

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.583+581.54(470.342)

doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301

ДИНАМИКА ГРАНИЦ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ СЕЗОНОВ НА ВОСТОКЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ (г. Киров)

Т.Г. Шихова, А.Н. Соловьев

*Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства им. проф. Б.М. Житкова, г. Киров, 610020, Россия*

Аннотация

На основе базы фенологических данных по г. Кирову за 1961–2019 гг. проанализированы региональные особенности изменений сезонной ритмики. Средние многолетние показатели рассчитаны за 1981–2010 гг. Выделены дополнительные типы сезонов с отклонением от средних значений более $\pm 2\sigma$. Начавшаяся в середине XX в. тенденция изменения соотношения сезонов (сокращение зимы и весны, удлинение лета и осени) в новом столетии сохранилась. В последние 30 лет по сравнению с опорным периодом 1961–1990 гг. позднее наступают зима и весна при незначительном сдвиге к ранним датам наступления лета и осени. Продолжилось сокращение зимы и весны, немного удлинилось лето и значительно удлинилась осень. На основе корреляционного анализа установлена взаимосвязь продолжительности фенологической осени с длительностью последующих сезонов. Аномальные по временным параметрам сезоны преобладали в 1991–2000 и 2010–2019 гг., когда их начало и продолжительность значительно отклонялись от принятых за норму средних значений за базовый период 1981–2010 гг. Выявленные фенологические тенденции согласуются с современной перестройкой климатического режима.

Ключевые слова: динамика средних дат, продолжительность сезонов, фенологические аномалии, Кировская область

Введение

Современные климатические тенденции более отчетливо проявляются в средних и высоких широтах северного полушария, где скорость потепления выше, чем в среднем на планете [1–5]. Эти изменения неоднозначно отражаются на сроках протекания фенологических сезонов в разные климатические периоды [6–8] и в разных ландшафтных зонах [6, 9–12]. Участвовавшие в последние десятилетия погодные аномалии [13–15] вызывают порой значительные отклонения сроков протекания сезонных процессов в природных экосистемах, влияют на фенологию организмов, определяя диапазон их временной изменчивости. В связи с этим вопросам фенологических последствий погодных аномалий и климатических изменений уделяется особое внимание как в России [12, 16–19], так и за рубежом [11, 20–23].

Знание региональных особенностей временных границ фенологических сезонов и величин их отклонения от средних многолетних обеспечивает основу оперативной оценки сезонной ритмики биоценозов. Эти данные востребованы

в экологических исследованиях для выявления отклика экосистем на изменения климата, а также в организации природно-хозяйственной деятельности. Изменчивость сроков протекания фенологических сезонов в Кировской обл. за период 1890–2002 гг. рассматривалась в работе [6]. Учащение погодных аномалий в первые десятилетия XXI в. определяет необходимость выявления особенностей временных характеристик фенологических сезонов в условиях современных климатических изменений.

Сезонной ритмике природных процессов свойственны вековые и более короткие циклические ритмы, соответствующие климатическим колебаниям. На Европейской части России (ЕЧР) начиная с середины 70-х годов XX в. наблюдается отчетливое потепление, которое на региональном уровне протекает с некоторыми отклонениями от общей тенденции [1, 3, 24, 25]. Настоящее исследование нацелено на выявление региональных особенностей изменчивости временных границ фенологических сезонов за период, охватывающий разные периоды климатического цикла.

2. Материалы и методы

В восточном секторе Русской равнины репрезентативные фенологические данные накоплены по г. Кирову (58°36' с.ш., 49°40' в.д.) – по ключевым фенологическим явлениям с 1890 г. Фенологический мониторинг в Кировской обл. осуществляется постоянной сетью добровольных наблюдателей по единой методике в соответствии с программой фенологических наблюдений [6, 26, 27].

Влияние крупной урбанизированной территории (около 170 км²) с развитой промышленной инфраструктурой проявляется выраженным эффектом «острова тепла» – по сравнению с пригородом в центральной части г. Кирова температура воздуха на 2–4 °С выше, температура верхнего слоя почвы на 1–2 °С выше, безморозный период на 6 сут длиннее [6, 28].

Сбор фенологических данных проводится на постоянных маршрутах в разных частях города с учетом минимизации влияния теплотрасс.

В работе анализируются даты начала и продолжительности фенологических сезонов за период 1961–2019 гг., охватывающий климатические фазы похолодания (до 1975 г.) и потепления (с 1976 г.) [1, 3, 6]. Динамика сроков протекания естественных сезонов анализировалась в сопоставлении с данными среднегодовой температуры воздуха по г. Кирову, полученными из литературных источников и интернет-ресурсов открытого доступа [24, 25, 29, 30].

Территория исследования расположена в южной тайге Среднего Поволжья. Характеризуется умеренно континентальным климатом с ярко выраженной сезонностью и периодическими вторжениями арктического холода, вызывающего сильные морозы зимой и резкие похолодания летом.

Фенологические маркеры границ естественных сезонов применительно к лесной зоне ЕЧР изложены в работах [6, 27], где для каждой структуры годового цикла представлен комплекс индикаторных метео- и биофенологических явлений. В качестве фенологических границ сезонов приняты следующие: весна – начало интенсивного снеготаяния; лето – зацветание шиповника *Rosa majalis*; осень – первые желтые листья на липе мелколистной *Tilia cordata*; зима – установление постоянного снежного покрова.

Табл. 1

Средние даты наступления и продолжительность фенологических сезонов (г. Киров, 1981–2010 гг.)

