

ФЕНОЛОГИЯ БЕРЁЗЫ ПУШИСТОЙ (*BETULA PUBESCENS* ENRH.) В ГОРНОТАЁЖНОМ ПОЯСЕ ВИШЕРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

И.В. Прокошева

Государственный природный заповедник «Вишерский»,
Россия, 618590, Пермский край, г. Красновишерск, ул. Гагарина, 36Б; halsori@yandex.ru

Реферат. В статье анализируется динамика фенологической структуры вегетационного периода у берёзы пушистой в период 1995-2017 гг. на базе данных наблюдений в Вишерском заповеднике. Определены зависимости сроков наступления фенофаз у берёзы от климатических факторов: схода снежного покрова, режима температуры и увлажнения, суммы активных температур, гидротермического коэффициента, заморозков, а также тенденции сроков. Установлена достоверная связь между сроками фенологических фаз и некоторыми гидротермическими показателями среды, в частности, разрушением устойчивого снежного покрова, суммой активных температур. Анализ выполнен с помощью методов двумерной и многомерной статистики. Установлено, что длительность вегетации и её периодов: начального, основного и окончания – стабильны, несмотря на динамичную межгодовую изменчивость сроков наступления фенофаз. Все отклики укладываются в норму реакции вида на климатические изменения.

Ключевые слова. Фенология берёзы, период вегетации, климатические показатели, активная температура, фенологические тенденции.

Введение

Берёза имеет широкое распространение на территории России, и наблюдения за её сезонным развитием входят в программы ведения Календарей природы большинства особо охраняемых природных территорий и сети добровольных наблюдателей Русского географического общества. Фитофенологические события являются откликами на гидрометеорологические условия (Шульц, 1981; Вопросы составления..., 1986; Соловьёв, 2005; Минин, Воскова, 2014; Минин и др., 2016; Минин и др., 2017). Продолжительность жизни листвы определяется также генетическими факторами (Шульц, 1981; Белова, Бабкина, 2017). Если весной термический фактор в значительной мере определяет ход сезонных процессов, то летом его роль снижается. Фотопериодизм, реакция живых организмов на длину светового дня в сочетании с режимом увлажнения и накопления тепла становятся ведущими факторами в сезонной изменчивости биоты (Шульц, 1981). Поэтому термические и фенологические рубежи этапов вегетации тесно связаны весной и теряют связь между собой осенью.

Исследования авторов (Соловьёв, 2005; Гордиенко, Минин, 2006; Минин, Воскова, 2014; Сапельникова, 2015; Васина, Таланова, 2015; Берлина, Зануздаева, 2016; Минин и др., 2016; Минин и др., 2017; Прокошева, 2017; Прокошева, 2018) показывают смещение к более ранним срокам фазы распускания листьев у берёзы. Эти же авторы отмечают сдвиг на более поздние сроки метеорологических явлений, знаменующих начало осенних процессов, но по срокам фитофенологических событий фиксируют разные тенденции.

Заповедник «Вишерский» представляет природные комплексы западного макросклона Северного Урала. Феноклиматические исследования проводились в горнотаёжном подпоясе темнохвойной тайги. База основных наблюдений расположена на высоте 460 м над ур. м. Анализ динамики фенологических процессов под влиянием изменения климата на этой территории в период 1983-2016 гг. выполнен ранее (Прокошева, 2017). В данной работе рассматриваются сезонные процессы вегетации берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), распространенной в лесах горнотаёжного пояса, за период 1995-2017 гг. Задача данной работы – определить основные климатические показатели, достоверно влияющие на фенологические фазы вегетационного периода у берёзы и на их тенденции.

Методы и материалы

Исходными данными послужили материалы наблюдений, выполненных в рамках ведения Летописи природы заповедника, на базе собственного метеопоста с 1995 года. Наблюдения за природными явлениями стали регулярными со второй половины 1994 года, измерение осадков – с 1998 года.

Для анализа приняты следующие фенофазы: начало сокодвижения, разverzание почек, начало развёртывания листьев, полное развёртывание листьев, появление первых жёлтых листьев в кроне (до 5% пожелтения), первые «жёлтые флаги» (10-15% пожелтения), начало массового окрашивания (30% пожелтения), массовое пожелтение (более 75%), массовый листопад (более 50%) и массовое оголение кроны берёзы. Период от момента пробуждения берёзы после зимнего покоя до полного её оголения назван периодом вегетации 1. Интервал между началом зеленения и концом листопада у берёзы принят за период вегетации 2. Отрезок между началом сокодвижения и появлением полного листа относится к начальному периоду цикла вегетации (Вопросы составления..., 1986; Соловьёв, 2005). Основной период вегетации (летней вегетации) представляет интервал между полным разворачиванием листа и началом изменения окраски листьев (10-15% пожелтения, называемых часто «желтыми флагами»). Фаза полного листа обычно достигается в субсезон предлетья, фаза летней вегетации охватывает весь сезон лета. Появление первых желтых листьев (менее 5%) включается в состав летней вегетации. Период окончания вегетации включает фазы отмирания вегетативных органов, выражающиеся в постепенном окрашивании листвы, листопаде и оголении деревьев.

В качестве предикторов использованы такие климатические показатели, как средняя температура и сумма осадков за месяц и сезон, дата разрушения устойчивого снежного покрова (УСП), сумма активных температур, характеризующая теплообеспеченность, и гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК), показывающий уровень влагообеспеченности территории и учитывающий соотношение суммы осадков и суммы температур за определённый период (Шульц, 1981).

