

Научная статья
УДК 582.47:551.58:502.5 (470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД ЛАПЛАНДСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И ИХ СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Николай Сергеевич Рябов¹, Наталья Владимировна Зануздаева², Людмила Георгиевна Исаева³

^{1,3}Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

²Лапландский государственный природный биосферный заповедник, Мончегорск, Россия

¹n.ryabov@ksc.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4611-9207>

²natazan@mail.ru

³l.isaeva@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

Аннотация

Охарактеризован температурный режим за 29 лет (1994–2022) по метеостанции г. Мончегорска. Приведены средние даты наступлений 9 фенологических фаз у сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea obovata* Ledeb.). За рассматриваемый период значимые тренды обнаружены только для нескольких фенологических фаз ели. При сравнении дат наступления фенофаз «начало разворачивания хвои» для ели и «начало цветения» сосны за период с 2013 по 2022 г. с датами периода с 1964 по 1972 г. обнаружены значимые сдвиги в сторону более раннего наступления этих фенофаз (на 10 и 8 суток соответственно). Для сосны и ели по девяти фенофазам были определены корреляционные связи со среднемесячными температурами воздуха, выявлена высокая зависимость наступления ряда фенологических фаз от температур мая у ели и июня у сосны.

Ключевые слова:

Pinus sylvestris L., *Picea obovata* Ledeb., фенологические фазы, климат, фенология, фенологический сдвиг, Лапландский заповедник

Для цитирования:

Рябов Н. С., Зануздаева Н. В., Исаева Л. Г. Анализ изменения сезонных явлений хвойных пород Лапландского заповедника и их связь с климатическими факторами // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 51–62. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007.

Original article

ANALYSIS OF SEASONAL EVENTS CHANGES OF LAPLAND STATE NATURE RESERVE CONIFEROUS SPECIES AND THEIR RELATIONS TO CLIMATE FACTORS

Nickolay S. Ryabov¹, Natalia V. Zanuzdayeva², Ludmila G. Isaeva³

^{1,3}Institute of North industrial Ecology Problems of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

²Lapland State Nature Biosphere Reserve, Monchegorsk, Russia

¹n.ryabov@ksc.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4611-9207>

²natazan@mail.ru

³l.isaeva@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

Abstract

The temperature regime for 29 years (1994–2022) at the weather station of Monchegorsk City is characterized. The average dates of onset of 9 phenological phases in pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea obovata* Ledeb.) are given; for the period under consideration, significant trends were found only for several phenological phases of spruce. When comparing the dates of the phenophases "beginning of needle unfolding" for spruce and "beginning of flowering" for pine for the period from 2013 to 2022 with the dates of the period from 1964 to 1972, significant shifts towards earlier onset of these phenophases (by 10 and 8 days, respectively) were found. Correlations with mean monthly air temperatures were determined for nine phenophases for pine and spruce, and a high dependence of the onset of a number of phenological phases on temperatures in May for spruce and June for pine was revealed.

Keywords:

Pinus sylvestris L., *Picea obovata* Ledeb., phenological phases, climate, phenology, phenological shift, Lapland Reserve

For citation:

Ryabov N. S., Zanuzdayeva N. V., Isaeva L. G. Analysis of seasonal events changes of Lapland State Nature Reserve coniferous species and their relations to climate factors. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 51–62. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007.

Введение

Одним из важнейших направлений современной науки является изучение процессов изменения климата, где более актуальным становится выявление динамики климатических условий на основе изучения фенологических процессов [23]. Исследования фенологии растений приобретают особенное значение и распространение благодаря биоиндикационной способности живых организмов в вопросах влияния изменения климата на биоту [11]. Это связано с гидротермическими факторами, которые являются значимыми в жизни живых существ [25]. Однако определяющая роль температурного фактора верна только для весенне-летних фитофеноявлений [21]. Биологические виды по-разному и неоднозначно реагируют на климатические изменения. Одним из показателей климатических изменений является смещение дат наступления фенологических фаз растений [26; 28]. Такие смещения наблюдаются как во всем мире [27; 30; 33; 35], так и в России [12; 14; 22; 34; 36].

Обнародование и обработка результатов многолетних наблюдений за природой Арктического региона имеет особое значение [16]. Причинами тому являются, во-первых, накапливаемые преимущественно заповедниками, огромные массивы данных, осмысление и обработка которых важны для исследования причинной зависимости сроков наступления отдельных явлений от условий среды и в целом природы фенологических процессов в то или иное время года [21]. Во-вторых, территориальный фактор — заполярное положение заповедника, который обуславливает хрупкость экосистем, скудное биоразнообразие и короткий период вегетации. Прогнозирование климатических изменений и их влияния на природу Арктики — крайне сложная задача [10]. В-третьих, важность наблюдения за древесными растениями и обработки многолетних данных по датам наступления фенологических фаз, так как сосна и ель являются основными лесообразующими породами в Мурманской области, их плодоношение влияет на лесовозобновление, также семена хвойных пород являются кормом для многих лесных животных [9]. Известно, что деревья более устойчивы к стрессовым экзогенным условиям, поскольку у них более развита морфологическая адаптация и продолжительность жизни, поэтому изучение именно дендрофенологии наиболее показательно для индикации природных трансформаций на экосистемном уровне [3].

