

УДК 57.044: 57.045+911.2

## ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ У ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Максимова О.В.<sup>1,2</sup>, Минин А.А.<sup>1</sup>, Кухта А.Е.<sup>1</sup>, Шуйская Е.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт глобального климата и экологии им. Академика Ю.А. Израэля, Москва

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

<sup>3</sup> Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник,

Тверская область

anna\_koukhata@mail.ru, phenologiarussia@gmail.com

Установлена значимая связь между приростом междоузлий сосны обыкновенной и датами начала цветения/развертывания листьев у ряда лиственных деревьев за период 1987–1999 гг., а также связь между датами начала цветения/развертывания листьев у лиственных деревьев за период 1995–2019 гг. Выявлены тесные корреляционные связи ( $r \geq 0.89$ ) между датами начала цветения черемухи, яблони и рябины; начала развертывания листьев у березы и начала цветения черемухи.

*Ключевые слова: фенологические даты, междоузлия, фенофазы, цветение, развертывание листьев, лиственные породы, сосна обыкновенная.*

### Введение

Одной из актуальных проблем современной экологии является проблема выявления трендов состояния лесных экосистем в условиях современного изменения климата. В этом плане важным показателем состояния экосистем является характер внутри- и межгодовой динамики фенологических показателей (Минин, 2011; Соловьев, 2015; Минин и др., 2017). Для оценки отклика растительности на воздействие климатических факторов и прогноза ее состояния широко применяются методы дендрохронологии. Древесные хронологии показывают интегрированные отклики древостоев на воздействия климатических факторов – температуры и сумм осадков (Кухта, Румянцев, 2010).

Во многих работах описано, что линейный прирост у деревьев начинается ранней весной, с началом процессов фотосинтеза, и заканчивается в середине лета, поэтому основные воздействия на этот процесс будут оказаны в весенний и раннелетний период (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009; Кухта, Румянцев, 2010; Черногаева, Кухта, 2018). При этом объектом воздействия в основном климатических факторов будет не только прирост текущего года, но и формирующаяся

почка возобновления, которая будет определять качество прироста в следующем вегетационном сезоне (Gavrikov, Karlin, 1993). Указанная закономерность позволяет проводить поиск сопряженности между многолетними рядами дат начала фенофаз лиственных деревьев и индексами приростов сосны.

Цель данной работы – выявление взаимосвязей дат наступления весенних фенофаз некоторых лиственных пород и рядов индексов приростов сосны обыкновенной в южно-таежном Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике (далее – ЦЛГПБЗ) за период 1987-2019 гг.

### **Материалы и методы**

Для анализа в работе использованы многолетние данные годового прироста междуузлий сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. с 1987 по 1999 гг., собранные сотрудниками ФГБУ «ИГКЭ имени академика Ю.А. Израэля». Данные фенологических явлений у некоторых лиственных деревьев за период 1982-2019 гг. были собраны в рамках программы «Летопись природы» Центрально-Лесного заповедника.

В статье проанализированы сроки смещения начала цветения у пяти видов лиственных пород (лещина обыкновенная *Corylus avellana* L., рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., черемуха обыкновенная *Prunus padus* L., липа сердцелистная *Tilia cordata* Mill., яблоня лесная *Malus sylvestris* (L.) Mill.) и начало разворачивания листьев у двух видов деревьев (береза повислая *Betula pendula* Roth, тополь дрожащий, или осина *Populus tremula* L.). Названия феноявлений даны по Минину и др. (2020); названия видов сосудистых растений приведены по (Плантариум..., 2007–2020). К сожалению, непрерывный ряд многолетних данных для некоторых видов деревьев восстановить не удалось, в связи с чем были взяты следующие периоды исследования: 1995–1996, 2001, 2003, 2005–2019 гг.

Данные по приросту сосны были получены на материале подроста и молодняка сосны обыкновенной. Измерения проводились в сосняках сфагновых, кустарниково-сфагновых, пушицево-сфагновых (бонитет III-Vб классов), в урочище Старосельский мох. Измерялся годичный линейный (в высоту) прирост стволиков у экземпляров высотой не ниже 1 м и не выше 2.5 м. Возраст учетного массива деревьев составил 10–25 лет; всего было измерено 42 дерева. Измерялись междуузлия стволиков, начиная с прироста текущего года, до последнего уверенно выделяемого у комля. Полученные ряды абсолютных значений приростов индексировались стандартным методом, принятым в дендрохронологии – путем деления абсолютных значений приростов каждого года на скользящее среднее по 5 годам (подобная процедура применяется для удаления возрастного тренда и получения годичных отклонений от хода роста). Затем полученные таким образом величины осреднялись по пробным площадям (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009).

