

О СВЯЗИ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ У ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

*О.В. Максимова^{1,2)}, А.А. Минин³⁾, А.Е. Кухта¹⁾**

¹⁾ Институт глобального климата и экологии им. Академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, Москва, Глебовская ул., 20Б

* адрес для переписки: anna_koukhta@mail.ru

²⁾ НИТУ «МИСиС»,
Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-т, 4

Реферат. Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития методов выявления трендов состояния растительности в условиях современного изменения климата. Установлена связь между годовым приростом междуузлий 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. Показано, что чем короче весна (весенние процессы развиваются активно), тем больше прирост междуузлий ($r = -0.42$). Раннее начало цветения яблони домашней и рябины обыкновенной (ранний приход весны) сигнализирует о большем среднем приросте междуузлий сосны обыкновенной при всех остальных равных условиях. 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. Таким образом, впервые с использованием различных показателей выполнена комплексная оценка отклика хвойных и лиственных пород на воздействие климатических факторов.

Ключевые слова. Фенологические даты, междуузлия, 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). Поэтому интерес к многолетним фенологическим данным в последние годы существенно возрастает (Ovaskainen et al., 2020).

Для оценки отклика растительности на воздействие климатических факторов в прошлом и в настоящем, так же, как и для прогноза изменений состоя-

ния лесных биогеоценозов в будущем, широко применяются методы дендрохронологии (как по радиальным, так и линейным приростам). Древесные хронологии показывают интегрированные отклики древостоев на воздействия климатических факторов – температуры и сумм осадков (Кухта, Румянцев, 2010; Solomina et al., 2016).

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 (Рысин, 1982; Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009; Кухта, Румянцев, 2010; Черногаева, Кухта, 2018; Solomina et al., 2016; Misi et al., 2019). 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.

В условиях изменения климата особый интерес для исследователей приобретает решение задачи выявления и оценки сопряженности основных ключевых показателей сезонного развития лесных экосистем – дат наступления фенофаз, и количественных показателей линейных приростов деревьев, находящихся в теснейшей зависимости от климатических параметров. Следует отметить, что ранее подобная задача не привлекала внимания исследователей (вероятно, вследствие сложности ее решения).

Цель данной работы – выявление взаимозависимостей 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 экологического мониторинга по программе «Летопись природы» заповедника.

В заповеднике фенологический мониторинг проводится с 1972 г. по стандартной методике (Преображенский, Галахов, 1948; Жарков, 1956). Фенологические данные взяты из книг «Летопись природы...» (1982-2019), раздел «Календарь природы» (Архив библиотеки ЦЛГПБЗ). 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 *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 за период 1995-2019 гг. для многих видов деревьев восстановить не удалось, имеются пропуски в данных, в связи с чем были взяты следующие периоды исследования: 1995-1996, 2001, 2003, 2005-2019 гг.

Заповедник расположен в юго-западной части Валдайской возвышенности, в пределах Главного водораздела Русской равнины (Тверская область). Согласно климатическому районированию Б.П. Алисова (1956), территория ЦЛГПБЗ относится к атлантико-континентальной лесной области, юго-западной подобласти умеренного пояса и характеризуется повышенной увлажненностью. Флора заповедника типично европейская, включает 546 видов высших сосудистых растений, принадлежащих к 88 семействам и 275 родам (Конечная, 2012). Леса образованы бореальной растительностью. В составе фитоценозов заповедника доминирует южно-таёжный ельник; 10% площади территории занимают сосняки, представляющие собой бореальные влажные фитоассоциации (Миняев, Конечная, 1976; Центрально-Лесной заповедник, 2017а).

Условия произрастания на территории заповедника оптимальны для осины, березы, серой ольхи, ели и черной ольхи. На наиболее дренируемых частях моренных гряд, на их возвышенной части распространены неморальные широколиственно-еловые леса с участием вяза, липы и клена с травяным покровом из типичных европейских видов. На вогнутых склонах, с выраженными периодами застойного увлажнения, широколиственно-еловые леса сменяются ельниками папоротниковыми с вязом и осиной (Миняев, Конечная, 1976; Центрально-Лесной заповедник, 2017б).