Для выявления сочетания факторов, влияющих на процесс развития листвы берёзы, выполнены расчёты следующих показателей:

– даты устойчивых переходов средней суточной температуры воздуха через пороговые значения, близкие к наступлению рассматриваемых фенофаз, а именно: 3, 5, 8, 10°C в сторону повышения и через 15, 12, 10, 8 и 5°C в сторону понижения;

– дата разрушения устойчивого снежного покрова;

– температура сезонов зимы, весны и лета;

– суммы активных температур и гидротермические коэффициенты для периодов с температурой воздуха выше пороговых значений 5, 8 и 10°C;

– температура и ГТК для субсезонов зеленой весны и предлетья;

– ГТК для летнего фенологического сезона и его этапов, для начального этапа осени;

– число и величина заморозков в летний сезон и на этапе начальной осени;

– суммы осадков и их интенсивности для месяцев с мая по сентябрь;

– продолжительность безморозного периода.

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через указанные рубежи определялись согласно методическим указаниям (Руководящий документ..., 2010).

Для статистических расчётов применялись пакеты Statistica v.6.0. и Excel 2007. Из методов двумерной статистики использован линейный регрессионный анализ с построением линии тренда, вычислением коэффициента корреляции r , коэффициента детерминации R^2 и вероятности ошибки P . Коэффициент R^2 показывает, какая часть изменчивости изучаемой переменной объясняется изменением того или иного фактора, в том числе фактора времени. Он не имеет положительного или отрицательного знака, поэтому используемые в таблицах знаки «+» и «-» перед R^2 добавляют информацию о направленности тренда: возрастающий или убывающий. Отсутствие знака означает неизменность хода средней величины. Параметр P – вероятность ошибки принятия гипотезы о незначимости показателя тренда R^2 . Показатели тренда, значимые на 95%-ном уровне и выше, в таблицах выделены жирным шрифтом. Для выявления главных предикторов, определяющих сроки наступления фенофаз, применён метод многомерной статистики – факторный анализ. Этот метод позволяет определить структуру взаимосвязей между многочисленными переменными и выделить из них главные. Фактор является линейной комбинацией двух и более переменных и определяет связи между ними. Его нельзя измерить непосредственно, но можно оценить статистическими методами (Халафян, 2007). В нашем случае переменными являются как

сроки наступления фенологических фаз, так и характеристики гидротермического режима среды, и время.

Результаты и обсуждение

Согласно методическим работам (Вопросы составления..., 1986; Филонов, Нухимовская, 1990), рубежом вегетационного периода является начало безморозного периода (устойчивый переход минимальной температуры воздуха (T_{\min}) выше 0°C). В горнотаёжном районе заповедника сокодвижение у берёзы происходит при продолжающихся морозных ночах. Безморозный период наступает чаще всего на этапе зелёной весны. В исследованиях (Гордиенко, Минин, 2006; Минин и др., 2017) за начало периода вегетации принимается устойчивый переход температуры через 5°C , как генерализованная граница начала активной жизнедеятельности биоты (Шульц, 1981), а событию начала разворачивания листьев у берёзы соответствует переход через 10°C . Наше исследование показывает, что фаза зеленения берёзы гораздо теснее связана с температурным рубежом 8°C (табл. 1), а устойчивому переходу температуры через 10°C соответствует фаза развёртывания полного листа. Устойчивый переход среднесуточной температуры выше 5°C в условиях горнотаёжного района происходит в середине мая, по средней дате очень близко к событию разверзания почек у берёзы, но эта фаза сильнее связана с температурным рубежом 3°C и с разрушением устойчивого снежного покрова (табл. 2). Переход через рубеж 3°C знаменует начало субсезона голой весны, когда начинается вегетация (по сокодвижению у берёзы), разрушается УСП, горные реки очищаются ото льда, вылетает бабочка-крапивница, зацветают средневесенние виды растений.

Таблица 1. Статистическая связь фенофаз с устойчивыми переходами температуры

Фенологическая фаза у берёзы	Дата фенофазы	Дата устойчив. перехода, T	Коэффициент корреляции, r
Начало сокодвижения	01.05	03.05 ($>3^{\circ}\text{C}$)	0.72
Разверзание почек	16.05	03.05 ($>3^{\circ}\text{C}$)	0.81
		17.05 ($>5^{\circ}\text{C}$)	0.53
Начало развёртывания листьев	26.05	17.05 ($>5^{\circ}\text{C}$)	0.68
		23.05 ($>8^{\circ}\text{C}$)	0.92
Полное развёртывание листьев	08.06	03.06 ($>10^{\circ}\text{C}$)	0.68
Первые желтые листья ($<5\%$)	26.07	31.07 ($<15^{\circ}\text{C}$)	-0.10
Пожелтение 10-15%	11.08	14.08 ($<12^{\circ}\text{C}$)	-0.11
Начало массового пожелтения (30%)	19.08	14.08 ($<12^{\circ}\text{C}$)	-0.07
		22.08 ($<10^{\circ}\text{C}$)	0.03
Массовое окрашивание ($>75\%$)	01.09	04.09 ($<8^{\circ}\text{C}$)	0.08
Массовый листопад ($>50\%$)	11.09	04.09 ($<8^{\circ}\text{C}$)	0.04
Массовое оголение кроны ($>75\%$)	24.09	23.09 ($<5^{\circ}\text{C}$)	-0.28

Весной устойчивые переходы температуры в сторону повышения тесно коррелируют с фенологическими рубежами. Даты вступления в осенние фенофазы у берёзы, близкие к средним датам температурных переходов в сторону понижения, связи с ними практически не имеют.

