

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ СРОКОВ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЗАПОВЕДНИКА СТОЛБЫ В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

¹Т. М. Овчинникова, ¹В.А.Фомина, ²Е.Б. Андреева,
²Н.П. Должкова и ¹В.Г. Суховольский

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок, 50, e-mail: ovchinnikova_tm@mail.ru

²ФГУ Государственный заповедник «Столбы»
660006 Красноярск, ул. Карьерная, 26а

На основании статистического анализа данных наблюдений за фенологическими событиями весны древесных растений было установлено, что в последние два десятилетия в заповеднике Столбы Красноярского края наблюдается более раннее начало вегетации. Полное развертывание листовой пластинки в заповеднике наступает раньше на две декады у сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) и кедра сибирского (*Pinus sibirica*), приблизительно на одну декаду у остальных древесных пород: пихты сибирской (*Abies sibirica*), ели сибирской (*Picea obovata*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), осины (*Populus tremula*), березы повислой (*Betula pendula*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи (*Padus avium* Mill.). Более ранние сроки полного раскрытия листовой пластинки вызваны не только более ранним началом весенних фенофаз, но и более быстрым их прохождением. С помощью анализа канонических корреляций установлена связь фенодата с температурным режимом мая для хвойных и апреля для лиственных. Показано, что смещение начала вегетации хвойных отражает имеющееся в последние десятилетия потепление климата весеннего периода.

Ключевые слова: фенология, климат, заповедник «Столбы»

Based on statistical analysis of observation data for phenological events in spring of woody plants was found that in the past two decades in the Reserve "Stolby" (Krasnoyarsk region) observed earlier onset of vegetation. Full deployment of the foliage in reserve comes first in 20 days in pines *Pinus silvestris* and *Pinus sibirica*, approximately 10 days of the rest of tree species: fir (*Abies sibirica*), spruce (*Picea obovata*), larch (*Larix sibirica*), aspen (*Populus tremula*), birch (*Betula pendula*), rowan (*Sorbus sibirica*), wild cherry (*Padus avium* Mill.). Earlier periods of full disclosure of leaves caused not only by the earlier onset of spring phenophase but more rapid their passage. Through an analysis of canonical correlations established relationship fenodate with temperature of May for conifers and April for deciduous. It is shown that the shift reflects the beginning of growth of conifers available in the past decade warming of the spring period.

Key words: phenology, climate, reserve "Stolby"

ВВЕДЕНИЕ

Анализ закономерностей фенологической динамики развития растений представляет значительный интерес, так как данные о фенологическом развитии потенциально могут содержать информацию как о механизмах влияния на растения внешних модифицирующих факторов (в частности, погодных факторов), так и о регуляторных процессах в самом растении (Данилевский, 1961; Серебряков, 1966; Аксенова и др., 1973; Шульц, 1981; Battey, 2000; Жмылев и др., 2005).

Всплеск интереса к фенологии растений в последние десятилетия связан с исследованиями в области глобального потепления климата. Анализ трендов в периодических событиях растительного и животного мира может выступать не только как хороший биоиндикатор климатических изменений, но также как количественный показатель воздействия потепления на биосистемы. Действительно, при потеплении и росте весенних температур критические температуры или суммы накопленных температур, необходимые для начала вегетации, будут достигнуты в более ранние сроки. Эти предположения за последние годы проверялись в различных географических зонах и для разных растений.