Сезон	Стартовое явление	Дата ± σ, сут	Продолжительность ± σ, сут
Зима	Установление постоянного снежного покрова	10.XI ± 14.7	136 ± 17.5
Весна	Начало интенсивного снеготаяния	25.III ± 9.1	71 ± 10.1
Лето	Зацветание шиповника	4.VI ± 6.8	75 ± 9.4
Осень	Появление желтых листьев на липе	18.VIII ± 5.9	84 ± 13.9

Фенологические сезоны классифицированы по методике [31], основанной на стандартном квадратичном отклонении (σ) от средних многолетних значений, рассчитанных за 30-летний период. Изменчивость начала и продолжительности сезонов в интервале $\pm 0.5\sigma$ считается нормальной, а в пределах $\pm 0.6\sigma \dots \pm 1.5\sigma$ и $\pm 1.6\sigma \dots \pm 2.0\sigma$ свидетельствует об аномальности сроков их протекания.

Средние многолетние даты (норма) и их стандартные отклонения вычислены за базовый период 1981–2010 гг., отражающий современные климатические условия и рекомендованный World Meteorological Organization [32] для оперативного анализа (с сохранением опорного периода 1961–1990 гг.) (табл. 1).

Статистическая обработка данных осуществлялась с применением пакетов компьютерных программ Excel 2010 и Statistica 10.0. Достоверность полученных результатов оценивалась на уровне $p < 0.05$.

3. Результаты и их обсуждение

Индикационные явления начала фенологических сезонов, вызывающие смену общего аспекта ландшафтов, незначительно опережают (весенние, летние) или отстают от климатических (термических) маркеров. Поэтому временные границы фенологических сезонов не совпадают с климатическими и календарными. Сроки протекания основных единиц фенологического года варьируют в достаточно широком диапазоне в зависимости от межгодовых погодно-климатических флуктуаций. В регионе исследования амплитуда изменчивости начала сезонов за период 1961–2019 гг. достигает двух месяцев: зимы – 60, весны – 49, лета – 35, осени – 29 сут. Более широкий размах крайних дат свойственен сезонам, индицируемым по состоянию снежного покрова (зима и весна). Длительность сезонов также широко варьирует – диапазон крайних значений от 1.5 до 2.5 месяцев: зимы – 83, весны – 46, лета – 46, осени – 74 сут.

Разнообразие сезонов по датам начала (своевременные, ранние, поздние), продолжительности (средние, длинные, короткие) и темпам протекания (нормальные, быстротечные, затяжные) укладывается в 25 типов природной ритмики [26]. Применительно к условиям Кировской обл. классификация сезонов детализирована на основе нового базового периода (табл. 2). С учащением в XXI в. экстремальных сезонов, превышающих средние показатели на величину более $\pm 2\sigma$ (до $\pm 3\sigma$), возникла необходимость введения дополнительных типов: по началу – «крайне ранний» и «крайне поздний», по продолжительности – «очень короткий» и «очень длинный».

Табл. 2

Типы фенологических сезонов (г. Киров, 1981–2010 гг.)

Сезон	По датам наступления						
	Крайне ранний	Очень ранний	Ранний	Средний (норма)	Поздний	Очень поздний	Крайне поздний
Зима	< 12.X	13–19.X	20.X–2.XI	3–17.XI	18.XI–1.XII	2–8.XII	> 9.XII
Весна	< 7.III	8–11.III	12–20.III	21–29.III	30.III–7.IV	8–11.IV	> 12.IV
Лето	< 21.V	22–25.V	26–31.V	1–7.VI	8–13.VI	14–17.VI	> 18.VI
Осень	< 6.VIII	7–9.VIII	10–15.VIII	16–21.VIII	22–26.VIII	27–29.VIII	> 30.VIII
	По продолжительности, сут						
	Очень короткий	Короткий	Укороченный	Средний (норма)	Удлиненный	Длинный	Очень длинный
Зима	< 100	101–109	110–126	127–145	146–161	162–171	> 172
Весна	< 50	51–55	56–65	66–76	77–86	87–91	> 92
Лето	< 57	56–60	61–70	71–79	80–89	90–94	> 95
Осень	< 55	56–62	63–76	77–90	91–105	106–112	> 113

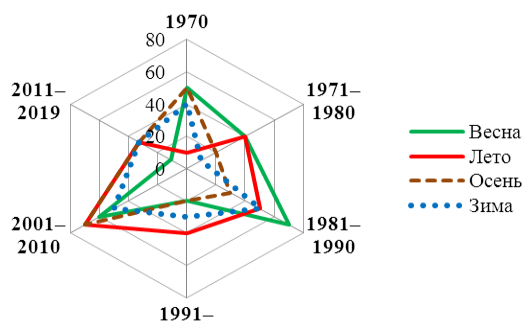


Рис. 1. Доля своевременных фенологических сезонов в 1961–2019 гг., %

Сроки протекания фенологических сезонов зависят от погодных особенностей конкретного года. Отклонение дат начала индикационных явлений от нормы на величину более 2σ регистрируется нечасто. Например, рекордно теплый в первом полугодии 1975 г. характеризовался крайне ранним началом весны (-2.5σ) и лета (-2.5σ). Показатели последних 60 лет свидетельствуют о том, что в целом за данный период доля лет с крайне ранним началом весны и лета составила только 3.4%, осени – 6.8%, зимы – 5.1%. Крайне позднее начало сезонов наблюдалось реже: весны – 1.7% (1998 г.); осени – 3.4% (2017, 2018 гг.), зимы – 3.4% (2008, 2009 гг.). Крайне позднее начало лета – 8.3% (1965, 1969, 1978, 1983, 2017 гг.). Своевременное начало всех сезонов теплого периода года чаще наблюдалось в 2001–2009 гг. (60–70%), а весны и лета – в 1981–1990 гг. (70% и 50% соответственно) (рис. 1).