Развертывание листа берёзы в сильной степени зависит от температуры весны и особенно мая (табл. 2). На месяц май приходятся важные субсезоны весны: голая (оживление) и зелёная весна. Субсезоны зелёной весны и предлетья рассматриваются вместе, поскольку этап предлетья в 52% от числа лет наблюдений сливается либо с перволетьем, либо с зелёной весной. Фаза полного листа тесно связана со средней температурой мая (уровень значимости $P = 0.0003$), с ГТК мая ($P = 0.0042$) и со средней температурой июня ($P = 0.0384$). Чем больше осадков и ниже температура в период зелёной весны и предлетья, тем позднее и дольше разворачивается полный лист. От срока разрушения УСП начало зеленения берёзы и появление полного листа зависят также сильно ($P = 0.0009$ и 0.0035).

Фаза появления первых желтых листьев имеет большой разброс в датах, зависит от температуры второй, в среднем самой жаркой и сухой, декады июля ($r = -0.51$). Часто после дождей эти листья опадают, и деревья вновь стоят полностью зелёные. Такой же силы ($r = -0.51$) отмечается связь с суммой активных температур при пороговом значении 5°C (табл. 2). Ещё больше межа зависит от режима увлажнения в мае: чем больше осадков и прохладнее месяц, тем позднее можно ожидать появления жёлтых листьев.

Начало массового пожелтения (30%) в определённой степени зависит от суммы осадков в сезон лета ($P = 0.0329$, табл. 2). Экстремальное количество осадков может ускорить окрашивание. В 2012 году выпала наибольшая сумма осадков за лето (342 мм), и указанная фаза наступила на 8 дней раньше. В 2017 году выпало также аномально большое количество осадков в июне-июле, но начало массового отмирания листвы произошло на 4 дня позднее. В 2012 году развертывание первых листьев началось на неделю раньше среднего срока, а в 2017 – на две недели позднее, и количество активного тепла в 2017 году было существенно меньше. В 2006 году в сезон лета ГТК имел максимальную величину (4.25), сумма осадков составила 323 мм, распускание листьев началось на 7 дней позднее среднего срока, начало массовой окраски листвы отмечено на 3 дня раньше срока. То есть, нет однозначной связи, фенологический отклик осенью зависит от разных сочетаний и очередности метеоусловий, от сроков зеленения берёзы и накопления активного тепла. С интенсивностью и суммой осадков отдельно по месяцам с июня по сентябрь существенной связи процесса пожелтения не обнаружено (r от -0.16 до $+0.15$). От числа заморозков в летний сезон сроки изменения окраски листвы зависят слабо (r от -0.05 до $+0.34$). Наименьший разброс в датах имеет фаза массового окрашивания листвы. Эта межа в некоторой степени зависит от числа ($r = -0.33$) и от величины заморозков в августе ($r = +0.30$). Чем больше число и сила заморозков, тем раньше может наступить событие. Заморозки в августе имеют тенденцию к усилению (табл. 3).

Таблица 2. Статистические характеристики и корреляционные связи фенологических фаз у берёзы пушистой с климатическими показателями

Параметр	Начало сокодвижения	Развержение почек	Начало развёртыв. листа	Полное развёртыв. листа	Процент пожелтения листвы			Листопад >50%	Оголение >75%
					<5%	10-15%	30%		
Число лет наблюдений	23	20	23	23	19	22	22	21	23
Средняя дата	01.05	16.05	26.05	08.06	26.07	11.08	19.08	02.09	24.09
Станд. отклон., дни	11.1	9.9	8.8	8.6	9.6	4.1	4.5	3.1	3.3
Средняя T зимы, °C, r	0.07	-0.17	-0.23	-0.15	-0.12	0.25	0.03	-0.27	-0.30
Средняя T весны, °C, r	-0.33	-0.46	-0.51	-0.57	-0.001	-0.46	-0.31	-0.32	-0.38
Средняя T мая, °C, r	*	-0.69	-0.89	-0.76	-0.50	-0.41	-0.44	-0.68	-0.73
Сумма осадков мая, r	*	0.006	0.16	0.10	0.59	0.35	-0.04	0.21	0.32
ГТК мая, r	*	0.64	0.73	0.61	0.66	0.40	0.38	0.58	0.63
Дата разрушения УСП, r	0.70	0.88	0.64	0.58	0.32	0.44	0.31	0.32	0.58
ГТК зел.весна+пределья, r	*	*	0.05	0.42	0.55	0.37	-0.03	0.15	0.46
ГТК сезона лета (T выше 12°C), r	*	*	*	*	-0.16	-0.02	-0.40	0.003	-0.13
ГТК этапа полного лета (T выше 15°C), r	*	*	*	*	+0.18	+0.02	-0.19	+0.42	0.21
ГТК этапа спада лета, r	*	*	*	*	-0.25	-0.02	-0.32	-0.37	-0.23
ГТК периода T выше 10°C, r	*	*	*	*	-0.08	-0.006	-0.32	0.19	-0.22
Сумма активной T выше 10°C, r	*	*	*	*	-0.36	-0.36	-0.24	-0.45	-0.18
Сумма активной T выше 8°C, r	*	*	-0.48	-0.41	-0.57	-0.48	-0.42	-0.65	-0.35
Сумма активной T выше 5°C, r	*	*	0.19	-0.39	-0.51	-0.54	-0.62	-0.67	-0.50
Сумма осадков сезона лета, r	*	*	*	*	-0.31	-0.16	-0.48	-0.05	-0.18
Начало зеления берёзы, r	*	*	1.00	0.84	0.42	0.38	0.31	0.56	0.65
Заморозки августа, °C, r	*	*	*	*	*	0.21	0.06	0.30	-0.03
Знак тренда и R ²	-0.0289	+0.0417	-0.0122	-0.0027	-0.0048	-0.0468	-0.0309	-0.0623	-0.0022
Вероятность ошибки P	0.4379	0.3880	0.6164	0.8150	0.7790	0.3464	0.4339	0.2626	0.8400

Примечания: * – фактор не является предиктором для фенофазы.

Полужирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты.

Таблица 3. Статистика термических рубежей, периодов действия активных температур и длительности вегетации у берёзы в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (1995-2017 гг.)

Параметр	Число лет наблюдений	Среднее значение	Стандарт. Отклонение	Знак тренда и R^2	Вероятность ошибки P
Т сут выше 3°C	23	03.05	12.6	+0.0153	0.5743
Т сут выше 5°C	23	17.05	10.6	-0.0045	0.7622
Т сут выше 8°C	23	23.05	10.2	-0.0629	0.2485
Т сут выше 10°C	23	03.06	9.8	-0.0124	0.6131
Т сут выше 12°C	23	14.06	6.7	+0.0858	0.1749
Т сут выше 15°C	23	30.06	12.2	+0.0310	0.4219
Т сут ниже 15°C	23	31.07	11.8	0.0000	0.9774
Т сут ниже 12°C	23	14.08	10.2	+0.1675	0.0525
Т сут ниже 10°C	23	22.08	11.2	+0.0287	0.4398
Т сут ниже 8°C	22	04.09	7.3	-0.0169	0.5639
Т сут ниже 5°C	23	23.09	11.1	-0.0011	0.8824
Тсут >5°C, сумма	21	1433.5	179.8	0.0000	0.9893
Тсут >5°C, дни	23	128	16.5	+0.0079	0.6859
Тсут >10°C, сумма	22	1015	216.2	+0.0027	0.8180
Тсут >10°C, дни	23	81	12.7	+0.0607	0.2572
Тмин > 0°C, дни	23	133	14.0	+0.0016	0.8570
Дата разрушения УСП	23	12.05	10.9	+0.0324	0.4109
Заморозки в августе, °C	21	-7.2	4.8	-0.0399	0.1998
Длительность периода вегетации 1, дни	23	146	9.6	-0.0017	0.8539
Длительность периода вегетации 2, дни	23	122	6.7	-0.0026	0.8179
Длительность начального периода вегетации 1, дни	23	38	9.4	+0.0014	0.8673
Длительность основного периода вегетации, дни	22	64	8.1	-0.0006	0.9120
Длительность периода окончания вегетации, дни	22	44	4.5	-0.0146	0.5826

Со средней температурой августа связь слабая и обратная ($r = -0.33$), с осадками месяца – очень слабая и прямая ($r = +0.13$). Связь средней силы отмечается между фазой и ГТК этапов полного лета ($r = +0.42$) и спада лета ($r = -0.37$). Например, в 2004 году ГТК полного лета 0.15, спада лета 3.31, глубина заморозков в августе -15.2°C, дата начала золотой осени 28.08, на 5 дней раньше средней даты. В 2013 году ГТК полного лета 3.1, спада лета 0.85, сила заморозков в августе -0.3°C, дата начала золотой осени 06.09, на 4 дня позднее среднего срока. Не во все годы проявляются такие очевидные связи с гидротермическим коэффициентом.

Между датой начала разворачивания листьев у берёзы и сроками всех её осенних межей отмечается прямая зависимость, усиливающаяся к фазам массовой окраски и оголения. Все осенние и весенние фазы развития берёзы имеют недостоверно направленные изменения в сторону более раннего наступления, кроме межи разверзания почек, имеющей также недостоверный положительный тренд (табл. 2).

По срокам осенних фенологических явлений авторы фиксируют разные тенденции. Фаза массового пожелтения листьев берёзы имеет достоверную направленность к более поздним срокам в Воронежском заповеднике (центральная часть ЕЧР) по сравнению с началом 40-х годов 20-го века (Сапельникова, 2015). Небольшой положительный тренд в наступлении этой фазы имеется в северном Зауралье, за такой же период времени (Васина, Таланова, 2015). В Лапландском заповеднике (северная часть ЕЧР) с 1959 по 2015 гг. наблюдается стабильность в сроках массового пожелтения, но в последнее 20-летие – положительная направленность с малой статистической значимостью, а окончание листопада достоверно сместилось к более ранним срокам (Берлина, Зануздаева, 2016). В Ильменском заповеднике (Южный Урал) (Гордиенко, Минин, 2006) и в Кировской области (восточная часть ЕЧР) (Соловьёв, 2005) сроки начала осенней раскраски листьев, полного пожелтения листьев, конца листопада с берёз имеют отрицательный тренд. В работе по центральной части ЕЧР (Минин и др., 2016) сроки окончания листопада характеризуются положительным трендом. Исследования связи осенних фенофаз берёзы с климатическими показателями в восточных предгорьях Среднего Урала показали, что процесс окрашивания замедляется при дождливой и холодной погоде и, наоборот, ускоряется при дефиците влаги и избытке тепла (Скок, 2014).

Из всех указанных температурных рубежей только переход среднесуточной температуры воздуха ($T_{сут}$) через 12°C в сторону понижения имеет достоверный тренд смещения на более поздние сроки (табл. 3). Этот рубеж принят нами за границу лета и осени (Прокошева, 2012).

Продолжительность периодов действия активной температуры при пороговых значениях 5 и 10°C имеет тенденцию к увеличению. Но теплообеспеченность (сумма активных температур) стабильна. Тенденция к увеличению продолжительности периода действия активной температуры отмечается в работах (Соловьёв, 2005; Васина, Таланова, 2015; Сапельникова, Базильская, 2015).