Изучение закономерностей развития сезонных процессов — это одна из ключевых задач Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Он был создан в 1930 г. в центральной части Мурманской области, территория его полностью входит в подзону северной тайги. Фенологические наблюдения в заповеднике ведутся со времени его основания. В 1961 г. была написана первая книга «Летопись природы», с этого времени она формируется ежегодно.

Цель данного исследования — оценить взаимосвязи наступления фенологических фаз сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с датами устойчивых переходов среднесуточных температур, оценить достоверность фенологических сдвигов.

Материалы и методы

Фенологические наблюдения ведутся по двум методикам [1; 24]. Учет плодоношения сосны и ели в Лапландском заповеднике организован с 1964 г. [9] на трех стационарах в долинах рек Верхняя Чуна и Мавра, в сосняках кустарничково-лишайниковых и в ельниках кустарничково-зеленомошных; на трех стационарах в районе расположения усадьбы заповедника. Фенологические наблюдения за высшими растениями ведутся на трех постоянных маршрутах, два из которых были заложены в 1936 г., третий — в 1994 г.

С 1994 г. наблюдение за сосной и елью сместилось из стационаров в район Чунозерской усадьбы, и тогда же значительно расширилось количество отмечаемых у растений фенологических фаз [2; 18; 19]. Ежегодно у хвойных пород на территории заповедника фиксируются следующие фенофазы: «лопнули почки», «начало развития хвои», «появление полного листа», «начало бутонизации», «начало цветения», «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание». В соответствии с рекомендациями [17], названия фенофаз были приведены в единый формат по руководству А. А. Минина [13] с учетом специфики природы Мурманской области [16] с указанием международного номера фазы [31; 32]. В данной статье представлены результаты обработки данных наступления фаз у сосны и ели за период с 1994 по 2022 г.

Температурные данные взяты по метеостанции г. Мончегорска, расположенной в 30 км от фенологического маршрута в северном направлении. Даты наступления фенофаз переводились в непрерывный ряд чисел от 1 марта по Г. Н. Зайцеву [7]. Значения коэффициентов корреляции даны на уровне значимости $p < 0,05$.

Использовался линейный регрессионный анализ, заключающийся в построении линий тренда, нахождении коэффициента корреляции (r), детерминации (R^2) и вероятности ошибки (p). Также для определения достоверности смещений дат наступлений применялся непараметрический статистический критерий Манна — Уитни. Для статистической обработки данных использовались программы MS Excel и Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

В период с 1994 по 2022 г. наблюдалась положительная динамика среднегодовых температур в г. Мончегорске (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха за рассматриваемый период составила $+0,89^\circ\text{C}$. По показателям температуры воздуха самый теплый год — 2020 ($+2,3^\circ\text{C}$), наиболее холодный — 1998 г. ($-2,17^\circ\text{C}$). Линейный тренд за период (1994–2022 гг.) показывает смещение температуры атмосферного воздуха в сторону повышения, аналогичный результат получен и за период 1971–2020 гг. [8].

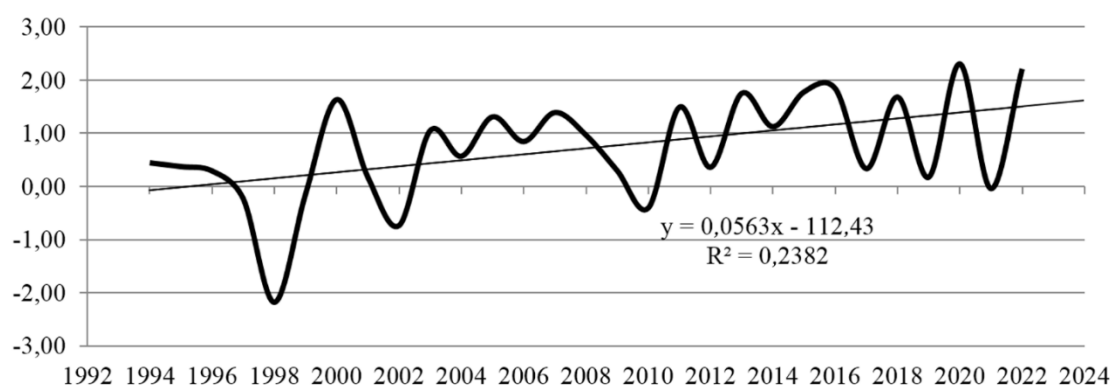


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха в г. Мончегорске за период 1994–2022 гг.

В динамику среднегодовых температур наибольший вклад вносили температуры мая ($R^2 = 0,24$), в меньшей степени — апреля и ноября ($R^2 = 0,11$). Для рассматриваемого периода характерно увеличение количества дней с температурами выше $+5^\circ\text{C}$ ($R^2 = 0,19$), в особенности у весенних месяцев — апреля и мая ($R^2 = 0,20$). Характерно также увеличение сумм положительных среднесуточных температур для весенних месяцев ($>0^\circ\text{C}$, $>5^\circ\text{C}$; $R^2 = 0,20$), для летних — июль-август — отмечен рост сумм температур $>10^\circ\text{C}$ ($R^2 = 0,16$). Проведенный анализ динамики зимних оттепелей (ноябрь-март) выраженной и статистически значимой динамики не показал.