Данные по приросту сосны были получены на материале подроста и молодняка сосны обыкновенной. Измерения проводились в сосняках сфагновых, кустарниково-сфагновых, пушицево-сфагновых (бонитет III-V6 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 (Кухта, Титкина, 2005; Кухта, 2009; Кухта, Румянцев, 2010). Возраст учетного массива деревьев составил 10-25 лет; всего было измерено 42 дерева. Измерялись междоузлия 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) и позволяет учитывать лишь структуру данных. Таким образом, медиана в нашем случае дает более полное представление о «типичном» значении прироста междоузлий, нежели среднее значение.

Среди методов многомерной статистики применяли кластерный анализ данных: он реализован в пакете Statistica 15¹⁾ с построением древовидной диаграммы (дендрограммы), которая описывает близость исходных точек (объектов) и кластеров друг к другу при выбранной метрике. Она задает вложенную группу объектов с изменением при различной степени иерархии. Для объединения в кластеры использован метод Варда с метрикой евклидова расстояния между объектами. Этот метод отличается от всех других тем, что он использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. На каждом шаге объединяются два кластера, которые приводят к минимальному увеличению внутригрупповой суммы квадратов (Мандель, 1988, с. 97). Метод Варда дает возможность сформировать небольшие кластеры.

Результаты и обсуждение

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

Известно, что приход весны и наступление весенних фенологических событий в живой природе определяется в первую очередь географическим расположением местности, а также особенностями ландшафта (характер растительности, почвогрунтов и пр.) и многих других сопутствующих факторов (Щербиновский, 1947; Шульц, 1981). При этом 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 среднесулетним 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).

В табл. 1 представлены данные с 1987 по 1999 гг. (с пропуском 1990 г. для всех и пропусками по годам для некоторых лиственных деревьев, за которые отсутствует информация) по приростам междоузлий и датам начала цветения/развертывания листьев у деревьев.

Как известно, нарастание солнечного тепла положительно влияет на прирост междоузлий сосны обыкновенной (Рысин, 1982; Кухта, 2009; Кухта, Титкина, 2005; Черногаева, Кухта, 2018). Рассмотрим силу и направленность

¹⁾ <http://statsoft.ru/products/> (последняя дата обращения 05.11.20)

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 сказывается положительно на приросте междоузлий.

Таблица 1. Исходные данные для корреляционного анализа (медианы прироста междоузлий и количество дней отклонения от даты начала цветения ольхи серой) (начало цветения – НЦ, начало развертывания листьев – НРЛ)

Год	Медиана прироста междоузлий	Лещина (НЦ)	Берёза (НРЛ)	Тополь дрожащий (НРЛ)	Черёмуха (НЦ)	Яблоня (НЦ)	Рябина (НЦ)	Липа (НЦ)
1987	1.04	11	19		32	35	51	81
1988	0.90	-3	29		39	46	49	92
1989	1.01	31	41			58	64	105
1991	0.90	2	28		35	55	66	105
1992	0.87	25	39		59	57	65	111
1993	0.89		29	34	35	43	42	105
1994	0.97	7	20		33	37	22	100
1995	1.10	-8	7	11	28	35	40	66
1996	1.11	16	21	23	27	43	45	99
1997	0.99	-8	19	21	21	29	58	89
1998	1.07	10	23	26	27	39	45	87
1999	0.80	11	21	21	22	44	69	72

Далее объектом нашего исследования будет связь различных фенологических явлений, характеризующих начало и течение весны, с приростом междоузлий сосны обыкновенной. В табл. 2 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.

Наибольшими по абсолютному значению среди коэффициентов корреляций первого столбца являются коэффициенты для дат начала цветения рябины обыкновенной и яблони домашней: $r_p = -0.45$, $r_я = -0.42$, т.е. около значения 0.5. (табл. 2). По шкале Чеддока²⁾ полученную связь по силе можно признать на границе между умеренной и заметной; проверка по статистическому критерию Стьюдента подтвердила, что эти коэффициенты значимо

²⁾ <http://statsoft.ru/home/textbook/glossary/GlossaryTwo/C/CoefficientofDetermination.htm> (дата обращения 15.02.2021)