Располагая большим количеством переменных, включающим фенологические даты, гидрометеорологические показатели и время, применяем факторный анализ. Двумерные графики факторных нагрузок (рис. 1) иллюстрируют статистические соотношения между группами переменных. Полу жирным шрифтом выделены предикторы, обычным – отклики, зависимые переменные. На рис. 1а видно, что все весенние фазы и все осенние фазы сгруппированы и сконцентрированы в интервале от 0.701 до 0.875 по оси X. В этом же интервале находится показатель срока разрушения УСП, а слева по оси X в интервале от -0.621 до -0.873 – температура фенологического сезона весны и месяца мая. Это демонстрирует существенную прямую зависимость вступле-

ния в весенние фенофазы от сроков схода УСП (вероятность ошибки P от 0.0002 до 0.0035), обратную – от температуры сезона весны в целом (P от 0.0046 до 0.130) и месяца мая в особенности (P от 0.0000 до 0.0008). И также – значительную прямую зависимость наступления осенних фенофаз от сроков прохождения весенних фаз развития (P от 0.0006 до 0.1626 для корреляции с фазой зеленения). Следовательно, фактор 1 самый значимый, объединяет несколько существенных нагрузок и объясняет 42.8% изменчивости всех переменных. Фактор 2 объединяет незначимые признаки. В этой комбинации он выявляет некоторую обратную зависимость сроков наступления осенних фенофаз от сроков весенних фаз и проявляет незначимое влияние температуры сезона зимы: обратное – на весенние даты и прямое, скорее всего косвенное – на осенние фазы.

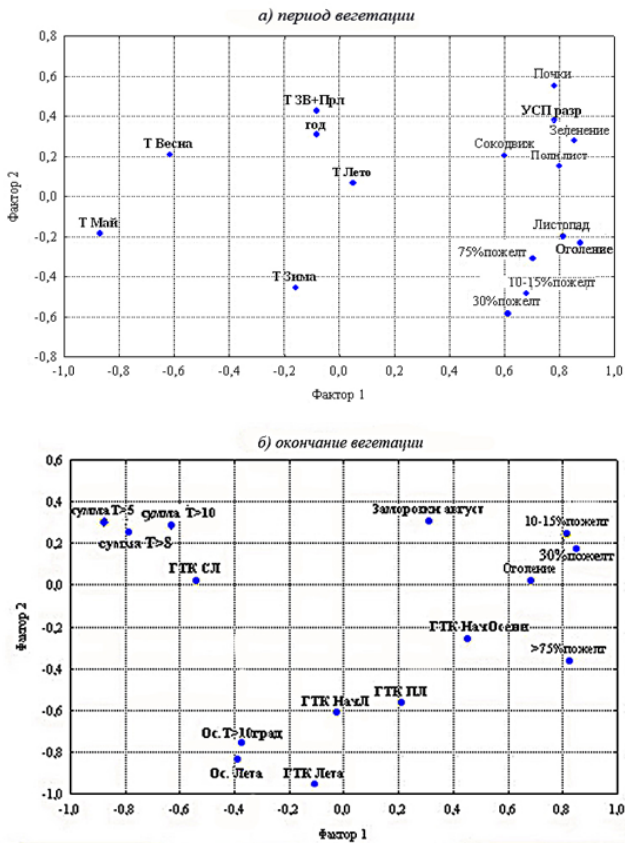


Рисунок 1. Корреляции переменных, влияющих на фенологические фазы у берёзы пушистой, с датами их наступления в течение: а) всего вегетационного периода; б) окончания вегетации
 Обозначения фенологических этапов: ЗВ – зеленая весна, Прл – предлетье, НачЛ – начальное лето, ПЛ – полное лето, СЛ – спад лета, НачОсень – начальная осень

Обозначения предикторов: УСПРазр – разрушение устойчивого снежного покрова, Тзима, Твесна, Тлето – средняя температура соответствующего фенологического сезона, Тмай – средняя температура мая, ГТК – гидротермический коэффициент фенологического сезона или этапа, Ос.Лета – сумма осадков за сезон лета, Ос.Т>10град – сумма осадков за период действия активной температуры выше порога 10°C, сумма Т>5, >8, >10 – сумма активных температур для периодов с температурой воздуха выше пороговых значений 5, 8 и 10°C, заморозки август – суммарная величина отрицательной температуры воздуха в августе

Изменчивость сроков осенних фенологических фаз у берёзы зависит, помимо весенних метеоусловий, от гидротермических показателей сезона лета. По фактору 1 значимыми предикторами являются суммы активных температур выше пределов 5 и 8°C. На рис. 16 все осенние фазы сконцентрированы в интервале от 0.682 до 0.848 по оси X, слева в интервале от -0.631 до -0.881 – показатели суммы активных температур. Чем больше этот показатель, тем раньше наступают все осенние явления (P от 0.0029 до 0.0530 для порога 5°C и P от 0.0016 до 0.1220 для порога 8°C). С суммой активных температур при пороговом значении 10°C связь слабее, но имеет такую же обратную направленность (P от 0.0339 для фазы массового пожелтения до 0.5408 для фазы 30% пожелтения). В годы с наибольшей суммой накопленного тепла выше 5°C (2003, 2005, 2012, 2016) золотая осень наступила на 2-5 дней раньше, оголение крон – на 6-9 дней раньше среднего срока. В годы с наименьшим активным теплом (1997, 1999, 2002, 2014, 2017) этапы наступили соответственно на 2-5 и 4-9 дней позднее.

Главными компонентами фактора 2 являются такие характеристики сезона лета, как сумма осадков и ГТК (примеры описаны выше), и сумма осадков за период действия активной температуры выше порога 10°C, основную часть которой составляет сумма летних осадков.