Наблюдаемые сдвиги в сроках весенних фенофаз в первую очередь связывают с температурой предшествующих месяцев. Например, в Европе были проанализированы фенологические наблюдения 542 видов растений в 21 стране в 1971 – 2000 гг. (Menzel et al., 2006). В результате исследований была обнаружена достоверная зависимость сроков фенофаз от температуры предшествующих месяцев, в среднем за последние десятилетия весенние события наступают на 2,5 дня раньше на 1°C повышения температуры. Практически во всех заповедниках России в обязательном порядке ведутся так называемые "Календари природы", в которых регистрируется разного рода фенологическая информация. Наблюдения за фенологическими событиями жизни растений, проводимые в заповедниках России, также указывают на изменение дат наступления этих событий. Так, на территории Приокско-Террасного заповедника в 1961-1990 гг. для фенологических событий начала весны характерно статистически достоверное смещение их наступления к более ранним датам. На 19 суток стало раньше наступать сокодвижение у березы бородавчатой. В то же время наиболее характерные события периода разгара весны, такие, как распускание листьев у березы бородавчатой и зацветание черемухи обыкновенной, не продемонстрировали существенных тенденций к направленным изме-

нениям, а события окончания весны и предлетья, такие, как зацветание сосны обыкновенной и рябины обыкновенной, стали наблюдаться позже на 13 и 6 суток соответственно (Осипов и др. 2001). В Тебердинском заповеднике в последнее время у многих видов древесно-кустарниковых растений отмечаются тенденции к более ранним срокам наступления весенних фенофаз, однако осенние сроки наступления некоторых фенофаз часто не обнаруживают четких изменений, которые можно было бы ожидать в связи с изменением климата (Онищенко и др., 2001). В Ильменском заповеднике в 1970–1999 гг. смещение событий зацветания растений к более ранним датам отмечено у сосны обыкновенной (событие пыления — 5 суток) и черемухи обыкновенной (2 суток). Сроки событий начала зеленения и сокодвижения у берез остались неизменными (Гордиенко, 2001). По результатам фитофенологических наблюдений в Хинганском заповеднике (Среднее Приамурье) показано, что в период с 1978 по 2002 гг. потепление климата сказалось преимущественно на установлении весенних и осенних фенофаз растений в более ранние и более поздние сроки соответственно. При этом потепление практически не отразилось на сроках наступления фенофаз в летний период. В целом можно говорить о тенденциях к увеличению продолжительности периода вегетации на 7–15 дней (Парилова и др., 2006). Недостаточное количество данных фенологического мониторинга по Азиатской части территории России не позволяет провести подобный анализ для всей территории страны. Однако некоторая информация была получена расчетными методами, используя имеющиеся данные о зависимости сроков наступления фенологических событий у растений со значениями гидрометеорологических величин. Было показано, что сдвиг фенодат имеет различное направление в разных регионах, несмотря на повсеместное (кроме некоторых полярных областей) среднегодовое потепление (Семенов и др., 2006). Таким образом, несмотря на потепление, произошедшее на территории страны в конце XX века, повсеместного ожидаемого сдвига фенологических дат наземных растений не произошло. Причину этого многие исследователи видят в существенной нелинейности отклика растений на изменение климата (Минин, 1991; Ведюшкин и др., 1995; Семенов и др., 2004). Наша работа посвящена анализу наблюдений за фенологическими событиями весны у древесных растений в заповеднике Столбы (Красноярский край), оценке достоверности фенологических сдвигов и сопряженности этих сдвигов с изменениями климатических данных. Таким образом, работа дополняет данные фенологического мониторинга по Азиатской части территории России.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория заповедника «Столбы» расположена вблизи пригородов Красноярска, в непосред-

ственной близости к правому берегу Енисея (55°38' - 55°58' с.ш. и 92°38' - 93°05' в.д.). Заповедник находится на Куйсумском хребте Манского Белогорья в системе хребтов Восточного Саяна. Более 70 % территории заповедника — среднегорье (500-800м), менее 30 % занимает низкорослая часть (200-500м).

Заповедник «Столбы» находится на стыке трех ботанико-географических районов: Красноярская лесостепь, горная тайга Восточных Саян и подтайга Средне-Сибирского плоскогорья. Среди лесообразующих пород преобладают сосняки (41 %) и пихтаци (28 %).

