подпункта **Осадки** – временной ряд среднемесячных осадков.

Сглаживание. В пункте меню **Сглаживание** выполняется удаление шума, случайных и стохастических компонент исходного временного ряда. Для выполнения сглаживания используется фильтр Савицкого – Голея, широко применяемый при обработке экспериментальных данных. Сглаженный ряд отображается в главном окне комплекса.

Модель. При выборе этого пункта меню выполняется расчет параметров математической модели годового радиального прироста деревьев по многорядному полиномиальному алгоритму МГУА. В главном окне комплекса отображаются как сам исходный ряд, так и результаты расчета в виде кривой, аппроксимирующей исходный временной ряд.

Отчеты. Этот пункт меню ответствен за формирование и вывод на печать отчетов о результатах работы комплекса. На печать выводятся исходные временные ряды, сглаженные ряды, параметры построенной математической модели и результаты расчета по построенной математической модели.

Настройки. В данном пункте выполняется настройка параметров создаваемой математической модели. Задаются требуемая точность, максимальное число итераций, число предикторов, используемых в очередной итерации, и некоторые другие параметры.

Помощь. Пункт меню **Помощь** содержит сведения о разработчиках комплекса, номер текущей версии комплекса и краткую справку по работе с комплексом.

Пример работы комплекса

Работу комплекса продемонстрируем на наборе экспериментальных данных для ранней, поздней и общей древесины, полученных 10 ноября 2014 года на станции наблюдения «Летцы». Период наблюдения – с 1872 по 2014 год. Исходные данные в формате MS Excel представлены на рисунке 2.

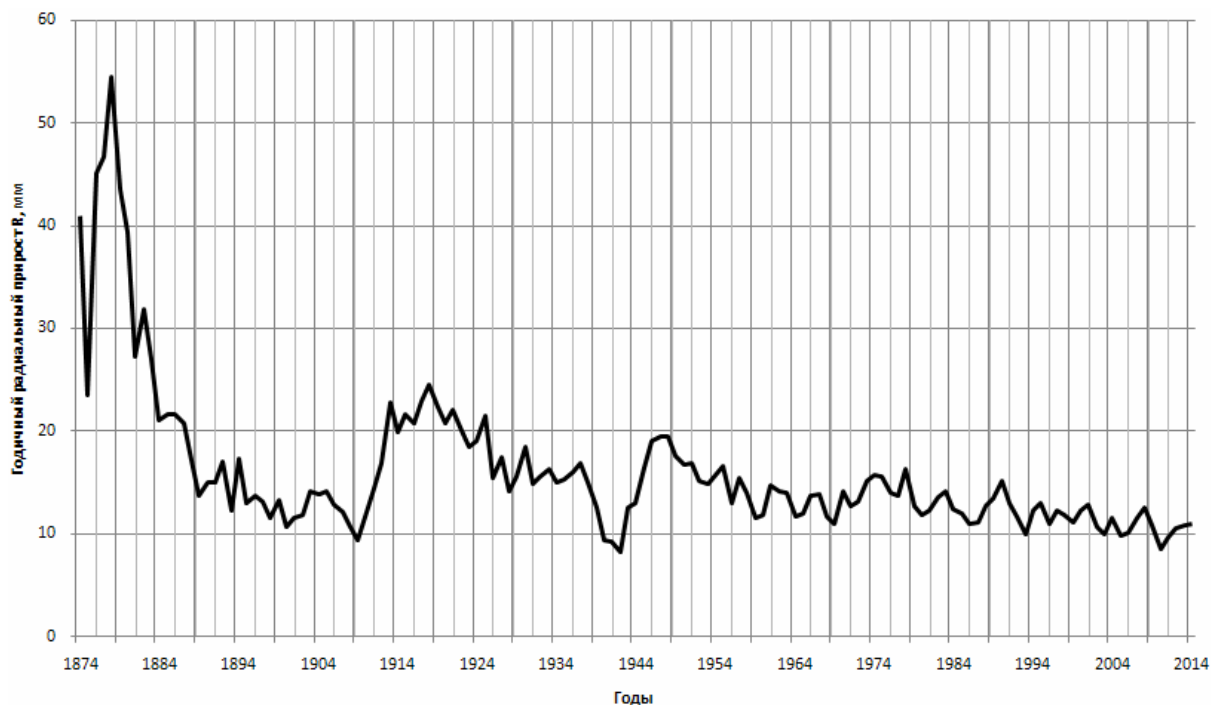


Рисунок 2 – Годовые радиальные приросты ранней, поздней и общей древесины с 1872 по 2014 год