Среднегодовая температура воздуха за период с 1994 по 2022 г. стала выше на $1,53^\circ\text{C}$ средней температуры за период с 1961 по 1990 г. и выше на $0,74^\circ\text{C}$ среднегодовой температуры периода с 1981 по 2010 г. Среднегодовая температура за десятилетие с 2013 по 2022 г. уже на $2,1^\circ\text{C}$ превысила норму периода с 1961 по 1990 г. и на $1,3^\circ\text{C}$ — норму периода с 1981 по 2010 г., что соответствует мировой тенденции повышения среднегодовой температуры [29] и локальным прогнозам по стране и региону [5; 6].

Средние даты фенологических фаз сосны обыкновенной и ели представлены в табл. 1. Сосна обыкновенная не показывает достаточно выраженной динамики по смещению наступления фенофаз. Тенденция к смещению на более ранние сроки наступления проявляют фенофазы начала цветения и массового цветения (рис. 2), однако показатели коэффициента детерминации статистически незначимы ($R^2 = 0,12$).

Таблица 1

Средние даты наступления фенологических фаз у хвойных пород
за период с 1994 по 2022 г.

Фенофаза	Сосна			Ель		
	Дата наступления	Кол-во наблюдений	R ²	Дата наступления	Кол-во наблюдений	R ²
Начало роста (BBCH 10)	11.06 ± 10	14	-0,07	8.06 ± 7	15	-0,29*
Начало разворачивания хвои (BBCH 11)	20.06 ± 10	25	-0,01	14.06 ± 7	28	-0,14
Полное облиствение** (BBCH 12-13)	18.07 ± 6	25	-0,02	12.07 ± 7	28	-0,09
Начало бутонизации (BBCH 51)	20.06 ± 6	29	0,00	11.06 ± 7	27	-0,13
Начало цветения (BBCH 61)	25.06 ± 6	29	-0,12	16.06 ± 7	28	-0,23*
Массовое цветение (BBCH 65)	28.06 ± 7	29	-0,12	19.06 ± 8	28	-0,25*
Начало отцветания (BBCH 66-67)	30.06 ± 7	25	-0,03	21.06 ± 8	24	-0,19*
Массовое отцветание (BBCH 68-69)	4.07 ± 7	25	-0,002	25.06 ± 9	24	-0,18*
Полное отцветание (BBCH 69)	9.07 ± 8	29	-0,08	1.07 ± 9	27	-0,20*

Примечание. В скобках даны названия фенофаз по международной классификации; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения.

* Отмечены значения R², значимые на 95 %-м уровне, знак добавлен для понимания направленности тренда.

** Полное завершение роста хвои текущего года.

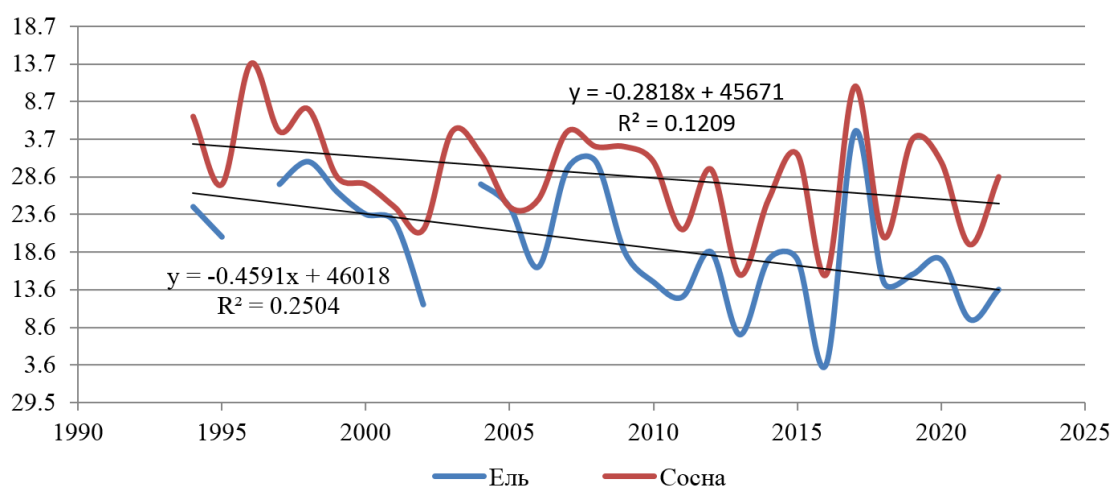


Рис. 2. Динамика дат начала массового цветения сосны и ели

В среднем все фенологические фазы развития сосны происходят на 8 ± 6 суток позже фаз развития ели. За десятилетие с 2013 по 2022 г. фазы развития сосны происходили в среднем уже на 10 ± 6 суток позже фаз развития ели. Увеличение разницы в наступлении фенофаз

наблюдавшихся хвойных деревьев заповедника происходит за счет ели сибирской. Выявлено статистически значимое смещение сроков наступления на более ранние даты следующих фаз развития ели: «начало роста», «начало цветения» и «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание» ($R^2 = 0,18...0,29$).