Ввиду того, что от года к году на рассматриваемой территории данные по приросту междоузлий подвержены сильной вариабельности, вместо использования среднего показателя прироста за год выбрано его медианное значение. Основным преимуществом медианы служит ее устойчивость к экстремальным значениям в выборке (выбросам).

Среди методов многомерной статистики применяли кластерный анализ данных: он реализован в пакете Statistica 15 с построением древовидной диаграммы (дендрограммы), которая описывает близость исходных точек (объектов) и кластеров друг к другу при выбранной метрике. Для объединения в кластеры использован метод Варда с метрикой евклидова расстояния между объектами (Мандель, 1988). На каждом шаге этого метода объединяются кластеры, для которых будет наименьший прирост внутрикластерной дисперсии, т.е. их объединение в наименьшей степени приводит к изменчивости кластеров, выделенных на предыдущих шагах процедуры. Метод Варда направлен на объединение близко расположенных кластеров, создавая тем самым кластеры малого размера.

### Результаты и обсуждение

#### ***Сопряженность дат начала цветения/развертывания листьев деревьев и годового прироста междоузлий сосны обыкновенной***

Одним из устойчивых феноиндикаторов начала весны (вторая фаза – период оживления весны) служит начало цветения ольхи серой *Alnus incana* (L.) Moench (Шульц, 1981). Поэтому в своем исследовании мы решили производить отсчет дат начала цветения/развертывания листьев деревьев как ежегодные отклонения от даты начала цветения ольхи серой. При таком подходе, согласно среднескользящим данным, период рассматриваемой нами фенологической весны охватывает даты от 12.03–18.04 (начало цветения ольхи серой) до 03.05–12.06 (начало цветения рябины обыкновенной).

Рассмотрим силу и направленность связи более раннего начала цветения/развертывания листьев на деревьях и длительности фенологической весны с приростом междоузлий текущего года. По массиву данных с 1987 по 1999 гг. рассчитан коэффициент корреляции  $r = -0.42$ , который значимо меньше нуля на уровне  $\alpha = 10\%$  по критерию Стьюдента (Айвазян, Мхитарян, 2001). Это свидетельствует о том, что «скоротечность» весны может положительно сказываться на приросте междоузлий.

Далее объектом нашего исследования будет связь различных фенологических явлений, характеризующих начало и течение весны, с приростом междоузлий сосны обыкновенной. В таблице 1 представлены линейные коэффициенты парных корреляций, в частности, корреляции первого столбца. Отметим, что все они отрицательные. Это может свидетельствовать о том, что прирост междоузлий сосны в среднем будет меньше при увеличении периода до момента начала цветения/развертывания листьев для всех представленных в исследовании деревьев.

Таблица 1. Сопряженность фенологических явлений и прироста междоузлий сосны обыкновенной (начало цветения – НЦ, начало разворачивания листьев – НРЛ)

	Медиана прироста междоузлий	Лещина (НЦ)	Береза (НРЛ)	Осина (НРЛ)	Черемуха (НЦ)	Яблоня (НЦ)	Рябина (НЦ)	Липа (НЦ)
Медиана прироста междоузлий	1							
Лещина (НЦ)	-0.08	1						
Береза (НРЛ)	-0.30	0.72	1					
Осина (НРЛ)	-0.13	0.68	0.97	1				
Черемуха (НЦ)	-0.23	0.51	0.76	0.52	1			
Яблоня (НЦ)	-0.42	0.66	0.84	0.46	0.72	1		
Рябина (НЦ)	-0.45	0.31	0.48	-0.09	0.14	0.55	1	
Липа (НЦ)	-0.24	0.53	0.79	0.84	0.63	0.62	0.08	1

Исследование позволяет сделать общий вывод, что теплая ранняя быстрая весна может обуславливать больший прирост междоузлий сосны.