Аномальные по временным параметрам сезоны преобладали в 1991–2000 гг., когда даты их начала и продолжительность значительно отклонялись от средних значений базового периода 1981–2010 гг., что согласуется с периодами перестройки климатического режима на территории Среднего Поволжья [25].

Последнее десятилетие XX в. характеризовалось преимущественно ранним началом весны, лета и осени, доля таких лет составляет 40–50%. В разные десятилетия преобладали разные сезоны с поздним началом: в 1961–1970 гг. – лето (50%); в 1971–1980 гг. – осень (60%); в 2011–2019 гг. – весна (75%) (рис. 2).

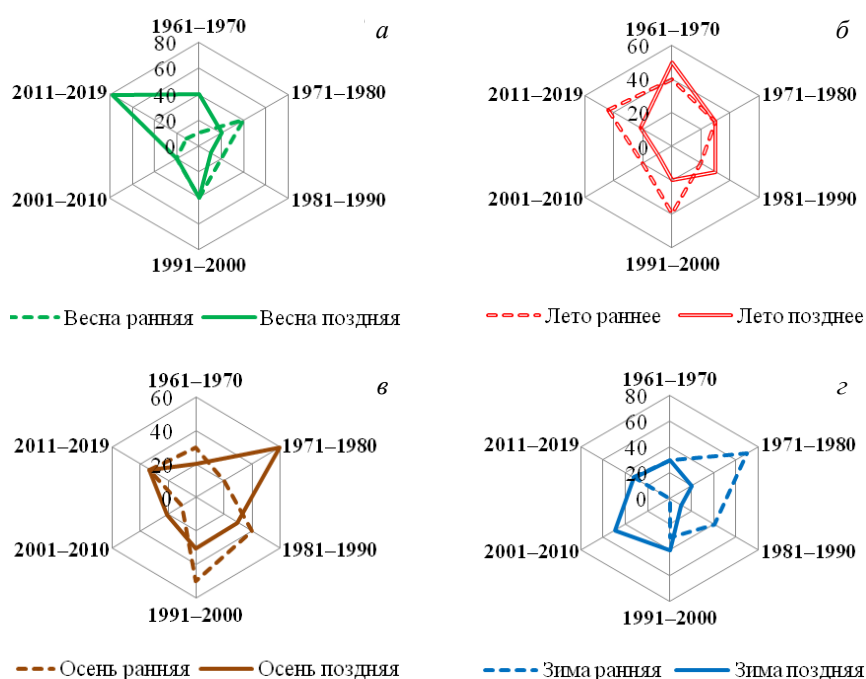


Рис. 2. Доля аномальных по началу фенологических сезонов: а) весны, б) лета, в) осени, г) зимы – за период 1961–2019 гг., %

Тенденция смещения дат начала фенологических сезонов, проявившаяся в течение XX столетия в более раннем наступлении весны и лета, позднем начале осени и зимы [6], в новом столетии изменилась для переходных сезонов, а для летнего и зимнего сезонов направление сдвига дат сохранилось. Сравнение средних дат начала фенологических сезонов за 1991–2019 гг. ($n = 29$) с показателями опорного периода (1961–1990 гг.) выявило небольшое смещение на более ранние даты начала лета (–3 сут) и осени (–1 сут), а средняя дата начала зимы значительно сместилась к более поздним датам (+9 сут). Весенний сезон стал наступать позднее на два дня, что связано с преобладанием поздних весен в 2011–2019 гг. (рис. 3). Разнонаправленные тенденции начала весны и лета (позднее начало весны и раннее начало лета) вызвали заметное сокращение весеннего сезона в первых десятилетиях XXI в.

В 1991–2019 гг. по сравнению с опорным периодом 1961–1990 гг. увеличилась амплитуда изменчивости начала всех, кроме летнего, сезонов: зимы – с 51 до 54, весны – с 38 до 49, осени – с 22 до 28 сут. Это свидетельствует о перестройке климатического режима. Наибольший размах крайних значений свойственен зимнему сезону, у которого величины стандартного отклонения от нормы дат начала и продолжительности значительно превышают эти показатели по другим сезонам (табл. 1).

Начало фенологической осени изменилось незначительно, а окончание заметно сдвинулось к поздним датам, поэтому продолжительность сезона существенно удлинилась. Аномально затяжные осенние сезоны (> 106 сут) отмечались в последнее 30-летие – 1991, 2008, 2009, 2013 гг. Продолжительность их превышала средние показатели от $+1.8\sigma$ (1991 г.) до $+2.4\sigma$ (2008 г.).

