

Светлой памяти В.И. Важова и М.В. Викторовой

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНСОЛЯЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ПРОШЛОГО ПО ГОДИЧНЫМ КОЛЬЦАМ ДЕРЕВЬЕВ

ВИКТОР В. АНТЮФЕЕВ * и ЛЮДМИЛА И. АНТЮФЕЕВА

Аннотация. Установлена зависимость строения годичных колец сосны крымской от суммарной солнечной радиации. Предложены уравнения регрессии, позволяющие восстановить значения годовых сумм солнечной радиации прошлых лет, когда не велись инструментальные актинометрические наблюдения, на основе измерения ширины годичных колец. Приводится график инсоляционного режима Южного берега Крыма с 1912 г. (измерение радиации ведется здесь с 1956 г.).

Ключевые слова: *Pinus pallasiana*, годичные кольца деревьев, солнечная радиация, реконструкция климата прошлого

Ялтинский отдел Географического общества Украины, пос. Никита, 5, г. Ялта, 98648, АР Крым, Украина; * vivaant@ukr.net

Введение

Как хорошо известно, динамика накопления пластических веществ в паренхимных клетках древесины тесно связана не только с биологическими процессами, но и с абиотическими условиями среды. В результате такие морфологические признаки, как структура и размеры (ширина или толщина) годичных колец дерева становятся отражением метеорологического режима соответствующих лет. К мысли о возможности описать климат далекого прошлого, когда еще не проводились специальные метеорологические измерения, изучая спилы старых деревьев, ученые пришли давно (Шведов 1892). Ведь поставленная задача всегда была и остается актуальной, но обзор работ (Важов 1976; Битвинкас и др. 1988) показывает, что на протяжении многих десятилетий исследователи были вынуждены ограничиваться качественным либо качественно-количественным анализом. Выявление точных количественных связей стало возможным, когда были предложены методы (Рудаков 1958; Битвинкас и др. 1988; Ваганов и Шашкин 2000; Бальбина 2010), помогающие нивелировать влияние возрастного фактора роста деревьев, под влиянием которого в первый период прирост с каждым годом усиливается, а по достижении максимума уменьшается.

Для большинства регионов составлены ретроспективные сводки погоды, где отражены различные гидротермические показатели: средние значения и суммы температур, количество осадков, колебание уровня

грунтовых вод и индексов увлажненности. Режим прихода солнечной радиации отражения в них не нашел. Целью нашего исследования стало восполнение этого пробела и реконструкция методами дендроклиматологии инсоляционных условий первой половины двадцатого века на Южном берегу Крыма, где актинометрические наблюдения были начаты лишь в 1956 г.

Эти методы используют не абсолютные, а модифицированные размеры годичных колец – приведенные к базовому уровню значения их ширины. Как показало сопоставление разных подходов (Важов 1976), наибольшая теснота корреляционных зависимостей достигается, если применяется коррекция биологической кривой текущего годичного прироста методом расчета периодических скользящих величин, предложенным В.Е. Рудаковым – когда ширина кольца преобразуется в безразмерный индекс – модульный коэффициент (Рудаков 1958). Этот показатель представляет собой отношение фактического годового прироста к его среднему скользящему значению за некоторый период. В нашем случае целесообразным оказался период продолжительностью в 5 лет (Важов 1976; Антюфеев и Важов 1978), для которого не только потеря начальных и конечных лет ряда довольно невелика, но и теснота корреляционных связей больше, чем для 7-летних и 11-летних периодов.

Материалы и методы исследований

Нами изучались срезы сосны крымской (*Pinus pallasiana* Lamb.) из лесных массивов южного макросклона Главной гряды Крымских

Табл. 1. Теснота и вид линейной связи между инсоляцией и годичным приростом сосны крымской: x – отклонение суммарной солнечной радиации от нормы, %; y – отклонение расчетного модульного коэффициента от фактического; римские цифры – месяцы (I – январь, ... XII – декабрь).

Table 1. Closeness and the type of the linear connection between the insolation and annual increment of the *Pinus pallasiana* trees: x – the deviation of the sums of summary solar radiation away from the norm, %; y – the deviation of calculated modular coefficient from the actual; roman numerals – the months (I – January, ... XII – December).