На рисунке 3 представлен сглаженный ряд для общей древесины. Из исходного ряда удалены белый шум, случайные и стохастические компоненты.

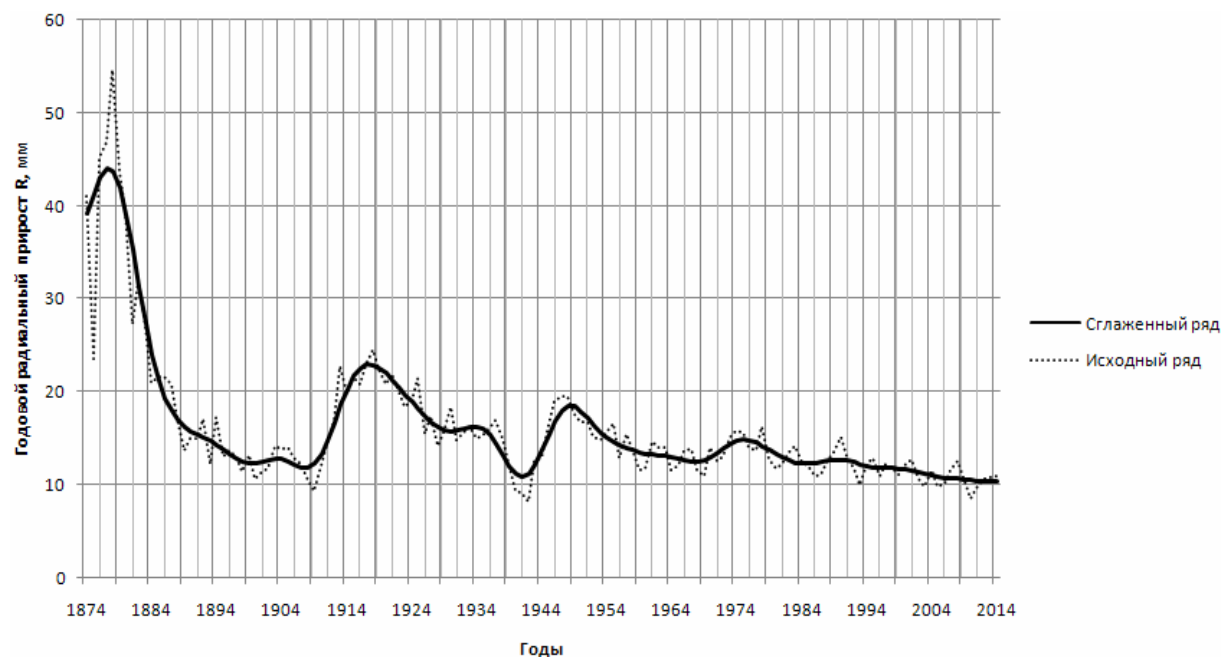


Рисунок 3 – Сглаженный ряд, в котором отсутствуют белый шум, случайные и стохастические компоненты

На рисунке 4 представлены результаты моделирования на временном интервале 1946–2014 гг. Такой интервал был выбран в связи с тем, что мы располагаем достоверными данными о средне-месячных температурах и осадках только начиная с 1946 года.