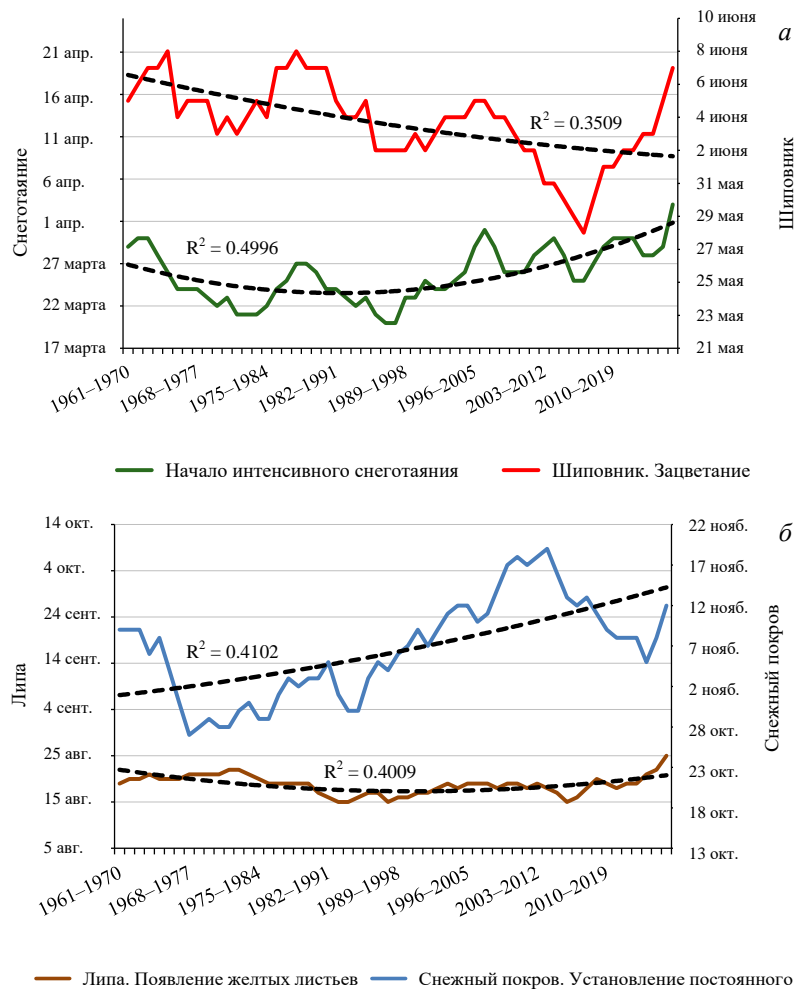


Рис. 3. Динамика дат начала сезонов за 1961–2019 гг. (10-летнее осреднение): а) весны и лета, б) осени и зимы. Пунктирные линии – полиномиальные тренды второй степени

Смещение границ фенологических сезонов отражается на их продолжительности, отклонения от нормы на величину более $\pm 2\sigma$ отмечаются редко. Очень короткие весна, лето и осень регистрировались только в 5.1% от суммарного количества лет. Самое длинное лето (более 96 дней) было только в 1975 и 2010 гг. – 3.4%, а очень длинных весен (более 92 дней) за рассмотренный период не регистрировалось – 0%. Например, экстремально жаркий и засушливый вегетационный период 2010 г. характеризовался очень короткой весной (-19 сут, -2σ) и очень длинным летом ($+22$ сут, $+2.9\sigma$), что отразилось на сроках жизнедеятельности животных и растений, их генеративных и миграционных циклах [16, 17]. В то же время в аномально холодный вегетационный сезон 2017 г. весна, лето и осень наступали значительно позднее средних дат (от $+1.1\sigma$ до $+2.4\sigma$), но продолжительность их была в пределах нормы [18].

На фоне увеличения интенсивности повышения среднегодовой температуры воздуха в г. Кирове с 0.19 °C до 0.36 °C /10 лет [24] прослеживается изменение длительности сезонов (рис. 4). Существует достоверно значимая ($p < 0.05$)