***Связь между датами начала цветения/появления первых листьев лиственных деревьев***

Даты начала цветения и разворачивания листьев для всех рассматриваемых в работе деревьев представлены за более длительный период: 1995–1996, 2001, 2003, 2005–2019 гг. (19 лет). В таблице 1 можно увидеть значительное число высоких значений  $r$ , отражающих связь сроков начала цветения или появления листьев между деревьями. Выделяются высокие значения  $r$  (более 0.75) между началом разворачивания листьев у березы и осины; разворачиванием листьев у березы и началом цветения яблони, черемухи и липы; началом разворачивания листьев у осины и началом цветения липы. Наименьшую связь показывает в среднем начало цветения лещины со всеми остальными деревьями.

Для более детального анализа проведен корреляционный анализ дат начала цветения/разворачивания листьев и разбиение деревьев на кластеры относительно представленных дат. Отметим, что в целом корреляции среди дат начал цветения деревьев выше по сравнению с датами начала разворачивания листьев. В рамках поставленной задачи на первых шагах кластеризации объединились в две группы: береза и осина (начало разворачивания листьев); яблоня лесная и черемуха обыкновенная (начало цветения) (рис. 1).

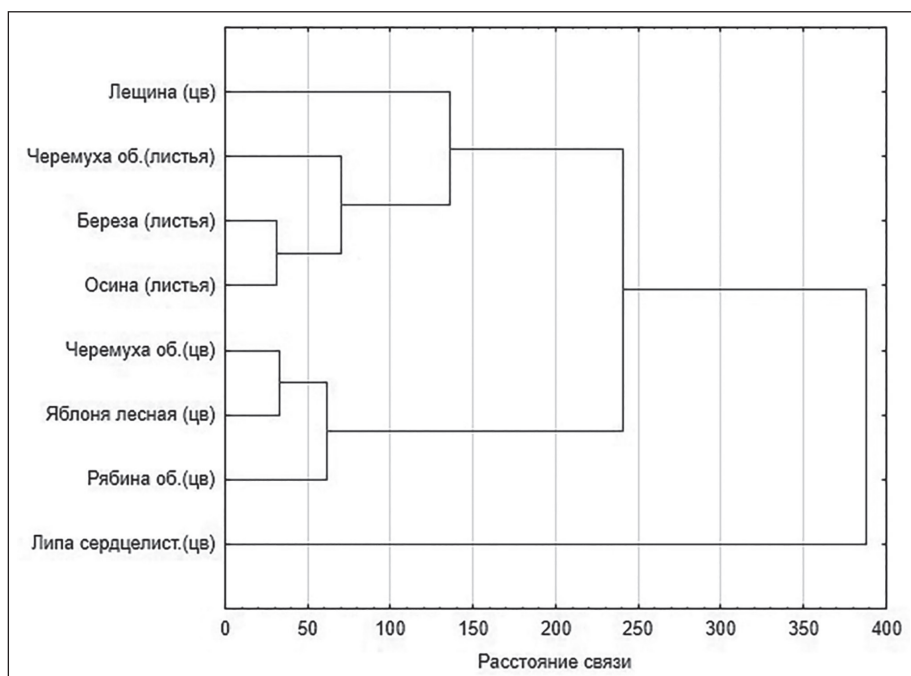


Рисунок 1. Дендрограмма кластерного анализа (метод Варда, метрика – евклидово расстояние среди дат начала цветения/развертывания листьев от даты начала цветения ольхи серой)

Укрупнение подгрупп позволяет выделить 4 основных кластера:

- начало цветения лещины;
- начало развертывания листьев у черемухи обыкновенной, березы и осины;
- начало цветения черемухи обыкновенной, яблони лесной и рябины обыкновенной;
- начало цветения липы сердцелистной.

### Заключение

Проведенный анализ показал наличие достоверных связей между фенологическими явлениями и ростовыми процессами у деревьев. Ранний приход весны и, соответственно, более раннее наступление фенологических явлений может быть значимо связано с более активными приростами междоузлий у сосны. Также выявлены тесные корреляционные связи между отдельными явлениями, которые в целом соответствуют полученным ранее результатам (Минин, Горбунов, 1995; Соловьев, 2020).