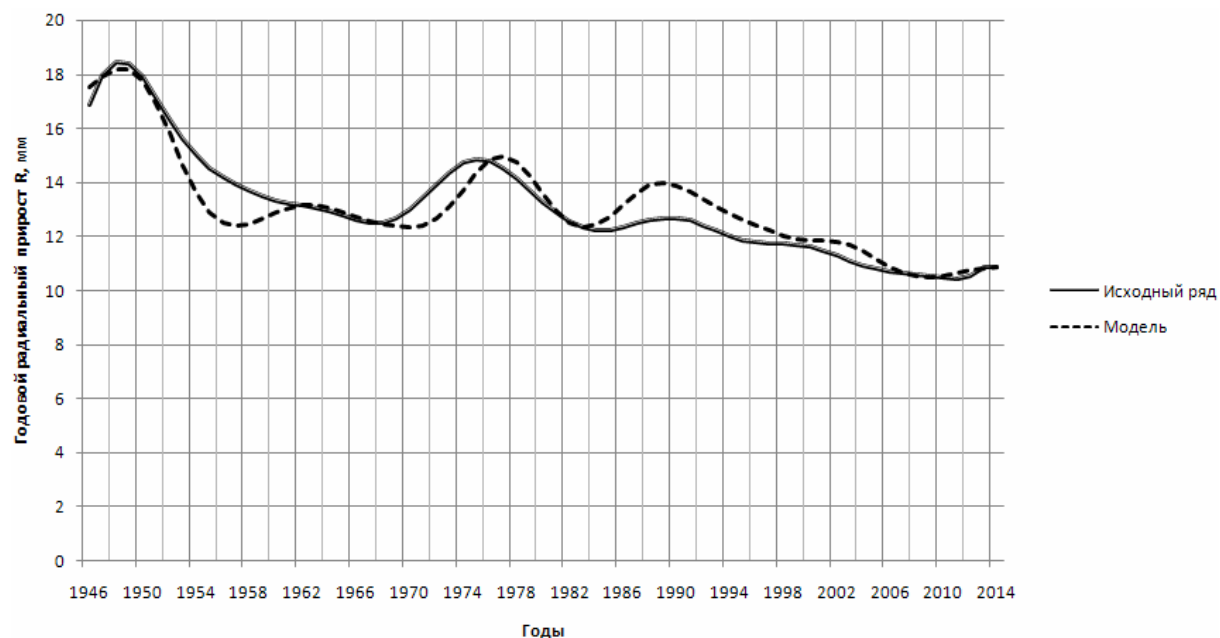


Рисунок 4 – Результаты моделирования

Выводы. Предложенные метод анализа, методы построения математической модели и прогнозирования годичного радиального прироста, основанные на полиномиальном алгоритме МГУА, показали свою высокую эффективность.

Построенный программный комплекс, реализующий данный метод, существенно сокращает время и трудоемкость обработки экспериментальных данных.

Применение комплекса позволяет поручить проведение всех этапов обработки экспериментальных данных персоналу с невысокой квалификацией, что снижает стоимость обработки и построения прогнозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Douglass, A.E. Tree rings and their relation to solar variations and chronology : report for 1931 / A.E. Douglass / Research Corp. Award Paper, Smithsonian Ann. – P. 306–307
2. Douglass, A.E. Tree rings and chronology / A.E. Douglass // Univ. Arizona Bull. 8: – 1937. – № 4.
3. Douglass, A.E. Climatic cycles and tree growth / A.E. Douglass // Carnegie Inst. Wash. Pub. 289. – 1936. – Vol. III. – P. 7–14.
4. Schulman E. Some propositions in tree-ring analysis / E. Schulman // Ecology. – 1941. – Vol. 22, № 2. – P. 193–195.
5. Ивахненко, А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Дмитров. – М. : Советское радио, 1976.
6. AutoIt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autoitscript.com/site>. – Дата доступа: 07.09.2015.

Поступила 15.09.2015

SOFTWARE PACKAGE FOR ANALYSIS AND PREDICTION ANNUAL RADIAL GROWTH OF TREES

A. OSKIN, A. BOLBOTUNOV

The article describes a software package for analysis and forecasting of annual radial growth of trees. The algorithm of processing and a mathematical model of the process are suggested. The mathematical model is built on the basis of Group Method of Data Handling (GMDH). A software package implementing this algorithm is developed. The results of work of this software package are presented.