Фенологические наблюдения проводятся на территории заповедника с даты основания до настоящего времени, в соответствии с методикой Филонова (Филонов, Нухимовская 1985). Для данной работы использовался непрерывный ряд (1980 - 2008 гг) фенологических наблюдений в среднегорье вблизи метеостанции «Столбы» и разрозненные данные «Календарей природы» с 1952 по 1980 гг. Данные по фенологии были собраны сотрудниками заповедника Е. А. Крутовской, Т. Н. Буториной, Е. Дельбер, с 1995 года Должковой Н. П. Для анализа климатической ситуации в этом районе использовались данные метеостанции «Столбы».

Систематические метеорологические наблюдения в заповеднике Столбы ведутся с 1927 г., с 1935 г. стали фиксировать данные четырех сроков наблюдения в течение суток. За последние десятилетия среднегодовые и среднемноголетние температуры воздуха отчетливо показывают тенденцию к увеличению (Фокина и др., 2006). Минимальные значения среднегодовой температуры воздуха за последние 75 лет наблюдались в 1937 г. и соответствовали -2,7 °C, а максимальные в 1997 г. - +2,8 °C. Самое большое потепление за данный период зафиксировано с 1993 по 2003 гг., когда среднегодовая температура изменилась от 0,3 до 0,9 °C (Фокина и др., 2006). Наблюдается также увеличение числа безморозных дней, однако за указанный период не выявлено четкой тенденции изменения годового количества осадков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной статье мы рассматриваем этап весенней вегетации. Выбраны фенодаты начало разворачивания листы и полное разворачивание листы для следующих видов деревьев: пихты сибирской (*Abies sibirica*), ели сибирской (*Picea obovata*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), осины (*Populus tremula*), сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), березы повислой (*Betula pendula*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи (*Padus avium* Mill.).

Как видно из таблицы 1, друг за другом во второй половине мая распускаются черемуха, рябина, береза, лиственница и осина, затем в начале июня распускаются пихта и ель и во второй половине июня распускаются кедр и сосна.

Таблица 1 - Изменение сроков фаз для древесных растений заповедника Столбы за два последних десятилетия

Порода	Развертывание листы начало					Развертывание листы полное					
	I		II		p_1	I		II		p_2	Δ_1
	M_1	σ_1	M_1	σ_1		M_2	σ_2	M_2	σ_2		
Черемуха	18.май	7	15.май	8	0,153	01.июнь	7	22.май	8	4E-05	10
Рябина	20.май	7	19.май	9	0,699	03.июнь	6	24.май	9	2E-04	10
Береза	22.май	7	18.май	8	0,046	04.июнь	6	24.май	9	7E-05	11
Осина	28.май	7	21.май	8	0,003	07.июнь	6	26.май	8	6E-06	12
Лиственница	21.май	6	20.май	10	0,832	05.июнь	7	28.май	8	7E-04	9
Пихта	04.июнь	7	01.июнь	6	0,11	18.июнь	6	09.июнь	6	8E-06	9
Ель	04.июнь	8	02.июнь	6	0,53	18.июнь	8	09.июнь	6	4E-05	8
Сосна	16.июнь	9	05.июнь	8	2E-05	06.июль	14	13.июнь	9	6E-08	22
Кедр	20.июнь	8	05.июнь	7	2E-06	11.июль	11	13.июнь	10	2E-09	27

Примечание: I - временной период с1952-1989 гг. II - временной период с1990-2008 гг. M_i - усредненная фенодата за временной период; σ_i - стандартное отклонение за временной период, количество дней; p_i - уровень значимости различия между усредненными датами I и II периода. $i=1$ - начало развертывания листы; $i=2$ - полное развертывания листы; $\Delta_1 = M_2(I) - M_2(II)$ - смещение сроков полного распускания листы, количество дней.