Подобный комплексный подход к выявлению сопряженного отклика хвойных и лиственных пород на воздействие климатических факторов предлагается впер-

вые, и дальнейшее развитие его позволит усовершенствовать прогнозы состояния лесных экосистем в условиях наблюдаемых и вероятных изменений климата.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках темы ФНИ гос. задания ФГБУН «ИГ РАН» № 0148-2019-0009, АААА-А19-119022190173-2: «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России». В рамках темы госзадания ФГБУ «Центрально-Лесной государственный заповедник» № 1-22-87-1 «Динамика явлений и процессов в южнотаёжном комплексе Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника».

### ЛИТЕРАТУРА

- Айвазян С.А., Мхитарян В.С. 2001. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т.1: Теория вероятностей и прикладная статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 656 с.
- Кухта А.Е. 2009. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива // Лесной вестник: МГУЛ, № 1(64). С. 61-67.
- Кухта А.Е., Титкина С.Н. 2005. Климатогенные колебания линейного прироста ювенильных растений сосны обыкновенной в модельных древостоях в Пензенской области // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеиздат. Т. XXб. С. 251-261.
- Кухта А.Е., Румянцев Д.Е. 2010. Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-Лесном государственных природных заповедниках // Лесной вестник (Forestry bulletin). № 3. С. 88-95.
- Летопись природы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Книги 22-59 (1982-2019). – Архив заповедника (Рукописи). Пос. Заповедный: Центрально-Лесной государственный заповедник, 1982-2019 гг.
- Мандель И. Д. 1988. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. 176 с.
- Минин А.А., Горбунов С.М. 1995. Корреляционные связи между некоторыми фенологическими явлениями // Известия РГО. Т. 127. Вып. 1. С. 82-85.
- Минин А.А. 2011. Некоторые аспекты взаимосвязей наземных экосистем с изменяющимся климатом // Успехи современной биологии. Т. 131, № 4. С. 407-415.
- Минин А.А., Ранькова Э.Я., Рыбина Е.Г., Буйолов Ю.А., Сапельникова И.И., Филатова Т.Д. 2017. Феноиндикация изменений климата за период 1976-2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XXVIII, № 3. С. 5-22. DOI 10.21513/0207-2564-2017-3-5-22.
- Минин А.А., Ананин А.А., Буйолов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В. 2020. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research, Заповедная наука. Т. 5, № 4. С. 89-110. URL: <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2020.060>.
- Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран, 2007-2022. – Электронный ресурс. URL: <http://www.plantarium.ru> (дата обращения 21.03.2022).
- Соловьев А.Н. 2015. Климатогенная и антропогенная динамики биоты в меняющихся экологических условиях востока Русской равнины. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск. 22 с.

Соловьев А.Н. 2020. Корреляционные связи дат наступления сезонных явлений // Известия РАН. Сер. Биологическая. № 1. С. 105-112.

Черногаева Г.М., Кухта А.Е. 2018. Отклик бореальных древостоев на современные изменения климата на севере Европейской части России // Метеорология и гидрология. № 6. С. 111-119.

Шульц Г.Э. 1981. Общая фенология. Ленинград: Наука. 188 с.

Gavrikov V.L., Karlin I.V. 1993. A dynamic model of tree terminal growth // Canadian Journal of Forest Research, vol. 23, No. 2, pp. 326-329.

## FEATURES OF SEASONAL PHENOMENA AND PROCESSES IN TREES IN THE CENTRAL FOREST STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE

**Maximova O.V.<sup>1,2</sup>, Minin A.A.<sup>1</sup>, Koukhtha A.E.<sup>1</sup>, Shuyskaya E.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow

<sup>2</sup> National Research Technological University MISiS

<sup>3</sup> Central Forest State Nature Biosphere Reserve, Tver Region

anna\_koukhtha@mail.ru, phenologiarussia@gmail.com

The relationship between annual Scots pine merithallus increment and deciduous trees flowering/leaf expansion initiation dates for the period of 1987-1999, as well as the intercommunication between deciduous trees flowering / leaf expansion initiation dates for the periods of 1995-1996, 2001, 2003, 2005-2019 are considered. Close interdependence ( $r \geq 0,89$ ) between bird cherry, apple tree and rowan tree flowering initiation dates is detected.

*Keywords: phenological dates, merithallus, flowering, leaf expansion, phenophases, deciduous trees, Scots pine.*