Учетный период для сумм			Коэффициент корреляции	Уровень достоверности	Уравнение регрессии	Ошибка уравнения, %
осадков	температуры	радиации				
XI - X	-	I - XII	0,74 ± 0,20	0,92	$y = 4,53x + 0,3$	±10
IV - X	-	I - XII	0,75 ± 0,14	0,99	$y = 6,45x + 2,7$	±13
XI - III	-	XI - III	0,78 ± 0,14	0,99	$y = 1,51x + 8,7$	±12
IV - X	-	IV - X	0,73 ± 0,16	0,99	$y = 7,40x - 1,6$	±13
IV - VI	-	IV - VI	0,60 ± 0,19	0,86	связь недостоверна	-
VII - X	-	VII - X	0,76 ± 0,15	0,99	$y = 6,24x + 3,0$	±14
XI - X	IV - VI	I - XII	0,80 ± 0,12	0,996	$y = 6,83x + 1,9$	±12

гор. На момент их изъятия в 1969 г. деревья имели возраст 64 года. Характеристика срезов, приемов их дендроклиматологического анализа опубликованы ранее (Важов 1976). Дендрометрические измерения и построение уравнений, отражающих зависимость ширины годичного кольца от температуры воздуха и атмосферных осадков, осуществил В.И. Важов при технической помощи М.В. Викторовой.

Результаты и их обсуждение

При всех вариантах выполненных нами расчетов непосредственные корреляционные связи между солнечной радиацией и шириной годичного кольца оказались очень слабыми. Было сделано предположение, что зависимость выражена в неявном виде, поскольку она затуманена воздействием двух ведущих экологических факторов – температуры и осадков. Предложен прием, позволяющий отделить экологическое влияние инсоляции от воздействия гидротермических элементов (Антюфеев и Важов 1978). Работа, доложенная на конференции по дендроклиматологии, ограничилась тогда констатацией наличия названных связей, но не получила логического завершения – значения сумм приходящей солнечной радиации не были вычислены. Возможность сделать это появилась только в настоящее время, и ниже изложены результаты исследования, завершено, к сожалению, уже после того, как ушли из жизни В.И. Важов и М.В. Викторова, светлой памяти которых

посвящается наша работа.

Чтобы вычленить инсоляционную составляющую из многокомпонентного ансамбля экологических факторов, влияющих на строение годичных колец, применен описанный ниже алгоритм поэтапной фильтрации учитываемых в расчете метеорологических элементов.

Предварительными шагами, на которых мы останавливаться не будем, поскольку они подробно описаны ранее (Важов 1976), являются дендрометрические измерения, вычисление модульных коэффициентов, выявление корреляционной зависимости ширины кольца от температуры и количества осадков, построение соответствующих уравнений регрессии.

Затем можно непосредственно приступить к реализации названного выше алгоритма.

Шаг первый. По уравнениям регрессии (Важов 1976) и фактическим данным о температуре и осадках определяем расчетное значение ширины кольца для каждого года, за который имеются метеорологические данные. Ретроспективная глубина простирается до 1912 г., а первые годы дендрометрического ряда, с 1906 по 1911, и последние, с 1963 по 1968, выпадают в результате выполнения операции скользящего осреднения.

Шаг второй. Сравниваем расчетную ширину каждого кольца с фактической. Разницу считаем погрешностью, вызванной неучтенными факторами, в том числе инсоляцией.

Шаг третий. Находим статистические зависимости между значениями солнечной

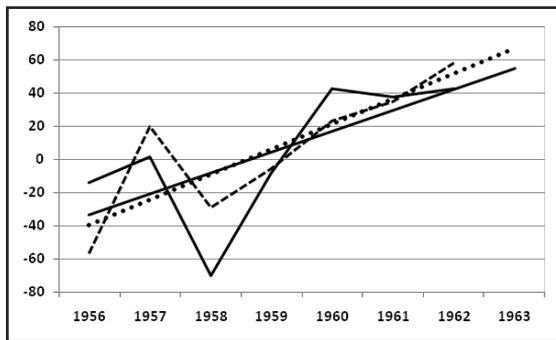


Рис. 1. Расчетные (сплошная линия) и фактические (штриховая линия) значения годовых сумм суммарной солнечной радиации в годы параллельных актинометрических и дендрометрических измерений и линейные тренды для расчетных (сплошная линия) и фактических (пунктирная линия) значений. На оси абсцисс – отклонение ежегодных сумм от климатической нормы, кВт·час·м⁻².

Fig. 1. Calculated (solid line) and actual (stroked line) values of the annual sums of summary solar radiation in the years of parallel actinometric and dendrometrical measurements and the linear trends for the calculated (solid line) and actual (dotted line) values. On the X-axis – deviation of yearly sums away from the climatic norm, in kWh·m⁻².