меньше нуля при уровне ошибки $\%01 = \alpha$ (Айвазян, Мхитарян, 2001). Оставшиеся коэффициенты корреляции первого столбца по шкале Чеддока показывают слабую, но при этом отрицательную связь с приростом междуузлий сосны обыкновенной. Корреляционная табл. 2 показывает тесные связи между датами начала цветения некоторых деревьев и разворачивания листьев, что не дает возможность определить вклад каждого фактора отдельно в показатель прироста междуузлий без влияния других факторов. Эту проблему решает расчет частных коэффициентов корреляции (Айвазян, Мхитарян, 2001, с. 417). Для яблони домашней частный коэффициент корреляции с приростом междуузлий составил $r_{я, \text{частный}} = -0.26$, для рябины обыкновенной $r_{р, \text{частный}} = -0.03$. Коэффициенты получились меньше по абсолютному значению, что подтверждает связь остальных факторов из табл. 2 с приростом междуузлий сосны обыкновенной. Эта связь ослабила оценку вклада в прирост междуузлий выбранных факторов, но знаки частных коэффициентов корреляции сохранились, т.е. сохранилось отрицательным направление связи. Значит, позднее цветение рябины обыкновенной и яблони домашней в среднем совпадает с уменьшением прироста междуузлий сосны обыкновенной при прочих равных условиях. Другими словами, раннее цветение яблони домашней и рябины обыкновенной имеют положительную корреляционную связь с приростом междуузлий сосны обыкновенной. Связь с остальными факторами фенологической весны и проведенный выше анализ позволяют сделать общий вывод, что теплая ранняя быстрая весна обуславливает больший прирост междуузлий сосны обыкновенной.

Таблица 2. Сопряженность фенологических явлений и прироста междуузлий сосны обыкновенной (начало цветения – НЦ, начало разворачивания листьев – НРЛ)

	Медиана прироста междуузлий	Лещина (НЦ)	Берёза (НРЛ)	Тополь дрожащий (НРЛ)	Черёмуха (НЦ)	Яблоня (НЦ)	Рябина (НЦ)	Липа (НЦ)
Медиана прироста междуузлий	1							
Лещина (НЦ)	-0.08	1						
Берёза (НРЛ)	-0.30	0.72	1					
Тополь дрожащий (НРЛ)	-0.13	0.68	0.97	1				
Черёмуха (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

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). На рис. 1 представлены графики начала цветения (а) и разворачивания листьев деревьев (б) с отсчетом от даты начала цветения ольхи серой, которые визуальнo демонстрируют высокую взаимосвязь (ввиду отсутствия данных по датам цветения тополя за выбранный период, они не представлены на рис. 1). В отдельную группу по датам можно выделить начало цветения лещины и липы сердцелистной.