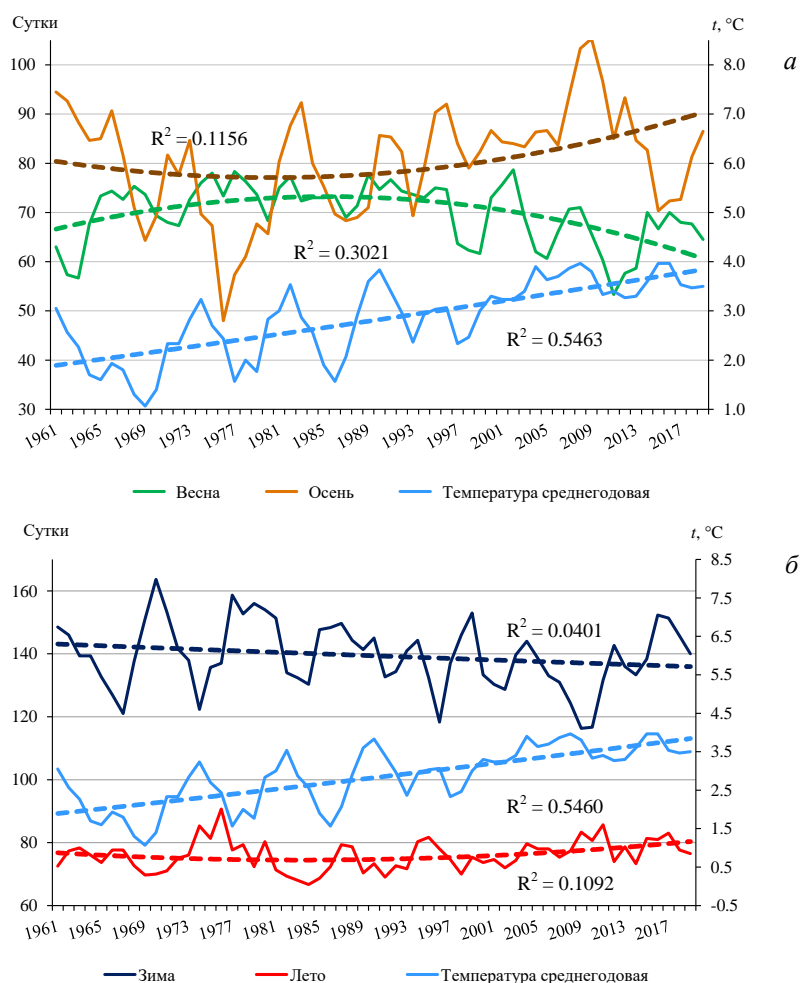


Рис. 4. Динамика среднегодовой температуры воздуха по г. Кирову (трехлетнее осреднение) и продолжительности фенологических сезонов в 1961–2019 гг.: а) весны и осени, б) зимы и лета. Пунктирные линии – полиномиальные тренды второй степени

корреляционная связь (r) среднегодовой температуры воздуха с продолжительностью лета ($r = 0.30$; $n = 59$) и осени ($r = 0.45$; $n = 59$), и обратная корреляция с продолжительностью весны ($r = -0.34$; $n = 59$) и зимы ($r = -0.34$; $n = 59$).

Изменчивость соотношения фенологических сезонов укладывается в определенные пространственные закономерности. В северном направлении прослеживается удлинение зимы и сокращение теплого периода года при незначительном изменении переходных сезонов, а в восточном направлении ЕЧР – сокращение переходных сезонов (весна, осень) и удлинение зимы [6, 12]. Закономерности продолжительности сезонов неоднозначны в зависимости от региональных особенностей климатических трендов. Выявленная в целом за XX столетие по г. Кирову тенденция сокращения продолжительности зимы и весны, удлинения лета и осени [6] сохраняется в XXI веке.

В 2001–2019 гг. при сохранении тенденции сокращения весны ее начало сдвинулось к более поздним датам. Если в конце XX в. чаще были весны ранние (60%) и удлиненные затяжные (40%), то в 2000–2019 гг. – преимущественно

поздние (53%) и короткие быстротечные (47%). Осень в первое десятилетие XXI в. характеризовалась преимущественно нормальной продолжительностью (80%) и своевременным началом (50%). В 2010–2019 гг. наметилась дестабилизация временных параметров этого сезона: по дате начала для 50% от суммарного количества лет указанного периода осень была ранней, для 40% – поздней; а по продолжительности для 50% – укороченной, для 30% – затяжной (от удлиненной до очень длинной). По сравнению с опорным периодом 1961–1990 гг. осень удлинилась на 10 дней.

До середины 80-х годов XX в. происходило удлинение весны, сменившееся более интенсивным сокращением. Осень до середины 80-х годов сокращалась, а затем – значительно удлинилась (рис. 4). Фенологическое лето сохраняет относительную стабильность, а зима неуклонно сокращается как на протяжении XX столетия [6], так и в рассматриваемый период 1961–2019 гг.

Между продолжительностью осени и зимы существует отрицательная корреляция ($r = -0.65$; $p < 0.05$; $n = 59$), так же как между продолжительностью осени и весны ($r = -0.61$; $p < 0.05$; $n = 59$). Удлинение осени нередко сопровождается сокращением продолжительности следующих за ней сезонов (зимы и весны). Так, после очень длинных осенних сезонов 2008 г. ($+2.4\sigma$), 2009 г. ($+2.2\sigma$) и 2013 г. ($+1.9\sigma$) последовали короткие зимы ($-1.2\sigma \dots -1.7\sigma$) и весны ($-0.7\sigma \dots -1.7\sigma$). Продолжительность осени может служить предиктором прогноза длительности последующих фенологических сезонов.

Изменение соотношения структурных единиц годового цикла после опорного периода в целом согласуется с выявленной ранее тенденцией за столетие [6]. Если в 1961–1990 гг. зима составляла 39%, весна – 20%, лето – 20%, осень – 21%, то в 1991–2019 гг. зима – 37%, весна – 18%; лето – 21%; осень – 24%. При относительной стабильности лета и неуклонном сокращении зимы более значительным изменениям подвержены переходные сезоны.

Заключение

Обозначившаяся во второй половине XX в. тенденция изменения соотношения структурных единиц годового цикла (сокращение продолжительности зимы и весны, удлинение лета и осени) сохраняется в XXI в. По сравнению с опорным периодом (1961–1990 гг.) в 1991–2019 гг. сократилась продолжительность зимы в среднем на семь дней, весны – на пять, лето удлинилось на два дня, значительно удлинилась осень – на 10 дней. Установлено смещение к более поздним датам наступления зимы ($+9$ дней) и весны ($+2$ дня) при незначительном сдвиге к ранним датам лета (-3 дня) и осени (-1 день).

На основе корреляционного анализа выявлена достоверно значимая ($p < 0.05$) обратная взаимосвязь продолжительности осени с зимним ($r = -0.65$; $n = 59$) и весенним ($r = -0.61$; $n = 59$) сезонами.

В связи с увеличением диапазонов отклонений от нормы дат начала и продолжительности фенологических сезонов выделены дополнительные типы сезонной ритмики, характеризующиеся превышением средних значений временных параметров на величину более $\pm 2\sigma$: по дате начала – «крайне ранние» и «крайне поздние» сезоны; по продолжительности – «очень короткие» и «очень длинные».