Для двух пород деревьев было проведено сравнение средних дат наступления восьми фенологических фаз за десятилетие с 1994 по 2003 г. и за пять лет с 2018 по 2022 г. (табл. 2). Фенологический этап начала роста не обрабатывался по причине пробелов в данных. Применение непараметрического статистического критерия Манна — Уитни показало, что значимые временные сдвиги фенологических дат имелись только для фенологических фаз ели. Фенодаты «начало цветения», «массовое цветение» наступили раньше на 7 и 9 дней соответственно, а «начало отцветания», «массовое отцветание» и «полное отцветание» — на 9, 10 и 12 дней соответственно.

Таблица 2

Анализ временных сдвигов начала фенологических фаз ели сибирской и сосны обыкновенной

Фенологическая фаза	Сосна				Ель			
	I	II	Δ_1	p_1	I	II	Δ_2	p_2
Начало разворачивания хвои	21.6±11	22.6±4	-1	0,715	17.6±6	12.6±3	5	0,205
Полное облиствение	21.7±5	18.7±5	3	0,273	14.7±7	6.7±3	8	0,064
Начало бутонизации	20.6±6	19.6±3	1	0,951	13.6±6	8.6±3	4	0,188
Начало цветения	27.6±6	22.6±4	5	0,159	19.6±6	12.6±3	7	0,028
Массовое цветение	1.7±7	26.6±6	5	0,221	23.6±6	14.6±3	9	0,023
Начало отцветания	2.7±4	28.6±8	4	0,411	24.6±4	15.6±5	9	0,022
Массовое отцветание	6.7±4	6.7±5	0	0,855	28.6±4	18.6±6	10	0,028
Полное отцветание	12.7±7	9.7±5	3	0,501	4.7±7	23.6±7	12	0,034

Примечание: I — средняя дата наступления во временной период с 1994 по 2003 г.; II — средняя дата наступления во временной период с 2018 по 2022 г.; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения; $\Delta_i = I - II$ — смещение сроков наступления феноявления, округленных до целых суток.

Несколько иная картина наблюдалась в заповеднике «Столбы» [14], где, хотя и анализировались данные за более длительный период (1952–2008 гг.), был выявлен достоверный сдвиг фенофазы «начало разворачивания хвои» у сосны (на 11 дней раньше в период с 1990 по 2008 г. по сравнению с периодом с 1952 по 1989 г.), на 22 дня раньше у сосны регистрировалось «полное облиствение», ель же показывала достоверное смещение только по фенофазе «полное облиствение» (на 8 дней раньше). В Лапландском заповеднике сосна и ель за исследуемый период не проявляли достоверных смещений по данным фенофазам.

На основе доступных литературных источников [20] были обработаны данные по двум фенологическим фазам — «начало разворачивания хвои» у ели и «начало цветения» у сосны — за девять лет с 1964 по 1972 г. и выполнено сравнение этих фенодат в различные периоды с 1994 по 2022 г. (табл. 3). Выявлено, что средние даты наступления этих фенофаз за девять лет (с 1964 по 1972 г.) достоверно не отличаются от средних дат наступления за период с 1994 по 2003 г. и за период с 1994 по 2022 г. При этом при сравнении данных за десятилетие с 2013 по 2022 г. с более ранним периодом (1964–1972) обнаружено значимое различие дат наступления как для ели, так и для сосны (смещение к более раннему наступлению на 10 и 8 суток соответственно). Однако необходимо отметить, что в период с 1964 по 1972 г. сбор данных по сосне и ели осуществлялся на специальных стационарах, тогда как с 1990-х гг. фенологическая информация собиралась в районе Чунозерской усадьбы Лапландского заповедника.

Подобные результаты по фенофазе «начало цветения» были обнаружены в Печоро-Илычском заповеднике [4]. Сравнивались даты наступления в период с 1961 по 1990 г. и с 2003 по 2016 г., был определен достоверный сдвиг к более раннему наступлению цветения у сосны и у ели (на 7 суток).

Таблица 3

Временные сдвиги фенофаз сосны и ели (сравнение с периодом 1964–1972 гг.)

Период	Начало цветения сосны			Начало разворачивания хвои ели		
	Дата наступления	Δ	p	Дата наступления	Δ	p
1964–1972	30.6 ± 5			20.6 ± 5		
1994–2003	27.6 ± 6	3	0,306	17.6 ± 6	4	0,289
1994–2022	25.6 ± 6	5	0,285	14.6 ± 7	7	0,314
2013–2022	22.6 ± 8	8	0,036	11.6 ± 8	10	0,003

Примечание. Полужирным отмечен период, с которым сравниваются все последующие; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения; Δ — смещение сроков наступления феноявления, округленных до целых суток, в сравнении с периодом с 1964 по 1972 г.

Рассчитанные величины коэффициентов корреляции позволили выделить наиболее сильные статистически достоверные связи наступления фенологических фаз со среднемесячными температурами воздуха за 29 лет — с 1994 по 2022 г. (табл. 4).