Полный вегетационный цикл от сокодвижения до оголения крон берёзы продолжается в среднем 146 дней, колеблется от 132 до 168 дней и не имеет значимой тенденции изменения (табл. 3, рис. 2). Продолжительность жизни листьев от начала распускания до конца листопада (вегетационный период 2) составляет 122 дня (от 109 до 132 дней) и также не имеет достоверного тренда. Длительность вегетации слабо зависит от суммы активных температур при пороговом значении 5°C ($r = 0.32$) и не связана с длительностью действия этого фактора ($r = 0.01$). С суммой активных температур с пороговым значением 10°C и длительностью их воздействия связь также слабая ($r = 0.30$ и 0.32 соответственно). Достаточно стабильная продолжительность безморозного периода ($T_{\text{мин}} > 0^\circ\text{C}$) практически не влияет на продолжительность жизни листьев берёзы ($r = 0.22$). Этапы вегетации: начало, основной и окончание – также достаточно стабильны в многолетнем тренде, особенно летний сезон роста (табл. 3, рис. 2).

В исследовании Минина и Восковой (2014) выявлена тенденция сокращения периода вегетации берёзы бородавчатой на северо-востоке центральной части ЕЧР за период 1970-2010 гг. В нашем районе исследования, за период с 1995 по 2016 гг. продолжительность вегетационного периода 2 увеличилась почти на 10 дней, но с учетом 2017 года тенденция сменила знак, и смещение составляет -1.1 день. Это подтверждает и результат указанного исследования, и вывод о большом резерве адаптационных механизмов древесно-кустарниковых видов на востоке Русской равнины (Соловьёв, 2005; Минин и др., 2016; Минин и др., 2017).

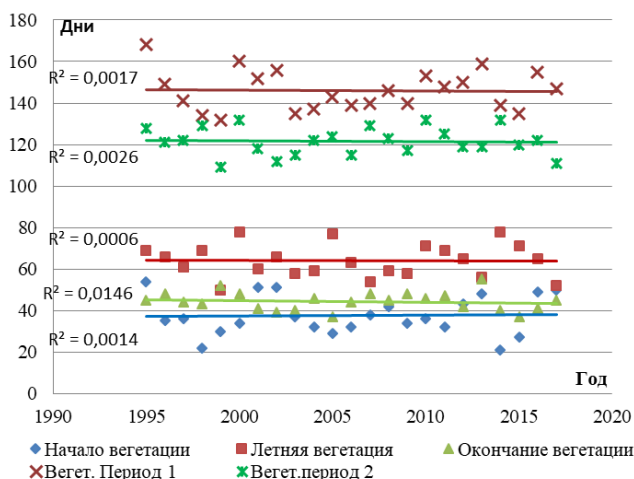


Рисунок 2. Динамика длительности периода вегетации берёзы пушистой и его этапов: начального, основного и окончания (с 1995 по 2017 гг.)

Выводы

В результате данного исследования была установлена достоверная связь между сроками фенологических фаз у берёзы и гидротермическими показателями среды:

- между датами наступления всех фаз вегетации берёзы и температурой сезона весны и особенно температурой месяца мая;
- между датами наступления всех этапов вегетации берёзы и сроком разрушения устойчивого снежного покрова;
- между датами наступления весенних фаз начала и полного разворачивания листа у берёзы и гидротермическим коэффициентом месяца мая;
- между датой разворачивания полного листа берёзы и температурой месяца июня;
- между датами наступления осенних фаз у берёзы и суммой активных температур выше порога 5 и 8°C;
- между датой начала разворачивания листьев и сроками массовой окраски, листопада и оголения берёзы;
- между датой начала массового пожелтения листвы и суммой осадков за сезон лета.

При многообразных сценариях прохождения вегетационного цикла у берёзы в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника, при большой изменчивости внутри него сроков фенологических фаз, длительность цикла стабильна. Существенные изменения в сезонном развитии берёзы пушистой за период с 1995 по 2017 гг. под влиянием климатических факторов не выявлены.

Список литературы

Белова Т.А., Бабкина Л.А. 2017. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных растений средней полосы России. – Auditorium электронный науч. журнал Курского гос. ун-та, № 2 (14), 5 с. – Электронный ресурс. URL: <http://www.auditorium.kursksu.ru>.

Берлина Н.Г., Зануздаева Н.В. 2016. Динамика фенологических и климатических параметров на примере *Betula czerepanovii Orlova* в Лапландском заповеднике (Мурманская область). Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. – В сб.: Мат. VI Всерос. науч. конф. с междунар. уч. – ФГБУ Ин-т проблем пром. экологии Севера, Апатиты, Изд. Кольского науч. центра РАН, с. 48-52.

Васина А.Л., Таланова Г.И. 2015. Анализ многолетних климатических и фенологических данных заповедника «Малая Сосьва» (Северное Зауралье). Современное состояние фенологии и перспективы её развития. – В сб.: Мат. междунар. научно-практ. конф. – ФГБОУ ВПО Урал, гос. пед. ун-т, Екатеринбург, с. 100-111.

Вопросы составления календарей природы. 1986. – Тр. гос. заповедника «Столбы». Вып. XIV /под ред. Прохненко Т.А. – Красноярск, Изд. Краснояр. ун-та, 168 с.

Гордиенко Н.С., Минин А.А. 2006. Фенологические тенденции последних десятилетий в природе Южного Урала. – Известия РАН, серия Географическая, № 3, с. 48-56.

Минин А.А., Воскова А.В. 2014. Гомеостатические реакции деревьев на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты. – Онтогенез, т. 45, № 3, с. 162-169.

Минин А.А., Ранькова Э.Я., Рыбина Е.Г., Буйволов Ю.А., Сапельникова И.И., Филатова Т.Д. 2016. Феноиндикация изменений климата за период 1976-2015 гг. в центральной части Европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa Ehrh. (B. Pendula Roth.)*). – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVII, № 2, с. 17-28.

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.