радиации и полученными на втором шаге отклонениями виртуальной ширины кольца от фактической. По ряду соображений для расчетов удобнее брать не суммы радиации каждого года как таковые (Справочник 1973), а их отклонения от климатической нормы, то есть от среднего значения, приведенного к многолетнему ряду (Справочник 1966). Строим уравнения регрессии, которые позволяют либо уточнить расчетную ширину кольца (внести поправку на влияние инсоляции), либо решить обратную задачу – ту, что мы рассматриваем.

Шаг четвертый. В эти уравнения за каждый год, общий для дендрометрического и метеорологического рядов, подставляем разницу действительного и расчетного (виртуального) значений ширины, вычисленную, как указано в описании второго шага. Таким образом, для каждого года находим восстановленное (реконструированное) значение инсоляции в количественном выражении, в виде ее отклонения от климатической нормы.

Шаг пятый. Сравним расчетные и фактические инсоляционные показатели для лет с наличием параллельных актинометрических и дендрометрических данных. В нашем случае это, как следует из сказанного выше, годы с 1956 по 1962. Если расхождения не выходят за

допустимые рамки, можем полагать, что и для более ранних лет вычисленные нами (четвертый шаг) суммы радиации соответствуют действительности.

Несмотря на то, что параллельные ряды динамики солнечной радиации и прироста *Pinus pallasiana* сравнительно коротки, в большинстве случаев искомая связь подтверждена. Установлена зависимость годовичного прироста от суммы радиации за весь год и за отдельные его части; только в первую половину вегетации (апрель-июнь) на рост сосны крымской большое влияние оказывают осадки и температура воздуха, радиационные же условия играют, по-видимому, меньшую роль (Табл. 1). Точность вычисления поправки на инсоляцию возрастает при увеличении числа факторов, включенных в расчеты (нижняя строка таблицы 1).

Аналогичным образом выводим, в соответствии с четвертым шагом алгоритма, обратные уравнения – для вычисления радиации за разные части года. Так, для года в целом они имеют такой вид (здесь литеры «х» и «у» обозначают те же величины, что и в таблице):

$$x = 9,22y - 2,93 \text{ для получения значений радиации в Мдж/м}^2;$$

$$x = 2,56y - 0,81, \text{ если суммы радиации надо выразить в киловатт-часах на квадратный метр.}$$

Сопоставление расчетных и фактических сумм (Рис. 1) показало удовлетворительную сходимость результатов (очень важно, что практически совпадают линии тренда), поэтому приступаем к реконструкции инсоляционных условий на доступную нам глубину (Рис. 2).

В отличие от последних лет учетного периода (Рис. 1) с тенденцией к росту инсолированности, для 51-летнего ряда в целом (Рис. 2) линейный тренд – нулевой. При аппроксимации тренда полиномом 6-й степени явно заметны 22-летние (двойные солнечные) циклы, а на преувеличенный вследствие краевого эффекта изгиб линии в 1912 и 1962 гг. не следует обращать внимания. Резкие переломы в динамическом ряду (смены подъемов сильным падением) происходят в квазиодинадцатилетнем режиме, связанном с циклами солнечной активности: они приурочены к 1912, 1923, 1933, 1943, 1955 гг., – а наиболее глубокие депрессии отмечаются с интервалом около 22 лет. В целом же размах колебаний виртуальных значений за все годы (Рис. 2) мало отличается от фактически