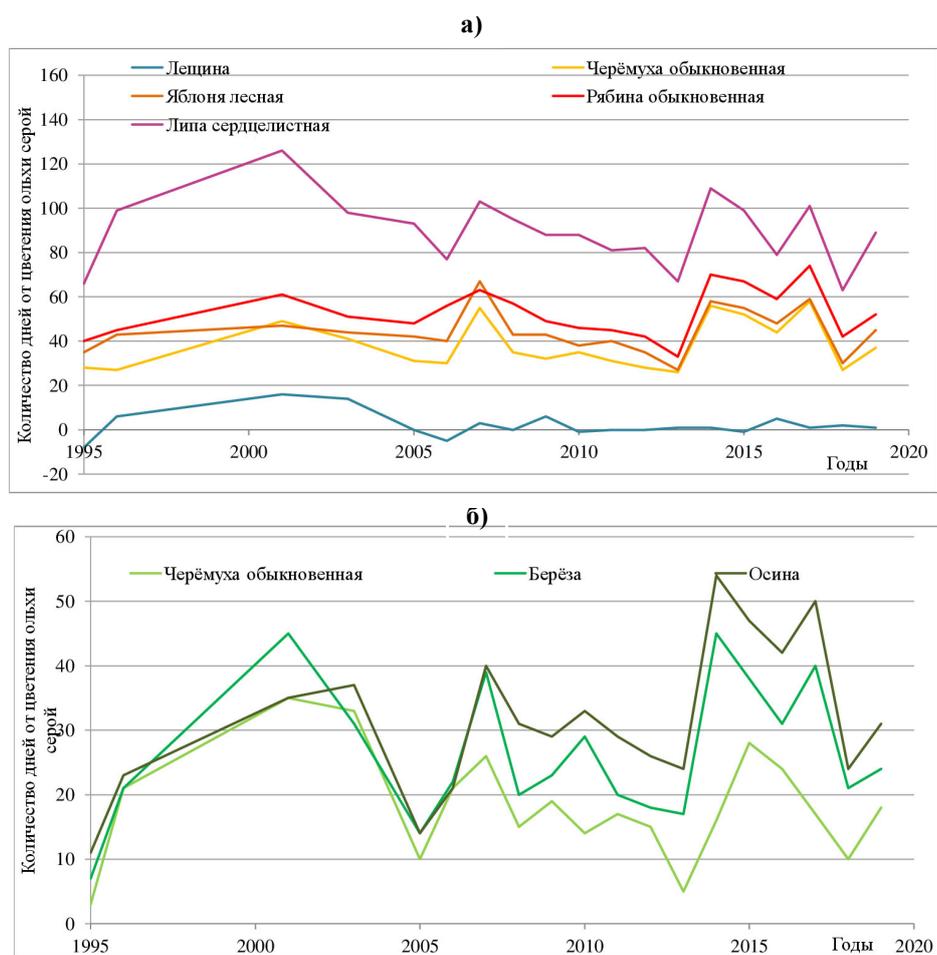


Рисунок 1. Графики сроков начала цветения (а) и разворачивания листьев (б) деревьев с отсчетом от даты начала цветения ольхи серой

Отметим, что в столбцах табл. 2 можно увидеть значительное число высоких значений коэффициентов корреляций, отражающих связь сроков начала цветения или появления листьев между рассматриваемыми деревьями. Выделим высокие значения коэффициента корреляции (более 0.75) между началом разворачивания листьев у березы и тополя дрожащего; разворачиванием

листьев у березы и началом цветения яблони, черемухи и липы; началом разворачивания листьев у тополя дрожащего и началом цветения липы. Наименьшую связь показывает в среднем начало цветения лещины со всеми остальными деревьями (первый столбец табл. 2).

Для более детального анализа проведем корреляционный анализ дат начала цветения/разворачивания листьев и разбиение деревьев на кластеры относительно представленных дат (рис. 2). Отметим, что в целом корреляции среди дат начала цветения деревьев выше по сравнению с датами начала разворачивания листьев на деревьях. В рамках поставленной задачи на первых шагах кластеризации объединились в две группы: береза и осина (начало разворачивания листьев) и яблоня лесная и черемуха обыкновенная (начало цветения).

