

**РЕГИСТРАЦИЯ СЕЗОННОЙ И СУТОЧНОЙ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ
РАДИУСА СТВОЛОВ ДРЕВОСТОЕВ АВТОМАТИЧЕСКИМИ
ДЕНДРОМЕТРАМИ**

Лященко Е.Д.¹, Рубцов А.В.^{1,2}

Научный руководитель канд. техн. наук Непомнящий О.В.¹

¹*Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального
университета*

²*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН*

В сезонной и суточной динамике изменения радиального размера стволов деревьев интегрируются несколько процессов: прирост древесины [1], температурные изменения в тканях дерева [2], гидродинамические изменения флоэмного и ксилемного потоков [3]. Фундаментальными задачами исследования являются выявление и количественная оценка влияния этих процессов на сезонную и суточную динамику радиального размера стволов (РРС) деревьев и анализ механизмов контроля окружающей среды каждого из составляющих процессов. К практически осуществимым задачам этого направления относятся определение климатических факторов, наиболее сильно влияющих на рост деревьев хвойных пород в период вегетации, и определение взаимосвязи между циклами сокодвижения и сезонной/суточной динамикой роста дерева в различных условиях внешней среды. В этой работе проанализированы первичные экспериментальные данные об изменении радиуса стволов древостоев.

Объекты исследования

Базовым материалом в решении таких задач являются данные высокого временного разрешения (от 1 до 30 минут), полученные с помощью системы непрерывных измерений длины окружности стволов деревьев в сочетании с параллельными измерениями метеорологических показателей. Инструментальные измерения РРС деревьев проводятся непрерывно с помощью ленточных дендрометров (DRL-26A, EMSBrno, Чехия) с мая 2013 года в двух дистанцированных группах деревьев одного вида (сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), 5 экземпляров с условным обозначением соответствующих деревьев D1, D2, D3 и D4, D5), произрастающих на территории обсерватории ZOTTO Средне-Енисейского ОЭП в Туруханском районе Красноярского края [4]. Средняя длина окружности деревьев по данным проведенной инвентаризации составляет 87 см ($R = 13.8$ см) по выборке из 45 деревьев в первой группе, и 80 см ($R = 12.8$ см) во второй группе по выборке из 75 деревьев. Исследуемые деревья были выбраны в соответствии с этими показателями (см. табл. 1).

Таблица 1. Характеристики сезонных и дневных изменений радиального размера исследуемых деревьев

Дерево	Длина окружности, L, cm	Сезонный прирост, $\Delta L/\Delta R$, mm	Кол-во дней роста dR	Кросс-корреляция (r), май-октябрь 2013				
				D1	D2	D3	D4	D5
D1	85	5.45/0.86	74	1				
D2	81	4.85/0.77	73	0.96	1			
D3	81	5.41/0.86	79	0.97	0.99	1		
D4	89	8.86/1.4	97	0.92	0.98	0.98	1	
D5	82	6.33/1.0	84	0.9	0.98	0.97	0.99	1

Для равнозначного сравнения полученных данных, изменения величин длины окружности (dL) переведены в радиальные значения (dR).

Сезонная динамика dR

В сезонных изменениях РРС деревьев выделяются 3 характерных периода, позволяющих интерпретировать dR с точки зрения внешних условий: период активного роста, зимний период и периоды смены этих состояний.

В вегетационный период с положительной температурой воздуха процесс ежедневного роста деревьев является основной компонентой увеличения РРС (ΔR). Абсолютные величины прироста деревьев (ΔRa , рис. 1.) за период с мая по октябрь 2013г. больше в группе 2 (таб.1). Общее количество дней, в которые зарегистрировано увеличение РРС, рассчитанное по среднесуточным значениям, у деревьев 2-й группы также больше (D4-87, D5-97). Тренды температуры воздуха ($T_{возд}$) в вегетационном периоде в целом не влияли на скорость прироста деревьев обеих групп, так как снижение $T_{возд}$ с первой декады июля по начало октября 2013 г. сопровождалось монотонным утолщением стволов деревьев. Однако, отмечаются дни, в которые прирост происходит лишь у некоторых деревьев (внутри групп и между группами). Применение метода корреляционного анализа Пирсона не обнаружило данной асинхронности, и значения корреляции (r) между рядами среднесуточных данных dR для всех пар деревьев в период с мая по октябрь 2013 г. (таб.1) высокие (0.9 – 0.99, $p=0.05$). Более информативен анализ диаграмм рассеяния значений dR для каждой пары рядов, на которых можно выявить резкие изменения РРС в группе 1 при постоянстве dR в группе 2.