Наиболее устойчивые сроки фенологических сезонов теплого времени года (весна, лето, осень) регистрировались в 2001–2009 гг., когда своевременное их начало отмечалось в 60–70% от общего количества лет. Аномально раннее начало сезонов преобладало в последнее десятилетие XX в., 2010–2019 гг. характеризовались преимущественно поздними веснами (75%). Выявленные фенологические тенденции согласуются с современной перестройкой климатического режима.

Литература

1. Груза Г.Н., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск: ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 194 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Техническое резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 60 с.
3. Переведенцев Ю.П., Аухадеев Т.Р., Шанталинский К.М. Пространственно-временная изменчивость атмосферного давления и температуры воздуха в северном полушарии // Рос. журн. прикл. экол. – 2016. – Т. 3, № 7. – С. 3–9.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. – М., 2020. – 97 с.
5. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017. WMO-No. 1212. – Geneva, Switzerland: World Meteorol. Organization, 2018. – 40 p. – URL: https://www.cls.fr/wp-content/uploads/201803_WMO_2017ClimateReport.pdf/.
6. Соловьев А.Н. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. – М.: Пасьева, 2005. – 288 с.
7. Малинин В.Н., Гурьянов Д.А. Межгодовая изменчивость климатических сезонов в Санкт-Петербурге // Изв. Рус. геогр. о-ва. – 2015. – Т. 147, Вып. 5. – С. 17–27.
8. Doi H., Gordo O., Mori T., Kubo M.T. A macroecological perspective for phenological research under climate change // Ecol. Res. – 2017. – V. 32, No 5. – P. 633–641. – doi: 10.1007/s11284-017-1480-1.
9. Коломыйц Э.Г. Прогноз влияния глобальных изменений климата на зональные экосистемы Волжского бассейна // Экология. – 2006. – № 6. – С. 429–440.
10. Минин А.А., Ранькова Э.Я., Рыбина Е.Г., Буйволово Ю.А., Сапельникова И.И., Филатова Т.Д. Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 г. 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. – 2017. – Т. 28, № 3. – С. 5–22. – doi: 10.21513/0207-2564-2017-3-5-22
11. Phenology and Climate Change / Ed. by X. Chang. – Croatia, 2012. – 331 p.
12. Окшешева Л.Н., Филандышева Л.Б. Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири. – Томск: Изд. дом ТГУ, 2015. – 328 с.
13. Semenov V.A. Arctic warming favours extremes // Nat. Clim. Change. – 2012. – V. 2, No 5. – P. 315–316. – doi: 10.1038/nclimate1502.
14. Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Gulev S.K., Koltermann P. Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years // J. Clim. – 2013. – V. 26, No 6. – P. 2022–2047. – doi: 10.1175/JCLI-D 11–00498.1.
15. Mann M.E., Rahmstorf S., Kornhuber K., Steinman B.A., Miller S.K., Coumou D. Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events // Sci. Rep. – 2017. – No. 7. – Art. 45242, P. 1–10. – doi: 10.1038/srep45242.

16. Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. Влияние погодно-климатических аномалий 2010 года на состояние растений средних широт востока Русской равнины // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2011. – Вып. 4. – С. 8–20.
17. Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. Жизнедеятельность животных средних широт востока Русской равнины в условиях погодно-климатических аномалий // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 2. – С. 137–151. – doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.137rus.
18. Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. Фенологические последствия холодного лета 2017 года // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 2019. – Т. 124, Вып. 2. – С. 3–15.
19. Шихова Т.Г., Соловьев А.Н. Вторичное цветение растений в современных условиях // Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования: Материалы Всерос. с междунар. уч. науч. конф. – Пенза, 2016. – С. 207–210.
20. Kramer K., Leinonen I., Loustau D. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: An overview // Int. J. Biometeorol. – 2000. – V. 44, No 2. – P. 67–75. – doi: 10.1007/s004840000066.
21. Thuiller W., Lavergne S., Roquet C., Boulangeat I., Lafourcade B., Araujo M.B. Consequences of climate change on the tree of life in Europe // Nature. – 2011. – V. 470, No 7335 – P. 531–534. – doi: 10.1038/nature09705.
22. Delbart N., Picard G., Toan T.L., Kergoats L., Quengan S., Woodwand I., Dye D., Fedotava V. Spring phenology in boreal Eurasia over a nearly century time scale // Global Change Biol. – 2008. – V. 14, No 3. – P. 603–614.
23. Gill A.L., Gallinat A.S., Sanders-DeMott R., Rigden A.J., Gianotti D.J.S., Mantooth J.A., Templer P.H. Changes in autumn senescence in northern hemisphere deciduous trees: A metaanalysis of autumn phenology studies // Ann. Bot. – 2015. – V. 116, No 6. – P. 875–888. – doi: 10.1093/aob/mcv055.
24. Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. – 242 с.
25. Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Исмагилов Н.В. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа // Гидрометеорол. исслед. и прогнозы. – 2019. – № 1. – С. 67–94.
26. Шульц Г.Э. Общая фенология. – Л.: Наука, 1981. – 188 с.
27. Соловьев А.Н. Сезонные наблюдения в природе. Методика и программа фенологического мониторинга. Методическое пособие. – Киров, 2005. – 96 с.
28. Климат Кирова. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 215 с.
29. Погодные сервисы. – 2020. – URL: http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php/.
30. Погода и климат. – 2020. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27199.htm/>.
31. Буторина Т.Н., Крутовская Е.А. Сезонные ритмы природы Средней Сибири (Красноярский край). – М.: Наука, 1972. – 156 с.
32. WMO Guide to Climatological Practices, Third edition. WMO-No. 100. – Geneva, Switzerland: World Meteorol. Organization, – 2011. – 117 p. – URL: <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-480-WMO-100.pdf/>.