Таблица 4

Значения коэффициентов корреляций среднемесячных температур воздуха и фенофаз сосны и ели

Фенологическая фаза	Сосна		Ель	
	Месяц	r	Месяц	r
Начало роста	Январь	0,62	Май	-0,62
Начало разворачивания хвои	Январь	0,51	Май	-0,59
	Май	-0,51		
Полное облиствение	Май	-0,50	Июнь	-0,56
Начало бутонизации	Июнь	-0,64	Май	-0,67
Начало цветения	Июнь	-0,70	Май	-0,72
Массовое цветение	Июнь	-0,74	Май	-0,74
Начало отцветания	Июнь	-0,71	Май	-0,68
Массовое отцветание	Май	-0,59	Май	-0,64
Полное отцветание	Май	-0,64	Май	-0,63

Результаты показывают, что сильная отрицательная корреляционная связь с температурами мая характерна для фенофаз «начало цветения» и «массовое цветение» ели ($r = -0,72 \dots -0,74$). «Начало цветения», «массовое цветение» и «начало отцветания» сосны обладают сильной отрицательной корреляционной связью с температурами июня. Стоит выделить наличие положительной достоверной корреляционной связи фенофаз «начало роста» и «начало разворачивания хвои» сосны с январскими температурами.

Заключение

Рассмотрен температурный режим по метеостанции г. Мончегорска. Климатические тенденции в целом подобны общероссийской и мировой динамике потепления. Среднегодовая температура за десятилетие с 2013 по 2022 г. увеличилась на 2,1 °C по сравнению с нормой температуры за 1961–1990 гг. и стала на 1,26 °C выше нормы среднегодовой температуры периода с 1981 по 2010 г.

Проанализирована динамика изменений наступления фенологических фаз сосны и ели за 29 лет. Обнаружено, что сосна не проявляет достоверных смещений фенофаз к раннему или позднему наступлению, тогда как для фенофаз ели («начало роста», «начало цветения» и «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание») характерен достоверный тренд

к более раннему наступлению ($R^2 = 0,18 \dots 0,29$). Это подтверждается анализом временных сдвигов наступления выше упомянутых фенологических фаз, кроме «начало роста»: существует достоверный сдвиг к более ранним датам наступления (на 7–12 суток).

Сравнение данных наступления фенофаз «начало разворачивания хвои» у ели и «начало цветения» у сосны с 1964 по 1972 г. с периодом 2013–2022 гг. показало достоверное смещение в наступлении этих феноявлений как для ели, так и для сосны на 10 и 8 суток соответственно.

Для сосны и ели по девяти фенофазам были определены корреляционные связи со среднемесячными температурами воздуха (за период 1994–2022 гг.), выявлена высокая зависимость наступления фенологических фаз от температур разных месяцев, особенно мая у ели ($r = -0,59 \dots -0,74$) и июня у сосны ($r = -0,64 \dots -0,74$).

Данные многолетних фенологических наблюдений — единственный массовый, сопоставимый и достоверный источник информации о реакции живой природы на изменения климата, собственно, об изменениях в природе регионов и России в целом. Основная цель научных исследований заповедников — изучение функционирования природных комплексов. Неотъемлемой частью таких исследований является изучение характера фенологических процессов. Поэтому очень важно продолжить эти исследования и именно на тех стационарах, маршрутах и объектах, где ведется длительный период наблюдений. Многолетнее накопление дат наступления сезонных явлений в природе позволяет выявлять общие и частные пространственные и временные закономерности ритмики местной природы.

Список источников

1. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974. 154 с.
2. Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В., Исаева Л. Г. Организация и проведение фенологических наблюдений в Лапландском заповеднике // Летопись природы России: фенология. Материалы I Международной фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике. Великие Луки, 2018. С. 18–25.
3. Бисикалова Е. А. Влияние природно-климатических факторов на дендрофенологию в заповеднике «Кедровая падь» // Летопись природы России: фенология. Материалы I Международной фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике. Великие Луки, 2018. С. 26–35.
4. Бобрецов, А. В., Тertiца Т. К., Теплова В. П. Влияние изменения климата на фенологию растений и животных юго-восточной части Республики Коми (Печоро-Илычский биосферный заповедник) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28, № 4. С. 74–93. doi:10.21513/0207-2564-2017-4-74-93.
5. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
6. Демин В. И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3 (10). С. 98–110.
7. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1984. 424 с.
8. Зануздаева Н. В., Каримова М. Е. Влияние изменений климата на феноявления в Лапландском государственном заповеднике (Мурманская область) // Труды Кольского НЦ РАН. Серия: Прикладная экология Севера. 2021. Вып. 9. С. 169–174. doi:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.022.
9. Заповедники Европейской части РСФСР. Ч. 1. М.: Мысль, 1988.
10. Климатический паспорт Кольского экорегиона. М.: Всемирный фонд природы, 2003. 26 с. ISBN 5-89932-033-8.