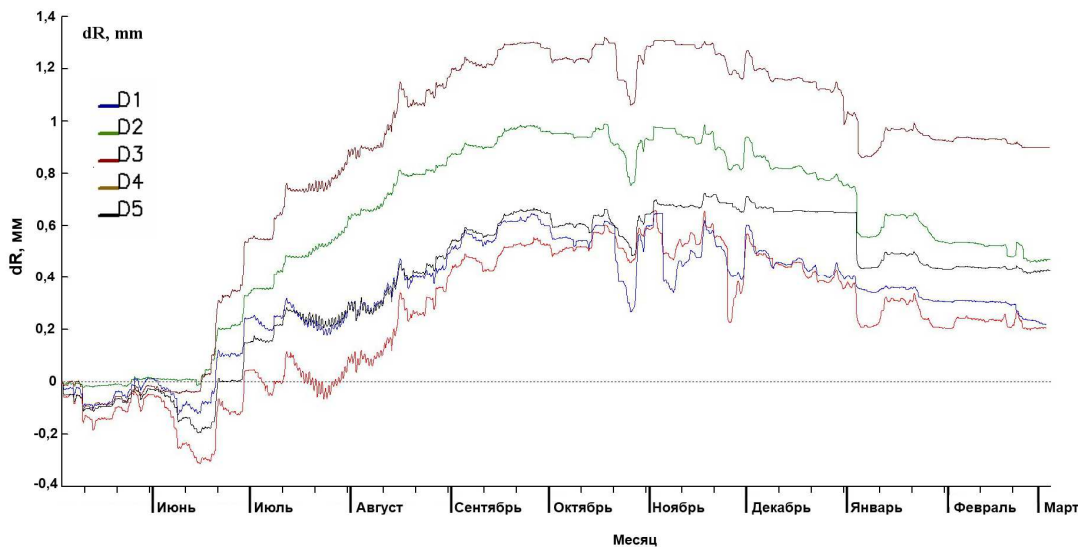


Рисунок 1. Динамики изменений радиального размера стволов пяти сосен за период с май 2013 г. по март 2014г.

Большее влияние на сезонную динамику ΔR в 2013 г. оказало периодическое отсутствие осадков, т.к. в период продолжительной засухи (11.07-12.08.13) значения радиального прироста деревьев первой группы имели отрицательные значения. Отсутствие данной реакции у деревьев второй группы возможно связано с сохранением положительного водного баланса.

Сложными в интерпретации и мало изученными являются переходные фазы состояния древесной растительности до и после вегетационного периода, в которых $T_{возд}$ и $T_{почвы}$ играет определяющее значение. В 2013 г. в районе исследования такими

периодами являются май - 1/3 июня и октябрь. В весенний период ростовые процессы в исследуемых деревьях еще неактивны, а основные изменения РРС, теоретически связаны с водным балансом деревьев, который в свою очередь определяется метеорологическими условиями [2]. В мае колебания значений $T_{возд}$ имеют высокую амплитуду при ночной $T_{возд} \approx 0^\circ\text{C}$ и дневной $T_{возд} \geq 10^\circ\text{C}$, что соответствует достаточным условиям для начала возникновения кратковременных периодов транспирации вечнозеленых хвойных растений. Это приводит к резкому уменьшению диаметра стволов вследствие расхода имеющейся воды в деревьях на транспирацию и невозможности возобновления этих потерь за счет пополнения резервуаров из почвенной влажности ($T_{почвы} \leq 0^\circ\text{C}$). Начало использования почвенной влаги в схеме сокодвигания отмечается в последней декаде мая (при $T_{почвы} \geq 5^\circ\text{C}$) и сопровождается значительным увеличением РРС ($\Delta R \approx 0.12$ мм), не ассоциируемым с ростом новых тканей дерева, т.к. в конце первой 1/3 июня все РРС уменьшились до значений конца мая. С середины июня активизировался рост деревьев и дальнейшая динамика dR имеет положительный характер.

В холодный период 2013-2014 гг. ($T_{возд} \leq 5^\circ\text{C}$) динамика dR в целом приводит к уменьшению РРС и соответствует кратковременным трендам $T_{возд}$. Резкие флуктуации $\Delta T_{возд} \geq -15^\circ\text{C}$ приводят к синхронным изменениям суточных значений dR с уменьшением РРС до 1/4 сезонного прироста. Однако реакция отдельных деревьев на каждый случай значительного похолодания индивидуальна, и амплитуды dR непропорциональны амплитудам $dT_{возд}$.