Шихова Татьяна Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
им. проф. Б.М. Житкова

ул. Преображенская, д.79, г. Киров, 610020, Россия

E-mail: *biota.vniioz@mail.ru*

Соловьев Альберт Николаевич, доктор биологических наук, кандидат географических наук,
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
им. проф. Б.М. Житкова

ул. Преображенская, д.79, г. Киров, 610020, Россия

E-mail: *biomon@mail.ru*

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2021, vol. 163, no. 2, pp. 289–301

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301

**Dynamics of the Borders of Phenological Seasons
in the East of the Russian Plain (Kirov, Russia)**

*T.G. Shikhova**, *A.N. Soloviev***

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, 610020 Russia

E-mail: **biota.vniioz@mail.ru, **biomon@mail.ru*

Received April 12, 2021

Abstract

Using the phenological database covering the period of 1961–2019 for Kirov (58°36' N, 49°40' E), the regional features of changes in the seasonal rhythms were analyzed. Mean values were calculated for 1981–2010. Additional types of seasonal rhythms with parameters deviating from the mean values by more than $\pm 2\sigma$ were identified. The normal onset of spring, summer, and autumn was more characteristic of the 2000s (50–70%), while the anomalous seasons (with the onset dates and duration deviating significantly from the norm) prevailed in 1991–2000 and 2010–2019, respectively. The trend of variability in the ratio of phenological seasons (shorter winter and spring, longer summer and autumn) began in the middle of the 20th century and has persisted so far. In the last 30 years, compared with the base period of 1961–1990, winter and spring have begun later, but the onsets of summer and autumn have taken place earlier. The duration of winter and spring has kept decreasing. Summer has lengthened slightly. Autumn has become significantly longer. A negative correlation was established between the durations of autumn and winter ($r = -0.65$), autumn and spring ($r = -0.61$). The revealed phenological trends of the 21st century (the shift in the onset of the seasons, as well as the change in their duration and the increase in the amplitude of their time parameters) have been consistent with the modern restructuring of the climate regime. The data obtained on the dynamics of the natural seasons are important for assessing the response of natural ecosystems in the region to weather and climate fluctuations.

Keywords: dynamics of mean dates, duration of seasons, phenological anomalies, Kirov region

Figure Captions

Fig. 1. Proportion of the phenological seasons with normal onset dates in 1961–2019, %.

Fig. 2. Proportion of the phenological seasons with anomalous onset dates: *a*) spring, *b*) summer, *c*) autumn, *d*) winter – for 1961–2019, %.

Fig. 3. Dynamics of the onset dates of the seasons in 1961–2019 (averaged over 10 years): *a*) spring and summer, *b*) autumn and winter. Dashed lines are the second-degree polynomial trends.

Fig. 4. Dynamics of the average annual air temperature values in Kirov (averaged over 3 years) and duration of the phenological seasons in 1961–2019: *a*) spring and autumn, *b*) winter and summer. Dashed lines are the second-degree polynomial trends.

References

1. Gruza G.N., Ran'kova E.Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukha* [Observed and Expected Climate Change in Russia: Air Temperature]. Obninsk, FBGU "VNIIGMI-MTsD", 2012. 194 p. (In Russian)
2. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii: Tekhnicheskoe rezyume* [The Second Assessment Report of the Roshydromet on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation: Technical Summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014. 60 p. (In Russian)
3. Perevedentsev Yu.P., Aukhadeev T.R., Shantalinskii K.M. Spatial and temporal variability of atmospheric pressure and air temperature in the northern hemisphere. *Ross. Zh. Prikl. Ekol.*, 2016, vol. 3, no. 7, pp. 3–9. (In Russian)
4. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2019 god* [Report on Climate Features in the Territory of the Russian Federation for 2019]. Moscow, 2020. 97 p. (In Russian)
5. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017. WMO-No 1212*. Geneva, Switzerland, World Meteorol. Organ., 2018. 40 p. Available at: https://www.cls.fr/wp-content/uploads/201803_WMO_2017ClimateReport.pdf.
6. Soloviev A.N. *Biota i klimat v XX stoletii. Regional'naya fenologiya* [Biota and Climate in the 20th Century. Regional Phenology]. Moscow, Pas'va, 2005. 288 p. (In Russian)
7. Malinin V.N., Gur'yanov D.A. The interannual variability of climatic seasons in St. Petersburg. *Izv. Russ. Geogr. O-va.*, 2015, vol. 147, no. 5, pp. 17–27. (In Russian)
8. Doi H., Gordo O., Mori T., Kubo M.T. A macroecological perspective for phenological research under climate change. *Ecol. Res.*, 2017, vol. 32, no. 5, pp. 633–641. doi: 10.1007/s11284-017-1480-1.
9. Kolomyts E.G. Prognosis of the impact of global climate change on zonal ecosystems of the Volga River Basin. *Russ. J. Ecol.*, 2006, vol. 37, no. 6, pp. 391–401. doi: 10.1134/S1067413606060051.
10. Minin A.A., Rankova E.Ya., Rybina E.G., Buivolov Yu.A., Sapel'nikova I.I., Filatova T.D. Phenoinidication of the climate change in 1976–2015 for the central part of European Russia: Warty (silver) birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.), Common mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.). *Probl. Ekol. Monit. Model. Ekosist.*, 2017, vol. 28, no. 3, pp. 5–22. doi: 10.21513/0207-2564-2017-3-5-22. (In Russian)
11. *Phenology and Climate Change*. Chang X. (Ed.). Croatia, 2012. 331 p.
12. Okisheva L.N., Filandysheva L.B. *Vremennaya dinamika i funktsionirovanie landshaftov Zapadnoi Sibiri* [Temporal Dynamics and Landscape Functioning in Western Siberia]. Tomsk, Izd. Dom TGU, 2015. 328 p. (In Russian)
13. Semenov V.A. Arctic warming favours extremes. *Nat. Clim. Change*, 2012, vol. 2, no. 5, pp. 315–316. doi: 10.1038/nclimate1502.
14. Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Gulev S.K., Koltermann P. Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years. *J. Clim.*, 2013, vol. 26, no. 6, pp. 2022–2047. doi: 10.1175/JCLI-D 11–00498.1.
15. Mann M.E., Rahmstorf S., Kornhuber K., Steinman B.A., Miller S.K., Coumou D. Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events. *Sci. Rep.*, 2017, no. 7, art. 45242, pp. 1–10. doi: 10.1038/srep45242.
16. Soloviev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. The influence of weather and climatic anomalies in 2010 on plants in the middle latitudes of the eastern part of the Russian Plain. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki Zemle*, 2011, no. 4, pp. 8–20. (In Russian)