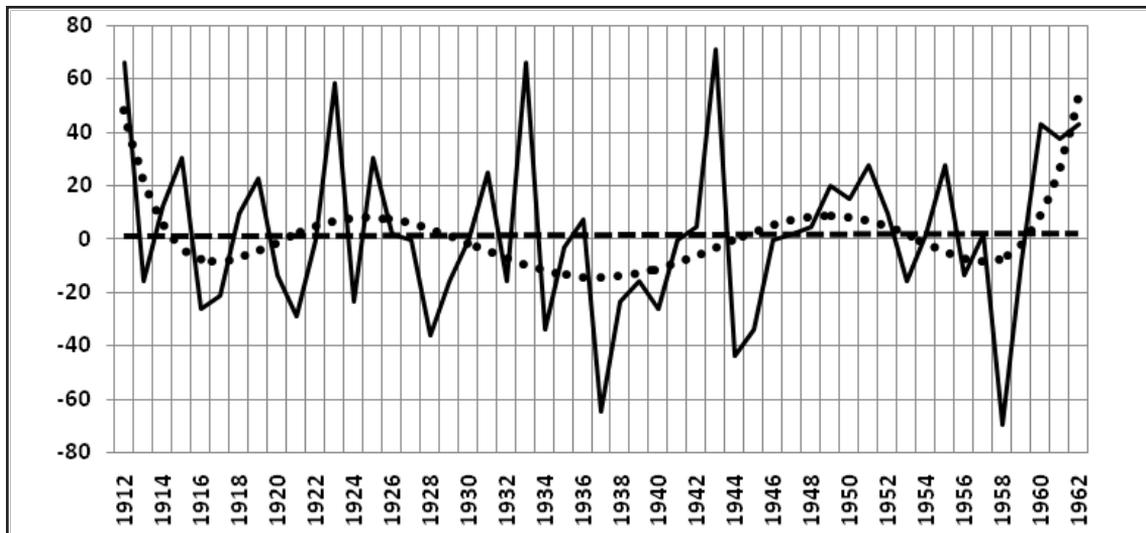


Рис. 2. Динамика восстановленных (реконструированных) годовых сумм суммарной солнечной радиации (сплошная линия) и тренды: линейный (штриховая линия) и аппроксимированный полиномом 6-й степени (пунктирная линия). На оси абсцисс – отклонение ежегодных сумм от климатической нормы, кВт·час·м⁻².

Fig. 2. Dynamics of the restored (reconstructed) annual sums of summary solar radiation (solid line) and the trends: linear (stroked line) and approximated by the polynomial of the 6th degree (dotted line). On the X-axis – deviation of yearly sums away from the climatic norm, in kWh·m⁻².

наблюдавшихся (Рис. 1) и не превышает ± 70 кВт·час·м⁻², или 5% климатической нормы, которая для Южного берега равна 1350 кВт·час·м⁻² за год.

Завершаем на этом краткий анализ инсоляционных условий Южного берега Крыма за первую половину двадцатого века и полагаем возможным утверждать, что предложенные подходы могут быть успешно применены в самых разных географических районах, хотя глубина ретроспективного погружения ограничена временем начала инструментальных метеорологических наблюдений.

Цитируемые источники

- Антюфеев В.В. и Важов В.И. 1978. Связь годичного прироста сосны крымской с солнечной радиацией. *Дендроклиматические исследования в СССР (III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии)*: 109–110.
- Бальбина А.С. 2010. Реконструкция температуры воздуха по дендрохронологическим данным в Приольхонье с помощью метода нейронных сетей. *География и природные ресурсы* 1: 59–63.
- Битвинская Т.Т., Важов В.И., Ковалев В.П. и др. 1988. Анализ хронологических рядов годичных колец деревьев. *Колебания климата за последнее тысячелетие*: 13–21. Гидрометеиздат, Ленинград.
- Ваганов Е.А. и Шашкин А.В. 2000. Рост и структура годичных колец хвойных. Изд-во СО РАН, Новосибирск.
- Важов В.И. 1976. Опыт анализа влияния климата на годичный прирост деревьев на Южном берегу Крыма. *Изв. Всесоюз. географич. общ-ва* 108 (1): 28–36.
- Рудаков В.Е. 1958. О методике изучения влияния колебаний климата на ширину годичных колец дерева. *Ботан. журн.* 43 (12): 1708–1712.
- Справочник по климату СССР. 1966. Вып. 10. Украинская ССР. Ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Гидрометеиздат, Ленинград.
- Справочник по климату СССР. 1973. Данные за отдельные годы. Вып. 10. Украинская ССР. Ч. VII. Солнечная радиация и радиационный баланс. КГМО, Киев.
- Шведов Ф.Н. 1892. Дерево как летопись засух. *Метеорологический вестник* 5: 37–49.

**RECONSTRUCTION OF THE INSOLATION CONDITIONS OF THE PAST
BY THE GROWTH RINGS OF THE TREES**

ВИКТОР В. АНТЮФЕЕВ * & ЛУДМИЛА И. АНТЮФЕЕВА

Abstract. The dependence of the structure of the growth rings of *Pinus pallasiana* Lamb. from the total solar radiation was ascertained. The equations of regression, which make it possible to restore the values of the annual sum of solar radiation in the past, when instrumental actinometrical observation was not executed, on the basis of measurement of the width of growth rings, are proposed. The graph of the insolation regime of the Southern coast of the Crimea since 1912 is given (measurement of radiation is fulfilled here since 1956).

Key words: *Pinus pallasiana*, growth rings of trees, solar radiation, reconstruction of the climate of the past

*Yalta department of the Geographical society of the Ukraine, Nikita, bldg No 5, 98648, Yalta, Crimea, Ukraine; * vivaant@ukr.net*