Суточная динамика dR

Суточная динамика dR также характеризуется тремя сезонными фазами. Двумя основными признаками разделения временных рядов dR на зимний, переходной и вегетационный периоды являются а) амплитуды суточных колебаний РРС, рассчитанные по нормированным значениям 20-минутных данных dR относительно среднесуточных значений [2,5], и б) время наступления минимума и максимума РРС в данных их суточных амплитуд относительно $T_{возд}^{min}$ и $T_{возд}^{max}$. В зимний период амплитуды dR следуют динамике $dT_{возд}$. В вегетационный сезон (рис. 2) ежесуточные минимумы и максимумы РРС отражают как интенсивность процесса транспирации, зависящего от продолжительности светового периода дня, так и скорость поглощения воды из почвы. Следовательно, время возникновения минимумов и максимумов суточных РРС и $T_{возд}$ находятся в противофазе с изменяющейся когерентностью внутри вегетационного сезона (рис. 2).

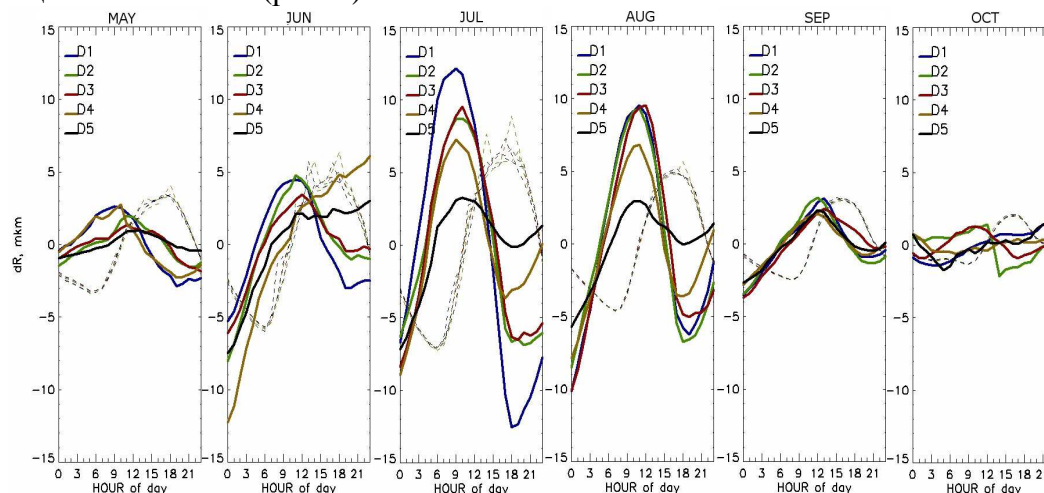


Рисунок 2. Среднемесячная суточная динамика амплитуд радиального размера стволов пяти деревьев (толстые линии) и температура воздуха (тонкие линии) для периода с мая по октябрь 2013 года.

Выводы

Используемые автоматические дендрометры имеет достаточную чувствительность для регистрации необходимых данных в решении поставленных задач. Первичный анализ полученных дендрометрических данных косвенно свидетельствует о влиянии термических, ростовых и гидродинамических процессов на изменение радиального размера стволов деревьев на уровне сезонных и суточных значений. В результате работы были определены различия в величинах сезонного прироста деревьев в вегетационном сезоне 2013 года, в продолжительности и этапах периода роста, отмечено различие реакции деревьев на засушливые условия. С помощью анализа суточных данных была определена внутри- и межсезонная специфика фазовых сдвигов между амплитудами радиальных размеров стволов и температуры воздуха.

Остается открытой задача количественной оценки водного баланса исследуемых деревьев, в частности определения суточной динамики потоков воды в ксилемных тканях деревьев и водного потенциала почвы. Решение данной задачи возможно с применением современных инструментальных методов регистрации сокодвижения в древесных растениях и может качественно улучшить анализ имеющихся дендрометрических данных.

Литература

1. Zweifel R. Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism / R. Zweifel, L. Zimmermann, F. Zeugin, D. M. Newbery // *Journal of Experimental Botany*, 2006 (vol. 57). - pp. 1445–1459. doi:10.1093/jxb/erj125
2. King G. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6°C natural warming gradient / King G., Fonti P., Nievergelt D., Büntgen U., Frank D. // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013. - pp. 36– 46
3. Cermák J. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees / J. Cermák, J. Kucera, W.L. Bauerle, N. Phillips, T.M. Hinckley // *Tree Physiology*, 2007. pp. 181–198
4. Lavrič, J. V. A look up at the Zotino Tall Tower Observatory / J.V. Lavrič [et al.] // *Meteorol.Techn. Intern.*, 2011., Sept. P. 6-10
5. Wang Z. et al., 2012. Two phases of seasonal stem radius variations of *Sabina przewalskii* Kom. in northwestern China inferred from sub-diurnal shrinkage and expansion patterns / Wang Z. B. Yang, A. Deslauriers, C. Qin, M. He, F. Shi, J. Liu // *Trees.*- 2012.- vol. 26, pp. 1747–1757. DOI 10.1007/s00468-012-0743-2.