Для анализа временных сдвигов фенодат в последние десятилетия имеющиеся данные были разбиты на 2 группы: I- с 1952 по 1989 г. и II – с 1990 по 2008 г. В таблице 1 приведены усредненные по группам весенние фенодаты для древесных растений заповедника Столбы. Статистически значимые по t-критерию Стьюдента отличия ($p_1 < 0,05$) в сроках начала распускания листы наблюдались у березы и осины, а также хвои кедра и сосны. У кедра, сосны, осины и березы фенодата «развертывание листы начало» наступила раньше на 14, 11, 6 и 4 дня соответственно. Фенодаты «развертывание листы полное» сдвинулись на более ранние сроки для всех исследованных пород (Δ_1), приблизительно на две де-

кады у сосны и кедра и на одну у остальных древесных пород. Сам факт более раннего начала вегетации, особенно в последние два десятилетия согласуется с исследованиями многих авторов (Walther et al., 2002), однако следует отметить уникальное смещение почти на месяц сроков полного развертывания листы для кедра и сосны (на 27 и 22 дня соответственно) в заповеднике Столбы. Более ранние сроки полного раскрытия листы вызваны не только более ранним началом весенних фенофаз, но и более быстрым их прохождением. Из таблицы 2 видно, что длительность периода от начала до полного развертывания листы (Δ_2) сократилась приблизительно на декаду у сосны и кедра и на неделю у других пород.

Таблица 2 - Изменение длительности весенних фаз для древесных растений заповедника Столбы за два последних десятилетия

Средних десятилетия				
Порода	Количество дней от начала до полного распускания листы		p	Δ ₂
	1952-1989 гг.	1990-2008 гг.		
Черемуха	13±6	7±5	1E-04	7
Рябина	13±7	5±3	3E-06	9
Береза	12±6	6±4	4E-05	6
Осина	10±5	5±3	7E-04	5
Лиственница	15±6	7±5	2E-05	8
Пихта	13±7	7±4	6E-05	6
Ель	14±8	7±6	4E-05	7
Сосна	19±11	8±6	2E-04	11
Кедр	20±11	8±5	0,001	12

Примечание: p – уровень значимости различия между средними двух временных периодов; Δ_2 - сокращение длительности периода от начала до полного развертывания листы, количество дней.

Рассмотрим более детально динамику изменения сроков наступления фенофаз в последние годы. Изменение сроков наступления фенофаз за период наблюдений с 1980 по 2008 г. имеет постепенный характер для хвойных пород деревьев (рис 1а). Для лиственных пород такая закономерность отсутствует (рис 1б). Из рассмотренного периода можно выде-

литель интервал с 1984 по 2002 г., когда наблюдалась линейная тенденция к ранним срокам распускания листы (табл. 3). Для хвойных пород существует статистически достоверная линейная тенденция наступления вегетации в более ранний срок в эти годы. Однако с 2003 г. эта тенденция не наблюдается.

Таблица 3 - Параметры линейной аппроксимации изменения сроков полного распускания листы в период с 1984-2002 г. для разных пород

Параметры линейного уравнения	Черемуха	Рябина	Береза	Осина	Лиственница	Пихта	Ель	Кедр	Сосна
Угловой коэффициент	-0,59	-0,38	-0,57	-0,55	-0,89	-1,52	-1,52	-1,89	-2,04
и стандартное отклонение	±0,30	±0,39	±0,35	±0,28	±0,29	±0,23	±0,22	±0,18	±0,27
Достоверность аппроксимации (R^2)	0,19	0,06	0,14	0,19	0,38*	0,73*	0,76*	0,87*	0,81*

Примечание: * Значимые согласно критерия Фишера (F-критерия) для уровня значимости $p = 0,05$.