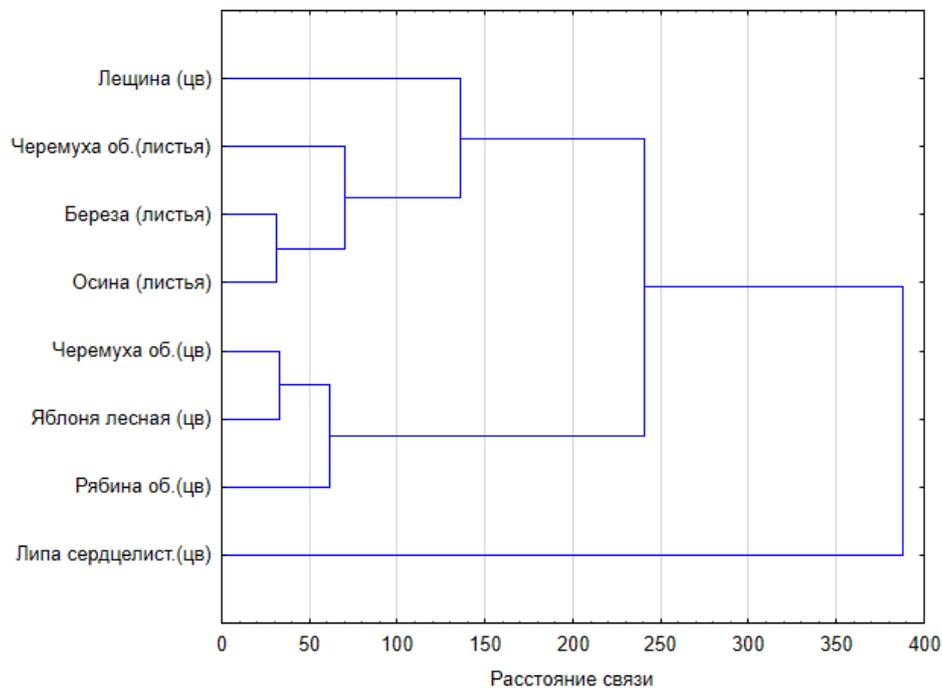


Рисунок 2. Дендрограмма кластерного анализа
(метод Варда, метрика – евклидово расстояние среди дат начала цветения/разворачивания листьев от даты начала цветения ольхи серой)

Как и предварительный анализ табл. 2, укрупнение подгрупп позволяет выделить 4 основных кластера:

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

Как и отмечалось ранее на рис. 1, цветение лещины и липы сердцелистной выделяется в две отдельные группы. Кластерный анализ показал также выде-

ление в отдельные группы как по датам начала цветения лиственных деревьев, так и по датам начала разворачивания листьев у рассматриваемых деревьев.

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 связано с более активными приростами междуузлий 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 впервые, и дальнейшее развитие его позволит усовершенствовать прогнозы состояния лесных экосистем в условиях наблюдаемых и вероятных изменений климата.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы 4.4. «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET)» Плана НИТР Росгидромета (2020 г.), а также 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».

Авторы приносят искреннюю благодарность Е.А. Шуйской, к.б.н., ст.н.с. Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника за плодотворное обсуждение работы, советы и конструктивную критику.

Список литературы

Айвазян С.А., Мхитарян В.С. 2001. Прикладная статистика. Основы эконометрики. – Т.1: Теория вероятностей и прикладная статистика. – М., ЮНИТИ-ДАНА. 656 с.

Алисов Б.П. 1956. Климат СССР. – М., Изд-во Моск. ун-та, 128 с.

Жарков И.В. 1956. Простейшие наблюдения в природе. – М., Сельхозиздат, 128 с.

Конечная Г.Ю. 2012. Сосудистые растения Центрально-Лесного заповедника (Аннотированный список видов). Вып. 118. – М., Изд-во Комиссии РАН по сохранению биологического разнообразия, 75 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. XX, 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., Буйволов 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., Буйволов 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>.

Миняев Н.А., Конечная Г.Ю. 1976. Флора Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. – Л., Наука. 104 с.

Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран, 2007-2020. – Электронный ресурс. URL: <http://www.plantarium.ru> (дата обращения 21.03.2020).

Преображенский С.М., Галахов Н.Н. 1948. Фенологические наблюдения. Руководство. – М., Детгиз. 159 с.

Рысин Л.П. 1982. Лесная типология в СССР. – М., Наука. 217 с.

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.

Щербинковский Н.С. 1947. Сезонные явления в природе. – М., ОГИЗ – Сельхозгиз., 146 с.

Центрально-Лесной заповедник. 2017а. – Электронный ресурс. URL: http://clgz.ru/?page_id=2803 (дата обращения 20.03.2020).

Центрально-Лесной заповедник. 2017б. – Электронный ресурс. URL: http://clgz.ru/?page_id=2896 (дата обращения 20.03.2020).

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.

Misi D., Puchalka R., Pearson Ch., Robertson I., Koprowski M. 2019. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: a Case Study from Poland and Hungary. – Forests. Vol. 10(3), p. 243. Available at: <https://doi.org/10.3390/f10030243>.

Ovaskainen O., Meyke E., Lo C. et al. 2020. Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. – Scientific Data 7, 47, pp. 1-11. URL: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0376-z>.

Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhalenko V., Matskovsky V. 2016. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium. – Global and Planetary Change, vol. 140, pp. 28-58. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.

Статья поступила в редакцию: 16.11.2020 г.

После переработки: 02.03.2021 г.