Прокошева И.В. 2012. Феноклиматическая характеристика горнотаёжного района заповедника «Вишерский» в первом десятилетии XXI века. – Исследо-

вание природы лесных растительных сообществ на заповедных территориях Урала. – В сб.: Мат. межрегион. научно-практ. конф. – ФГБУ Бот. сад УрО РАН, Екатеринбург, с. 90-98.

Прокошева И.В. 2017. Динамика фенологических процессов в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (Северный Урал) под влиянием климатических изменений. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVIII, № 2, с. 40-55.

Прокошева И.В. 2018. О связи осенних фенологических фаз у берёзы (*Betula pubescens*) с климатическими показателями в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (Северный Урал). Летопись природы: фенология. – В сб.: Мат. I междунар. фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном гос. природном биосферном заповеднике 13-17 августа 2018 г. – Великие Луки, с. 163-169.

Руководящий документ РД 52.33.725-2010. 2010. Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации. – Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 142 с.

Сапельникова И.И. 2015. Фенология осенних процессов древесно-кустарниковых видов в Воронежском заповеднике. Современное состояние фенологии и перспективы её развития. – В сб.: Мат. междунар. научно-практ. конф. – ФГБОУ ВПО Урал. гос. пед. ун-т, Екатеринбург, с. 268-275.

Сапельникова И.И., Базильская И.В. 2015. Долговременные изменения некоторых фенологических параметров календарного года в Воронежском биосферном заповеднике. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVI, № 1, с. 49-67.

Скок Н.В. 2014. Связь осенних фенофаз березы с климатическими показателями среды. Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования. – В сб.: Мат. междунар. научно-практ. конф. т. 1. – ФГБОУ ВПО Урал. гос. пед. ун-т, Екатеринбург, с. 171-180.

Соловьёв А.Н. 2005. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. – М., Пасва, 288 с.

Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. 1990. Летопись природы в заповедниках СССР. Методическое пособие. – М., Наука, 160 с.

Халафян А.А. 2007. STATISTIKA 6. Статистический анализ данных. Учебное пособие. – М., Бинوم, 507 с.

Шульц Г.Э. 1981. Общая фенология. – Л., Наука, 188 с.

Статья поступила в редакцию: 17.12.2018 г.

После переработки: 05.06.2019 г.

PHENOLOGY OF THE BIRCH (*BETULA PUBESCENS* EHRH.) IN MOUNTAIN TAIGA ZONE OF VISHERA NATURE RESERVE (NORTHERN URALS)

I.V. Prokosheva

State nature reserve «Vishersky»,
36B, Gagarina str., 618590, Krasnovishersk, Perm region, Russian Federation; halsori@yandex.ru

Abstract. The paper analyzes the dynamics of the phenological structure of the vegetation period of birch in the period 1995-2017 on the basis of observations in the Vishera reserve. The dependence of the timing of the onset of phenological stages of birch trees from climatic factors: the melt away the snow cover, the temperature and moisture regime, the amounts of active temperatures, hydrothermal coefficient, frosts, and their trends are determined. A reliable relationship between the terms of phenological phases and some hydrothermal parameters of the environment is established, in particular, with the destruction of stable snow cover, the sum of active temperatures. The analysis is performed using the methods of two-dimensional and multidimensional statistics. It was found that the duration of vegetation and its periods: initial, main and end are stable, despite the dynamic interannual variability of the timing of the onset of phenophases. All responses are within the norm of the species reaction to climate change.

Keywords. Phenology of the birch, vegetation period, climatic parameters, active temperature, phenological trends.

References

Belova T.A., Babkina L.A. 2017. Izmenenie sodержaniya hlorofillov i karotinoidov v list'yah drevesnyh rastenij srednej polosy Rossii [Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of woody plants in Central Russia]. *Auditorium*, no. 2 (14). Kursk, 5 p. Available at: www.auditorium.kursksu.ru.

Berlina N.G., Zanzudaeva N.V. 2016. Dinamika fenologicheskikh i klimaticheskikh parametrov na primere Betula czerepanovii Orlova v Laplandskom zapovednike (Murmanskaya oblast') [Dynamics of phenology and climatic parameters on the example of *Betula czerepanovii* Orlova in Lapland nature reserve (Murmansk region)]. *Mat. VI Vseros. nauch. conf. «Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya»* [Mat. VI Rus. scientific. conf. with int. part «Ecological problems of Northern regions and their solutions»]. Apatity, pp. 48-52.

Vasina A.L., Talanova G.I. 2015. Analiz mnogoletnikh klimaticheskikh i fenologicheskikh dannykh zapovednika «Malaya Sos'va» (Severnoe Zaural'e) [The analysis of long-term climatic and phenological data of the reserve "Malaya Sosva" (Northern trans-Urals)]. *Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. conf. «Sovremennoe*

sostoyanie fenologii i perspektivy eyo razvitiya» [Mat. Int. scient.-prakt. conf. «The current state of phenology and prospects for its development»]. Ekaterinburg, Ural. State Ped. Univ, pp. 100-111.

Voprosy sostavleniya kalendarej prirody [Questions of drawing up of nature calendars]. 1986. *Tr. gos. zapovednika «Stolby» – Proc. the state reserve "Stolby"*, issue XIV. Krasnoyarsk, 168 p.

Gordienko N.S., Minin A.A. 2006. Fenologicheskie tendentsii poslednikh desyatiletij v prirode Yuzhnogo Urala [Phenological trends of last decades in the South Urals nature]. *Izvestiya RAN, seriya Geograficheskaya – Izv. Geographical series*, no. 3, pp. 48-56.