11. Кузнецова, В. В., Минин А. А., Голубева Е. И. Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 66–71.
12. Минин А. А. [и др.] 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. 2017. Т. 28, № 3. С. 5–22. doi:10.21513/0207-2564-2017-3-5-22.
13. Минин А. А., Ананин А. А., Буйволов Ю. А., Ларин Е. Г., Лебедев П. А., Поликарпова Н. В., Прокошева И. В., Руденко М. И., Сапельникова И. И., Федотова В. Г., Шуйская Е. А., Яковлева М. В., Янцер О. В. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Т. 5, № 4. С. 89–110. doi:10.24189/ncr.2020.060.
14. Овчинникова Т. М., Фомина В. А., Андреева Е. Б. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника «Столбы» в связи с климатическими факторами // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1–2. С. 54–59.
15. Поликарпова Н. В., Макарова О. А. Фенологический атлас растений / под ред. канд. биол. наук А. В. Кравченко. На русск. и англ. яз. Рязань: НП «Голос губернии», 2016. 236 с.
16. Поликарпова Н. В., Макарова О. А., Берлина Н. Г., Зануздаева Н. Г., Толмачева Е. Л., Татарникова И. П., Чемякин Р. Г. Календарь природы заповедников Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы VI Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2016. С. 137–142.
17. Сапельникова, И. И., Шуйская Е. А., Прокошева И. В. Математическая обработка фенологических данных для задач ООПТ // Изменения климата и погодные аномалии: механизмы и эффективность фенологических гомеостатических реакций: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 7–10 сентября 2022 года) / под ред. О. В. Янцер, А. М. Юровских, Н. С. Братанова. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2022. С. 121–136.
18. Сезонная жизнь природы Кольского Севера. Мурманск, 1996. 41 с.
19. Сезонная жизнь природы Кольского Севера (Растения). 1994–2000 гг. Мурманск, 2001. 68 с.
20. Сезонная жизнь природы Русской равнины. Календари природы Нечерноземной зоны РСФСР за 1960–1972 гг. Л.: Наука, 1979. 163 с.
21. Семенов-Тянь-Шанский О. И., Аблаева З. Х. Календарь природы Лапландского заповедника // Сезонная и разногодичная динамика растительного покрова в заповедниках. М., 1983. С. 44–58.
22. Соловьев, А. Н., Шихова Т. Г. Фенологические реакции биоты востока Русской равнины на погодные аномалии // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2021. Т. 32, № 1–2. С. 37–55. doi:10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55.
23. Федотова В. Г. Современное состояние отечественной фенологии // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2009. № 4. С. 166–176.
24. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР: Метод. пособие / отв. ред. В. Е. Соколов, К. Д. Зыков. М.: Наука, 1990. 142 с. ISBN 5-02-005470-4.
25. Шульц Г. Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.
26. Amano T., Smithers R. J., Sparks T. H., Sutherland W. J. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes // Proceedings of the Royal Society of London. B. 210. V. 277, No. 1693. P. 2451–2457. doi:10.1098/rspb.2010.0291.
27. Gu H., Qiao Y., Xi Z., Rossi S., Smith N. G., Liu J. & Chen L. Author Correction: Warming-induced increase in carbon uptake is linked to earlier spring phenology in temperate and boreal forests // Nature Communications. 2022. V. 13. Article number 3698. doi:10.1038/s41467-022-31972-3.
28. Ihouye D. W. Climate change and phenology // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2022. V. 13(3). doi:10.1002/wcc.764.

29. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability and Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. NY: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844.
30. Camarero J., Campelo F., Colangelo M., Valeriano C., Knorre A., Solé G., Cuadrado Á. R. Decoupled leaf-wood phenology in two pine species from contrasting climates: Longer growing seasons do not mean more radial growth // *Agricultural and Forest Meteorology*. V. 327. 2022. doi:10.1016/j.agrformet.2022.109223.
31. Meier U. (Ed.). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph. Quedlinburg: Open Agrar Repository. 2018. 204 p.
32. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P. D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications // *Journal für Kulturpflanzen*. V. 61 (2). 2009. P. 41–52. doi:10.5073/JfK.2009.02.01.
33. 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.
34. Ovaskainen O., Meyke E., Lo C. [et al.] Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology // *Science Data*. 2020. V. 7. Article number 118. doi:10.1038/s41597-020-0454-2.
35. Pudas E., Leppälä M., Tolvanen A. [et al.] Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland // *International Journal of Biometeorology*. V. 52. 2008. P. 251–259.
36. Rosbakh, S., Hartig, F., Sandanov, D. V., Bukharova, E. V., Miller, T. K., & Primack, R. B. Siberian plants shift their phenology in response to climate change // *Global change biology*. V. 27 (18). 2021. P. 4435–4448. doi:10.1111/gcb.15744.

References

1. Bejdeman I. N. *Metodika izuchenija fenologii rastenij i rastitel'nyh soobshhestv* [Methods of studying phenology of plants and plant]. Novosibirsk, Nauka, 1974, 154 p. (In Russ.).
2. Berlina N. G., Zanzudaeva N. V., Isaeva L. G. Organizacija iprovedenie fenologicheskikh nabljudenij v Laplandskom zapovednike [Organization and conduct of phenological observations in the Lapland Reserve]. *Letopis' prirody Rossii: fenologija. Ma terialy I Mezhdunarodnoj fenologicheskoy shkoly-seminara v Central'no-Lesnom gosudarstvennom prirodnom biosfernom zapovednike* [Chronicle of Nature of Russia: phenology. Materials of the I International phenological school-seminar in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve on August 13–17, 2018], 2018, pp. 18–25. (In Russ.).
3. Bisikalova E. A. Vlijanieprirodno-klimaticheskikhfaktorovnadendrofenologiju v zapovednike “Kedrovaja pad'»” [Influence of natural-climatic factors on dendrophenology in the reserve "Kedrovaya Pad'"]. *Letopis' prirody Rossii: fenologija. Materialy I Mezhdunarodnoj fenologicheskoy shkoly-seminara v Central'no-Lesnom gosudarstvennom prirodnom biosfernom zapovednike 13–17 avgusta 2018 g. Velikie Luki* [Chronicle of Nature of Russia: phenology. Materials of the I International phenological school-seminar in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve on August 13–17, 2018], 2018, pp. 26–35. (In Russ.).
4. Bobrecov A. V., Tertica T. K., Teplova V. P. Vlijanie izmenenija klimata na fenologiju rastenij i zhivotnyh jugo-vostochnoj chaste Respubliki Komi (Pechoro-Ilychskij biosfernyj zapovednik) [Impact of climate change on the phenology of plants and animals of the southeastern part of the Komi Republic (Pechoro-Ilych Biosphere Reserve)]. *Problemy jekologicheskogo monitoring i modelirovanija jekosistem* [Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems], 2017, V. 28, № 4, pp. 74–93. doi:10.21513/0207-2564-2017-4-74-93. (In Russ.).