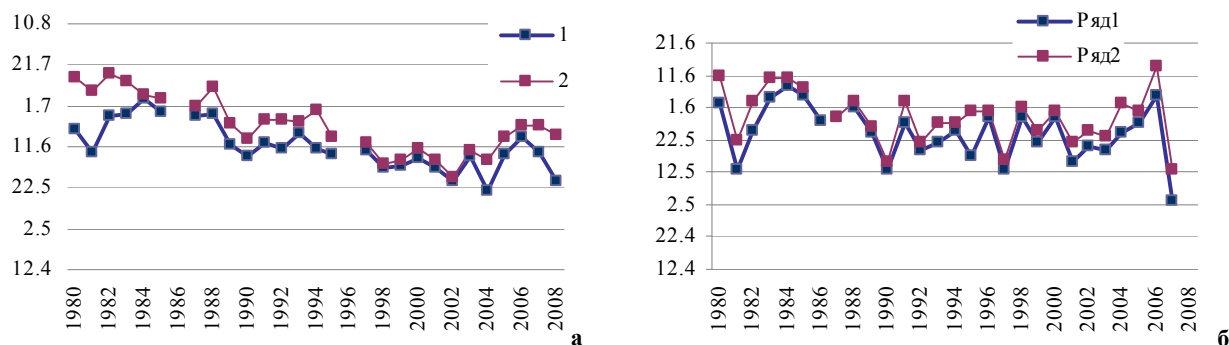


Рисунок 1 - Динамика изменения фенодат распускания хвой сосны (а) и листвы осины (б); 1-фенодата начал распускания; 2- фенодата полного распускания

Для достоверных линейных уравнений большие угловые коэффициенты от -0,89 у лиственницы до -2,04 у сосны свидетельствуют о значительном изменении сроков начала вегетации. Так, для сосны в среднем из года в год с 1984 по 2002 годы на два дня раньше наступало полное распускание хвой.

Для выявления возможных причин фенологических сдвигов были проанализированы климатические данные этого периода по метеостанции заповедника Столбы. Чаще всего для этого используют расчет парных корреляций между фенодатами и температурными показателями весенних месяцев (Chmielewski, Rötzer, 2001). Так, было показано существование взаимосвязи даты распускания сосны со среднемесячными температурами мая (Гордиенко и др., 2009) в Ильменском заповеднике. Для того, чтобы посмотреть совокупный эффект влияния весеннего сезона на процесс распускания древесных в заповеднике Столбы, мы провели канонический анализ. Рассматривая явление начала вегетации как период от распускания почек до раскрытия листвы, можно его характеризовать тремя фенодатами, которые фиксируются в «Календарях природы». Это даты распускания почек, начала распускания листвы и полного распускания листвы. Погодную ситуацию сезона характеризуют месяцы перехода к положи-

тельным температурам воздуха и месяцы начала вегетации. Это, в нашем случае, март, апрель, май и июнь.

Для анализа влияния одной совокупности факторов (погодных) на другую (фенодаты) используют метод канонических корреляций (Кендалл, Стьюарт, 1976).

Климатический сезон характеризуется среднемесячными значениями температур с марта по июнь (4 переменные). Фенологические события - фенодатами распускания почек, начала развертывания листвы и полного развертывания листвы (3 переменные).

В таблице 5 приведены результаты канонического анализа, выполненного в пакете STATISTICA 6,0 (Халафян, 2007).

При вычислении канонических корней STATISTICA подсчитывает собственные значения матрицы корреляций. Эти значения равны доле дисперсии, объясняемой корреляцией между соответствующими каноническими переменными. Корень квадратный из максимального собственного значения называют канонической корреляцией и интерпретируют как степень зависимости между двумя наборами переменных. Из таблицы 4 видно, что для всех пород канонические корреляции имеют большие значения (0,79-0,88) и достоверны (уровень значимости $p < 0,05$).