ON THE RELATIONSHIP OF SEASONAL PHENOMENA AND PROCESSES IN TREES IN THE CENTRAL FOREST STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE

O.V. Maximova^{1,2)}, A.A. Minin³⁾, A.E. Koukhata¹⁾*

¹⁾ Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,

20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

*corresponding author: anna_koukhata@mail.ru

²⁾ Moscow Institute of Steel and Alloys,

4, Leninsky pr., Moscow, 119049, Russian Federation

Abstract. 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. It is shown that the shorter is the spring (the spring processes are developing actively) the merithallus increment is larger ($r=-0.42$). An early apple tree and rowan-tree flowering initiation (a premature spring commencing) signalize about large average Scots pine merithallus increment under all other equal conditions. 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.

References

Ajvazyan S.A., Mhitaryan V.S. 2001. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki* [Applied statistics. Fundamentals of Econometrics]. Vol. 1: Teoriya veroyatnostej i prikladnaya statistika [Probability theory and applied statistics]. Moscow, 656 p.

Alisov B.P. 1956. *Klimat SSSR* [Climate of the USSR]. Moscow, 128 p.

Zharkov I.V. 1956. *Prostejshie nablyudeniya v prirode* [The simplest observations in nature]. Moscow, 128 p.

Konechnaja G.Ju. 2012. *Sosudistye rastenija Central'no-Lesnogo zapovednika (Annotirovannyj spisok vidov)* [Vascular Plants of the Central Forest Reserve (Annotated List of Species)]. Issue 118. Moscow, Publishing House of the RAS Commission for the Conservation of Biological Diversity, 75 p.

Koukhata A.E. 2009. Vliyanie temperatury i osadkov na godichnyj linejnyj prirost sosny obyknovennoj na beregah Kandalakshskogo zaliva [Influence of Temperature and Precipitation on the Annual Linear Growth of Scots Pine on the Shores of the Kandalaksha Bay]. *Lesnoj vestnik – Forestry Bulletin*, no. 1(64), pp. 61-67.

Koukhtha A.E., Romyancev D.E. 2010. Linejnyj i radial'nyj prirosty sosny obyknovennoj v Volzhsko-Kamskom i Central'no-Lesnom gosudarstvennyh prirodnyh zapovednikah [Linear and Radial Growth of Scots Pine in the Volga-Kama and Central Forest State Nature Reserves]. *Lesnoj vestnik – Forestry Bulletin*, no. 3, pp. 88-95.

Koukhtha A.E., Titkina S.N. 2005. Klimatogennye kolebaniya linejnogo prirosta yuvenil'nyh rastenij sosny obyknovennoj v model'nyh drevostoyah v Penzenskoj oblasti [Climatogenic Fluctuations of Linear Growth of Juvenile Plants of Scots Pine in Model Stands in the Penza Region]. *Problemy Ekologicheskogo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem – Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XX, pp. 251-261.

Letopis' prirody Central'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Knigi 22-59 (1982-2019) [Nature chronicle of the Central Forest state natural biosphere reserve. Books 22-59 (1982-2019)]. Arhiv zapovednika (Rukopisi). Pos. Zapovednyj: Central'no-Lesnoj gosudarstvennyj zapovednik, 1982-2019 [Archive of the reserve (Manuscripts). Settlement Zapovedny: Central Forest State Reserve, 1982-2019].

Mandel' I. D. 1988. *Klasternyj analiz* [Cluster Analysis]. Moscow, 176 p.

Minin A.A., Gorbunov S.M. 1995. *Korrelyatsionnyye svyazi mezhdu nekotorymi fenologicheskimi yavleniyami* [Correlation links between some phenological phenomena]. *Izvestiya RGO – Bulletin of the Russian Geographical Society*, vol. 127, no. 1, pp. 82-85.

Minin A.A. 2011. Nekotorye aspekty vzaimosvyazej nazemnyh ekosistem s izmenyayushchimsya klimatom [Some aspects of the relationship of terrestrial ecosystems with a changing climate]. *Uspekhi sovremennoj biologii – Advances in modern biology*, vol. 131, no. 4, pp. 407-415.