5. *Vtoroj ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshhee rezjume* [Second Assessment Report on Climate Change and its Impacts on the Territory of the Russian Federation. General summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 60 p. (In Russ.).
6. Demin V. I. Osnovnye klimaticheskie tendencii na Kol'skom poluostrove za period instrumental'nyh meteorologicheskikh izmerenij [Main climatic trends on the Kola Peninsula for the period of instrumental meteorological measurements]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, № 3 (10), pp. 98–110. (In Russ.).
7. Zajcev G. N. *Matematicheskaja statistika v jeksperimental'noj botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka, 1984, 424 p. (In Russ.).
8. Zanzudaeva N. V., Karimova M. E. Vlijanie izmenenij klimata na fenologicheskije javlenija v Laplandskom gosudarstvennom zapovednike (Murmanskaja oblast') [Influence of climate change on pheno-events in the Lapland State Reserve (Murmansk region)]. *Trudy Kol'skogo NC RAN. Serija: Prikladnaja jekologija Severa* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Applied Ecology of the North], 2021, V. 9, pp. 169–174. doi:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.022. (In Russ.).
9. *Zapovedniki Evropejskoj chasti RSFSR. Chast' 1* [Reserves of the European part of the USSR. Part 1]. Moscow, Mysl', 1988. (In Russ.).
10. *Klimaticheskij pasport Kol'skogo jekoregiona* [Climate Passport of the Kola Ecoregion]. Moscow, Vsemirnyj fond prirody [WWF], 2003, 26 p. ISBN 5-89932-033-8. (In Russ.).
11. Kuznecova V. V., Minin A. A., Golubeva E. I. Fenologicheskie javlenija v sisteme bioindikacii klimaticheskikh trendov [Phenological events in the system of bioindication of climatic trends]. *Problemy regional'noj jekologii* [Problems of Regional Ecology], 2014, no. 5, pp. 66–71. (In Russ.).
12. Minin A. A., Ran'kova E. Ya., Rybina E. G., Bujvolov U. A., Sapel'nikova I. I., Filatova T. D. Fenologicheskaja izmenenij klimata za period 1976–2015 gg. V central'noj chaste evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataja (povislaja) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), cheremuha obyknovennaja (*Padus avium* Mill.), rjabina obyknovennaja (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaja (*Tilia cordata* Mill.) [Phenological indication of climate change for the period 1976–2015. In the central part of the European territory of Russia: warty (hanging) birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), common bird cherry (*Padus avium* Mill.), common mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy jekologicheskogo monitoring i modelirovanija jekosistem* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems], 2017, V. 28, no. 3, pp. 5–22. doi:10.21513/0207-2564-2017-3-5-22. (In Russ.).
13. Minin A. A., Ananin A. A., Bujvolov Ju. A., Larin E. G., Lebedev P. A., Polikarpova N. V., Prokosheva I. V., Rudenko M. I., Sapel'nikova I. I., Fedotova V. G., Shujskaja E. A., Jakovleva M. V., Jancer O. V. Rekomendacii po unifikacii fenologicheskikh nabljudenij v Rossii [Recommendations on unification of phenological observations in Russia]. *Zapovednaja nauka* [Nature Conservation Research], 2020, V. 5, no. 4, pp. 89–110. doi:10.24189/ncr.2020.060. (In Russ.).
14. Ovchinnikova T. M., Fomina V. A., Andreeva E. B. Analiz izmenenij srokov sezonnyh javlenij u drevesnyh rastenij zapovednika Stolby v svjazi s klimaticheskimi faktorami [Analysis of changes in the timing of seasonal events in woody plants of the Stolby Reserve in connection with climatic factors]. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the Boreal Zone], 2011, V. 28, no. 1–2, pp. 54–59. (In Russ.).
15. Polikarpova N. V., Makarova O. A. Fenologicheskij atlas rastenij [Phenological atlas of plants]. Rjazan', Golos gubernii, 2016, 236 p. (In Russ.).
16. Polikarpova N. V., Makarova O. A., Berlina N. G., Zanzudaeva N. G., Tolmacheva E. L., Tatarnikova I. P., Chemjakin R. G. Kalendar' prirody zapovednikov Murmanskogo kraja [Calendar of nature reserves of the Murmansk region]. *Jekologicheskie problem severnyh regionov i putihreshenija: Materialy VI Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Environmental problems of the northern regions and ways to solve them: Proceedings of the VI All-Russian scientific conference with international participation]. Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2016, pp. 137–142. (In Russ.).