Таблица 4 - Результаты канонического анализа связи начала вегетации с погодными характеристиками весенних сезонов с 1980 по 2007

	Канонические корреляции, R	Уровень значимости, p	Канонические веса первой температурной переменной			
			март	апрель	май	июнь
Черемуха	0,86	3E-04	-0,11	-0,76	-0,50	-0,007
Рябина	0,87	1E-04	-0,20	-0,64	-0,62	-0,10
Береза	0,85	2E-04	0,01	-0,87	-0,39	-0,30
Осина	0,88	1E-04	-0,16	-0,68	-0,56	0,07
Лиственница	0,82	0,01	-0,21	0,85	0,34	0,21
Пихта	0,88	6E-05	-0,31	-0,25	-0,83	-0,25
Ель	0,83	7E-04	-0,20	-0,44	-0,77	-0,41
Сосна	0,79	0,024	-0,08	-0,33	-0,88	-0,16
Кедр	0,88	0,002	-0,19	-0,28	-0,88	-0,16

В этом случае можно рассмотреть веса первой канонической переменной погодных факторов. При анализе, обычно, пользуются тем, что чем больше приписанный вес (т.е., абсолютное значение веса),

тем больше вклад соответствующей переменной в значение канонической переменной. Из таблицы 4 видно, что для листопадных пород максимальные веса соответствуют в основном среднемесячным

температурам апреля и в меньшей степени мая. Для хвойных пород даты начала вегетации определяются температурами мая. Если учесть, что вегетация в заповеднике Столбы у лиственных пород начинается в начале мая, а у хвойных в начале июня (табл. 1), то подтверждается факт тесной взаимосвязи сроков весенних фенособытий с температурой предшествующих месяцев (Chmielewski, Rötzer 2001, и др.). Для определения момента начала вегетации растений достаточно часто предлагается использовать метод накопленных положительных температур (Горышина, 1979; Шульц, 1981; Культиасов, 1982; Лынов, 1986). Согласно этому методу, для начала той или иной фазы растению требуется определенный, из года в год одинаковый запас «накопленного» тепла. Считается, что сумма эффективных температур - видоспецифическая константа, которая отражает климатические условия формирования вида (Шнелле, 1961). Рассмотрим зависимость между исследуемыми фенодатами и суммами накопленных

положительных температур в заповеднике Столбы. Среднее значение за 1980-2008 гг. суммы положительных среднесуточных температур накопленных до даты распускания листвы для различных пород представлено в таблице 5.

Близкие значения накопленных положительных температур для пихты и ели, сосны и кедра, а также между листопадными породами объясняется сопряженностью фенодат для этих видов (табл. 1).

Как видно из таблицы 5, к дате начала распускания листвы черемухи на Столбах накапливается в среднем 186 градусов, а к дате распускания хвои сосны 495 градусов. Стандартные отклонения средних значений сумм положительных температур приблизительно одинаковы: 15-25 % для всех пород.

Большие дисперсии средних значений накопленных температур для всех исследованных видов не позволяют принять гипотезу о существовании констант тепла определяющих момент начала вегетации древесных на Столбах.

Таблица 5 - Среднее значение за 1980-2008 гг. суммы положительных среднесуточных температур накопленных до даты распускания листвы для различных пород

	Черемуха	Рябина	Береза	Лиственница	Осина	Пихта	Ель	Кедр	Сосна
До даты начала распускания листвы									
Сумма температур	185,8	234,5	218,3	241,4	244,1	386,5	387	456,4	465,4
Стандартное отклонение	46,57	70,04	39,05	53,45	42,56	58,72	69,35	104,6	110,9
До даты полного распускания листвы									
Сумма температур	259	279	289	330	312	471	477	521	537
Стандартное отклонение	52	47,1	60,2	65,2	57,6	81,3	87,6	128	111