Minin A.A., Voskova A.V. 2014. Gomeostaticheskie reaktsii derev'ev na sovremennye izmeneniya klimata: prostranstvenno-fenologicheskie aspekty [The homeostatic responess of plants to modern climate change: spatial phenological aspects]. *Ontogenez – Ontogeny*, vol. 45, no. 3, pp. 162-169.

Minin A.A., Rankova E.Ya., Rybina E.G., Buyvolov Yu.A., Sapelnikova I.I., Filatova T.D. 2016. Fenoindikatsiya izmenenij klimata za period 1976-2015 gg. v tsentral'noj chasti Evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataya (povislaya) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)) [Phenoindication of climate change for the period 1976-2015 in the Central part of European Russia: birch (silver birch) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.))]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, vol. XXVII, no. 2, Moscow, pp. 17-28.

Minin A.A., Rankova E.Ya., Rybina E.G., Buyvolov Yu.A., Sapelnikova I.I., Filatova T.D. 2017. Fenoindikatsiya izmenenij klimata za period 1976-2015 gg. v tsentral'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 change for the period 1976-2015 in the Central part of European Russia: birch (silver birch) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.), mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaves lime (linden) (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, vol. XXVIII, no. 3, Moscow, pp. 5-22.

Prokosheva I.V. 2012. Fenoklimaticheskaya kharakteristika gornotayozhnogo rajona zapovednika «Vishersky» v pervom desyatiletii XXI veka [Phenological climatic feature of the mountain taiga area of Vishera nature reserve in the first decade of the twenty-first century]. *Mat. mezhhregion. nauchno-prakt. konf. «Issledovanie prirody lesnykh rastitel'nykh soobshhestv na zapovednykh territoriyakh Urala»* [Mat. interregion. conf. «Study of nature of forest communities in protected areas of the Urals»]. Ekaterinburg, Bot. garden of Ural branch RAS, pp. 90-98.

Prokosheva I.V. 2017. Dinamika fenologicheskikh processov v gornotayozhnom poyase Visherskogo zapovednika (Severnyj Ural) pod vliyaniem klimaticheskikh izmenenij [Dynamics of phenology process in mountain taiga zone of Vishera nature reserve (Northern Urals) under the influence of climatic changes]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, vol. XXVIII, no. 2. Moscow, pp. 40-55.

Prokosheva I.V. 2018. O svyazi osennih fenologicheskikh faz u beryozy (*Betula pubescens*) s klimaticheskimi pokazatelyami v gornotayozhnom poyase Visherskogo zapovednika (Severnyj Ural) [On the correlation of autumn phenological phases in birch (*Betula pubescens*) with climatic indicators in mountain taiga zone of Vishera nature reserve (Northern Urals)]. *Mat. I Mezhdunar. fenologicheskoy shkoly-seminara v Tsentral'no-Lesnom gos. prirodnom biosfernom zapovednike, 13-17 avgusta 2018 «Letopis' prirody Rossii: fenologiya»* [Mat. of 1st Int. phenological scholar-seminar in Central Forest State Nature Biosphere Reserve, 13-17th of August 2018, «Chronicle of Russian nature: phenology»]. Velikiye Luki, pp. 163-169.

Rukovodyashhij dokument RD 52.33.725-2010. 2010. *Metodicheskie ukazaniya po sostavleniyu agrometeorologicheskogo ezhegodnika dlya zemledel'cheskoj zony Rossijskoj Federatsii* [Guidance document RD 52.33.725-2010. 2010. Methodical instructions on drawing up of agrometeorological Yearbook for the agricultural zone of the Russian Federation]. Obninsk, 142 p.

Sapelnikova I.I. 2015. Fenologiya osennikh protsessov drevesno-kustarnikovykh vidov v Voronezhskom zapovednike [Phenology of autumn processes of tree and shrub species in the Voronezh reserve]. *Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Sovremennoe sostoyanie fenologii i perspektivy eyo razvitiya»* [Mat. Int. scient.-prakt. conf. «The current state of phenology and prospects for its development»]. Ekaterinburg, Ural. State Ped. Univ, pp. 268-275.

Sapelnikova I.I., Bazil'skaya I.V. 2015. Dolgovremennyye izmeneniya nekotorykh fenologicheskikh parametrov kalendarnogo goda v Voronezhskom biosfernom zapovednike [Long-term changes of some phenological parameters of the calendar year in the Voronezh biosphere reserve]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, vol. XXVI, no. 1, Moscow, pp. 49-67.

Skok N.V. 2014. Svyaz' osennikh fenofaz berezy s klimaticheskimi pokazatelyami sredy [The relationship of autumn phenophases of birch with climatic indices of the environment]. *Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Sovremennyye issledovaniya prirodnnykh i sotsial'no-ehkonomicheskikh sistem. Innovatsionnyye protsessy i problemy razvitiya estestvennonauchnogo obrazovaniya»* [Mat. Int. scient.-prakt. conf. «The current research of natural and socio-economic systems. Innovative processes and problems of development of science education»], vol. 1. Ekaterinburg, Ural. State Ped. Univ, pp. 171-180.

Solov'yov A.N. 2005. *Biota i klimat v 20m stoletii. Regional'naya fenologiya* [Biota and climate in the 20th century. Regional phenology]. Moscow, 288 p.

Filonov, K.P., Nukhimovskaya J.D. 1990. *Letopis' prirody v zapovednikakh SSSR. Metodicheskoe posobie* [Chronicle of nature reserves of the USSR. Methodical manual]. Moscow, 160 p.

Halafyan A.A. 2007. *STATISTIKA 6. Statisticheskij analiz dannyh. Uchebnoe posobie* [STATISTIKA 6. Statistical analysis of data. Textbook]. Moscow, 507 p.

Shulz, G.E. 1981. *Obshaya fenologiya* [General phenology]. Leningrad, 188 p.