17. Sapel'nikova, I. I., Shujskaja E. A., Prokosheva I. V. Matematicheskaja obrabotka fenologicheskikh dannyh dlja zadach OOPT [Mathematical processing of phenological data for the tasks of protected areas]. *Izmenenija klimata i pogodnye anomalii: mehanizmy i jeffektivnost' fenologicheskikh gomeostaticeskikh reakcij: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Ekaterinburg, 7–10 sentjabrja 2022 goda)* [Climate change and weather anomalies: mechanisms and efficiency of phenological homeostatic reactions: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Yekaterinburg, September 07–10, 2022)]. Ekaterinburg, Ural'skij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2022, pp. 121–136. (In Russ.).
18. *Sezonnaja zhizn' prirody Kol'skogo Severa (Rastenija) 1994–2000* [Seasonal life of nature of the Kola North (Plants) 1994–2000]. Murmansk, 2001, 68 p. (In Russ.).
19. *Sezonnaja zhizn' prirody Kol'skogo Severa* [Seasonal Life of Nature in the Kola North]. Murmansk, 1996, 41 p. (In Russ.).
20. *Sezonnaja zhizn' prirody Russkoj ravniny. Kalendari prirody Nechernozemnoj zony RSFSR za 1960–1972 gg* [Seasonal life of nature of the Russian Plain. Calendars of Nature of the Non-Black Earth Zone of the RSFSR for 1960–1972]. Leningrad, Nauka, 1979, 163 p. (In Russ.).
21. Semenov-Tjan-Shanskij O. I., Ablava Z. Kh. Kalendar' prirody Laplandskogo zapovednika [Nature Calendar of the Lapland Reserve]. *Sezonnaja i raznogodichnaja dinamika rastitel'nogo pokrova v zapovednikah* [Seasonal and different annual dynamics of vegetation cover in nature reserves]. Moscow, 1983. (In Russ.).
22. Solov'ev, A. N., Shihova T. G. Fenologicheskie reakcii bioty vostoka Russkoj ravniny na pogodnye anomalii [Phenological reactions of biota of the eastern Russian Plain to weather anomalies]. *Jekologicheskij monitoring i modelirovanie jekosistem* [Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems], 2021, V. 32, no. 1–2, pp. 37–55. doi:10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55. (In Russ.).
23. Fedotova V. G. Sovremennoe sostojanie otechestvennoj fenologii [Modern state of domestic phenology]. *Obshhestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana)* [Society. Environment. Development (Terra Humana)], 2009, no. 4, pp. 166–176. (In Russ.).
24. Filonov K. P., Nuhimovskaja Ju. D. Letopis' prirody v zapovednikah SSSR [Chronicle of nature in the USSR reserves]. Moscow, Nauka, 1990, 142 p. ISBN 5-02-005470-4 (In Russ.).
25. Shul'c G. Je. *Obshhaja fenologija* [General phenology]. Leningrad, Nauka, 1981, 188 p. (In Russ.).
26. Amano T., Smithers R. J., Sparks T. H., Sutherland W. J. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society of London*, B. 210, Vol. 277, No. 1693, pp. 2451–2457. doi:10.1098/rspb.2010.0291.
27. Gu H., Qiao Y., Xi Z. [et al.] Author Correction: Warming-induced increase in carbon uptake is linked to earlier spring phenology in temperate and boreal forests. *Nature Communications*, 2022, V. 13, doi:10.1038/s41467-022-31972-3.
28. Ihouye D. W. Climate change and phenology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2022, V. 13 (3). doi:10.1002/wcc.764.
29. IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. NY: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 3056 p., doi:10.1017/9781009325844.
30. Camarero J., Campelo F., Colangelo M., Valeriano C., Knorre A., Solé G., Rubio-Cuadrado Á., Decoupled leaf-wood phenology in two pine species from contrasting climates: Longer growing seasons do not mean more radial growth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, V. 327, ISSN 0168-1923, doi:10.1016/j.agrformet.2022.109223.
31. Meier U. (Ed.). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants*: BBCH Monograph. Quedlinburg: Open Agrar Repository. 2018, 204 p.
32. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 2009, Vol. 61 (2), pp. 41–52. doi:10.5073/JfK.2009.02.01.

33. 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, pp. 1969–1976.
34. Ovaskainen, O., Meyke, E., Lo, C. [et al.] Author Correction: Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. *Science Data*, 2020, V. 7, Article number 118, doi:10.1038/s41597-020-0454-2.
35. Pudas E. [et al.]. Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland. *International Journal of Biometeorology*, 2008, V. 52, pp. 251–259.
36. Rosbakh S., Hartig F., Sandanov D. V., Bukharova E. V., Miller T. K., & Primack R. B. Siberian plants shift their phenology in response to climate change. *Global change biology*, 2021, V. 27 (18), pp. 4435–4448. doi:10.1111/gcb.15744.

Информация об авторах

Н. С. Рябов — инженер 1-й категории;

Н. В. Зануздаева — научный сотрудник;

Л. Г. Исаева — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

N. S. Ryabov — Engineer;

N. V. Zanuzdayeva — Researcher;

L. G. Isaeva — PhD (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.02.2024; принята к публикации 05.02.2024.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for publication 05.02.2024.