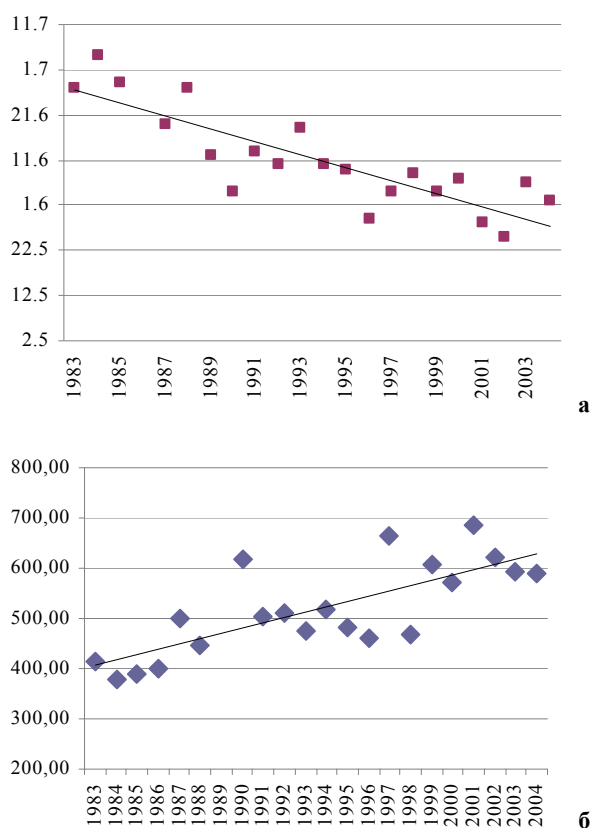


Рисунок 2 - Сравнительная динамика сроков распускания хвои кедра (а) и суммы положительных среднесуточных температур, рассчитанных на середину июня (б)

Метод накопленных положительных температур, в его классическом варианте не может быть использован для расчета фенодат по климатическим данным. Однако сумма положительных среднесуточных температур на определенную дату характеризует погодную ситуацию сезона. На рисунке 2б показано, что с 1984 по 2004 г. суммы положительных среднесуточных температур, рассчитанные на середину июня увеличивались приблизительно с 400 до 650 градусов. На рисунке 2а показано смещение сроков распускания хвои кедра на более ранние сроки за тот же период.

Точность линейной аппроксимации высокая, для изменения накопленного тепла $R^2=0,6$, а для изменения сроков начала вегетации $R^2=0,72$. Полученные зависимости позволяют утверждать, что весенние фенодаты сосны и кедра могут служить хорошим показателем, характеризующим изменение климата в весенне-летнем сезоне.

ВЫВОДЫ

1. В последние два десятилетия в заповеднике Столбы для кедра, сосны и осины фенодата «развертывание листвы начало» наступила раньше на 14, 11 и 6 дней соответственно. Полное развертывание листвы в заповеднике Столбы в последние два десятилетия наступает значительно раньше: на две декады у сосны и кедра и на одну у остальных древесных пород. Более ранние сроки полного раскрытия листвы вызваны не только более ранним

началом весенних фенофаз, но и более быстрым их прохождением.

2. Для хвойных пород существует статистически достоверная линейная тенденция наступления вегетации в более ранний срок в период с 1984-2002 годы. С 2003 года эта тенденция не наблюдается

3. Даты начала распускания деревьев хвойных пород в значительной степени коррелируют со средними температурами мая, в то время как даты начала распускания у лиственных деревьев в большей степени сопряжены со средними температурами апреля.