17. Soloviev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. The influence of climatic anomalies on animals in the middle latitudes of the east of the Russian Plain. *S.-kh. Biol.*, 2015, vol. 50, no. 2, pp. 137–151. doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.137rus. (In Russian)
18. Soloviev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. Phenological consequences of the cold summer of 2017. *Byull. Otd. Biol.*, 2019, vol. 124, no. 2, pp. 3–15. (In Russian)
19. Shikhova T.G., Soloviev A.N. Secondary flowering of plants in modern conditions. *Sovremennye kontseptsii ekologii biosistem i ikh rol' v reshenii problem sokhraneniya prirody i prirodopol'zovaniya: Materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem* [Modern Concepts of Biosystem Ecology and Their Role in Solving the Problems of Nature Conservation and Management: Proc. All-Russ. Sci. Conf. Int. Participation]. Penza, 2016, pp. 207–210. (In Russian)
20. Kramer K., Leinonen I., Loustau D. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: An overview. *Int. J. Biometeorol.*, 2000, vol. 44, no. 2, pp. 67–75. doi: 10.1007/s004840000666.
21. Thuiller W., Lavergne S., Roquet C., Boulangeat I., Lafourcade B., Araujo M.B. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, 2011, vol. 470, no. 7335, pp. 531–534. doi: 10.1038/nature09705.
22. Delbart N., Picard G., Toan T.L., Kergoats L., Quengan S., Woodward I., Dye D., Fedotava V. Spring phenology in boreal Eurasia over a nearly century time scale. *Global Change Biol.*, 2008, vol. 14, no. 3, pp. 603–614.
23. Gill A.L., Gallinat A.S., Sanders-DeMott R., Rigden A.J., Gianotti D.J.S., Mantooth J.A., Templer P.H. Changes in autumn senescence in northern hemisphere deciduous trees: A meta-analysis of autumn phenology studies. *Ann. Bot.*, 2015, vol. 116, no. 6, pp. 875–888. doi: 10.1093/aob/mcv055.
24. Perevedentsev Yu.P., Frenkel M.O., Shaimardanov M.Z. *Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh uslovii i resursov Kirovskoi oblasti* [Modern Changes of the Climatic Conditions and Resources in the Kirov Region]. Kazan, Kazan. Gos. Univ., 2010. 242 p. (In Russian)
25. Perevedentsev Yu.P., Wilfand R.M., Shantalinskii K.M., Gur'yanov V.V., Nikolaev A.A., Ismagilov N.V. Monitoring and prediction of climate variability in the Volga federal district. *Gidrometeorol. Issled. Prognozy*, 2019, no. 1, pp. 67–94. (In Russian)
26. Schulz G.E. *Obshchaya fenologiya* [General Phenology]. Leningrad, Nauka, 1981. 188 p. (In Russian)
27. Soloviev A.N. *Sezonnye nablyudeniya v prirode. Metodika i programma fenologicheskogo monitoringa. Metodicheskoe posobie* [Seasonal Observations in Nature. Methods and Program of Phenological Monitoring. Guidance Manual]. Kirov, 2005. 96 p. (In Russian)
28. *Klimat Kirova* [The Climate of Kirov]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982. 215 p. (In Russian)
29. Weather services, 2020. Available at: http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php/.
30. Weather and climate, 2020. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27199.htm/>.
31. Butorina T.N., Krutovskaya E.A. *Sezonnye ritmy prirody Srednei Sibiri (Krasnoyarskii kraj)* [Seasonal Rhythms of Nature in Central Siberia (Krasnoyarsk Region)]. Moscow, Nauka, 1972. 156 p. (In Russian)
32. *WMO Guide to Climatological Practices, 3rd ed., WMO-No. 100*. Geneva, Switzerland, World Meteorol. Organ., 2011. 117 p. Available at: <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-480-WMO-100.pdf/>.

Для цитирования: Шихова Т.Г., Соловьев А.Н. Динамика границ фенологических сезонов на востоке Русской равнины (г. Киров) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 2. – С. 289–301. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301.

For citation: Shikhova T.G., Soloviev A.N. Dynamics of the borders of phenological seasons in the east of the Russian Plain (Kirov, Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 2, pp. 289–301. doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301. (In Russian)