Minin A.A., Ran'kova E.Ya., Rybina E.G., Bujvolov Yu.A., Sapel'nikova I.I., Filatova T.D. 2017. Fenoindikaciya izmenenij klimata za period 1976-2015 gg. v central'noj chasti evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataya (povislaya) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), cheremuha obyknovennaya (*Padus avium* Mill.), ryabina obyknovennaya (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaya (*Tilia cordata* Mill.) [Phenoindication of climate changes for the period 1976 - 2015 in the central part of the European territory of Russia: warty birch (hanging) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.), common mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXVIII, no. 3, pp. 5-22. DOI 10.21513/0207-2564-2017-3-5-22.

Minin A.A., Ananin A.A., Bujvolov Yu.A., Larin E.G., Lebedev P.A., Polikarpova N.V., Prokosheva I.V., Rudenko M.I., Sapel'nikova I.I., Fedotova V.G., Shujskaya E.A., Yakovleva M.V., Yancer O.V. 2020. Rekomendacii po unifikacii fenologicheskikh nablyudenij v Rossii [Recommendations for the unification of

phenological observations in Russia]. Nature Conservation Research. *Zapovednaya nauka – Nature Conservation Research, Conservation Science*, vol. 5, no. 4, pp. 89-110. URL: <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2020.060>.

Minjaev N.A., Konechnaja G.Ju. 1976. *Flora Central'no- Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika* [Flora of the Central Forest State Natural Biosphere Reserve]. Leningrad, 104 p.

Plantarium: otkrytyj onlajn atlas-opredelitel' rastenij i lishajnikov Rossii i sopredel'nyh stran 2007-2020. [Plantarium: Free Online Atlas of Plants and Lichens in Russia and Neighboring Countries]. Available at: <http://www.plantarium.ru/>. (Accessed 21.03.2020).

Preobrazhenskij S.M., Galakhov N.N. 1948. *Fenologicheskie nablyudeniya. Rukovodstvo* [Phenological observations. The manual]. Moscow, 159 p.

Rysin L.P.1982. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest Typology in the USSR]. Moscow, 217 p.

Solov'ev A.N. 2020. Korrelyacionnye svyazi dat nastupleniya sezonnyh yavlenij [Correlation between the dates of the onset of seasonal phenomena]. *Izvestiya RAN. Ser. Biologicheskaya – Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Ser. Biological*, no. 1, pp. 105-112.

Solov'ev A.N. 2015. *Klimatogennaya i antropogennaya dinamiki bioty v menyayushchihsya ekologicheskikh usloviyah vostoka Russkoj ravniny* [Climatogenic and anthropogenic dynamics of biota in the changing ecological conditions of the east of the Russian Plain]. Doctor's thesis. Petrozavodsk, 22 p.

Chernogaeva G.M., Koukhta A.E. 2018. Otklik boreal'nyh drevostoev na sovremennye izmeneniya klimata na severe Evropejskoj chasti Rossii [Response of Boreal Stands to Modern Climate Changes in the Northern European Part of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, no. 6, pp. 111-119.

Shul'c G.Je. 1981. *Obshhaja fenologija* [General phenology]. Leningrad, 188 p.

Shherbinovskij N.S. 1947. *Sezonnye javlenija v prirode* [Seasonal phenomena in nature]. Moscow, 146 p.

Central'no-Lesnoj zapovednik. [Central-Forest Reserve]. Available at: http://clgz.ru/?page_id=2803. (accessed 20.03.2020).

Central'no-Lesnoj zapovednik. [Central-Forest Reserve]. Available at: http://clgz.ru/?page_id=2896. (accessed 20.03.2020).

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.

Misi D., Puchalka R., Pearson Ch., Robertson I., Koprowski M. 2019. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: a Case Study from Poland and Hungary. – Forests. Vol. 10(3), p. 243. Available at: <https://doi.org/10.3390/f10030243>.

Ovaskainen O., Meyke E., Lo C. et al. 2020. Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. – *Scientific Data* 7, 47, pp. 1-11. URL: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0376-z>.

Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhailenko V., Matskovsky V. 2016. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium. – *Global and Planetary Change*, vol. 140, pp. 28-58. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.