4. Большие дисперсии средних значений сумм ежедневных температур накопленных к дате распускания листвы для всех исследованных видов не позволяют принять гипотезу о существовании констант тепла, определяющих момент начала вегетации древесных на Столбах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Аксенова И.П., Баврина Т.В., Константинова Т.Н. Цветение и его фотопериодическая регуляция. М.: Наука. 1973. 294 с.
- Ведюшкин М. А., Колосов П. А., Минин А. А., Хлебопрос Р. Г. Климат и растительность суши: взгляд с позиций явления гистерезиса // Лесоведение. 1995. № 1. С. 3-14.
- Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина - М., Русский университет. 2001. 146 с.
- Гордиенко Н.С., Леванова Т.А. Анализ многолетних фенологических изменений природы Ильменского заповедника // Влияние изменения климата на экосистемы. под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина - М., Русский университет. 2001. Ч. II. С. 9-16
- Гордиенко Н.С., Соколов Л.В. Анализ долговременных изменений сроков сезонных явлений у растений и насекомых Ильменского заповедника в связи с климатическими факторами // Экология, 2009, №2, с. 96-102
- Горышина Т.К. Экология растений. - М.: Высшая школа, 1979. - 347 с.
- Данилевский А.С. Фотопериодизм и сезонное развитие насекомых. Л.: Изд-во ЛГУ, 1961. 243 с.
- Жмылев П.Ю., Жмылева А.П., Карпухина Е.А., Прилепский Н.Г., Рибан А., Шоттл А. Фенологическая пластичность растений и возможные механизмы изменения фенотипа в связи с потеплением климата: обсуждение результатов многолетних и краткосрочных наблюдений // Труды Звенигородской биологической станции. М., 2005. Т. 4. С. 154-165.
- Кендалл, Стьюарт. Многомерный статистический анализ и временные ряды. - М.: Наука, 1976. 736 с.
- Лынов Ю.С. Эколого-фенологические особенности цветения растений и растительных сообществ в среднегорье и высокогорье Западного Тянь-Шаня. Отдельный оттиск из 'Бюллетеня МОИП. Отд. биол.' 1986. Т.91, вып.2. М. Изд-во Московского ун-та 1986г. С.153-158с.
- Онищенко В.В., Салпагаров А.Д., Дега Н.С. Анализ гидрологических и фенологических данных северо-западного кавказа (Тебердинский заповедник) // Влияние изменения климата на экосистемы. под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина - М., Русский университет. 2001. Ч. II. С. 101-105
- Осипов И.Н., Реймерс А.Н., Рымкевич Ю.И. Сопряженный анализ многолетних климатических и биологических данных в Приокско-террасном заповеднике // Влияние изменения климата на экосистемы. под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина - М., Русский университет. 2001. Ч. II. С. 56-61
- Парилова Т. А., Кастрикин В. А., Бондарь Е. А. Многолетние тенденции сроков наступления фенофаз растений в условиях потепления климата (Хинганский заповедник, Среднее Приамурье) // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. - М., WWF России, 2006. С. 47-51
- Семенов С. М., Кухта Б. А., Гельвер Е. С. О нелинейности климатогенных изменений сроков фенологических явлений у древесных растений // Доклады РАН, - 2004.- Т. 396.- № 3.- С. 427-429.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С. Выявление климатогенных изменений. - М., Издательский центр "Метеорология и гидрология". - 2006.- 324 с.
- Серебряков И.Г. Соотношение внутренних и внешних факторов в годичном ритме развития растений: к истории вопроса // Ботан. журн. 1966. Т. 51. № 7. С. 923-938
- Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. Летопись природы в заповедниках СССР: Методич. пособ. М.: Наука, 1985. - 143с.
- Фокина Н.В., Лигаева Н.А., Андреева Е.Б., Должковая Н.П. Исследование климатических особенностей заповедника "Столбы" // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. - 2006. - №2. - С. 22-27.
- Халафян А.А. Статистика 6. Статистический анализ данных. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007, 512 с.
- Шнелле Ф. Фенология растений. Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 258 с.
- Шульц Г. Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. - 188 с.
- Batley N.H. Aspects of seasonality // J. Exper. Bot. 2000. V. 51. №352. P. 1769-1780.
- Chmielewski F.-M., Rötzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe // Agricultural and Forest Meteorology. 2001. V. 108. P. 101-112.
- Menzel A., Sparks T. H., Estrella N. et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern // Global Change Biology. 2006. V. 12. P. 1969-1976.
- Walther G.-R., PostE., Convey P. et al. Ecological responses to recent climate change // Nature. 2002. V. 416. P. 389-395.

Поступила в редакцию 21 февраля 2010 г.
Принята к печати 27 апреля 2011 г.