

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ФЕНОЛОГИЮ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Бобрецов А.В., Тертица Т.К., Теплова В.П.

*Печоро-Илычский государственный природный заповедник,
Якша, Республика Коми, Россия
avbobr@mail.ru*

Аннотация. Проведен анализ изменения годовой температуры воздуха за период с 1936 по 2016 гг. Выявлено ее повышение в 2000-е годы. Наиболее значительным оно было в зимние и весенние месяцы. Рассмотрено влияние этого потепления на фенологию растений и животных. Средние даты начала цветения растений и прилета у птиц сместились на более ранние сроки. Особенно значительные изменения произошли у растений, тогда как у птиц выявлены разные тренды в датах прилета.

Введение

Особенностью современного изменения климата является глобальное потепление, охватившее многие регионы северного полушария. На территории России за период с 1907 по 2006 гг. среднегодовая температура возросла на 1,1-1,3 °С (Груза, Ранькова, 2012). Начало нового столетия оказалось самым теплым за всю историю инструментальных наблюдений (Второй оценочный доклад ..., 2014). При этом тенденции в изменении количества осадков были выражены слабо.

Глобальное потепление оказало большое влияние на разные стороны жизнедеятельности живых организмов (Parmesan, 2006). Особенно значительные изменения произошли в фенологии растений и животных. Средние даты начала цветения разных видов растений (Минин, 2000; Amano et al., 2010) и прилета птиц (Соколов, 2006; Jonzen et al., 2006) сместились на более ранние сроки.

Вместе с тем, данные о фенологических реакциях растений и птиц на изменения климата оказались неоднозначными и порою противоречивыми. В какой-то мере это объясняется тем, что масштаб изменений климата в разных регионах проявляется неодинаково (Бардин и др., 2015). По многим регионам для анализа подобных изменений недостаточно долговременных рядов наблюдений (Charles et al., 2015). В этом отношении заповедники, в которых ведется многолетний мониторинг, могут оказать немаловажную роль в решении данной актуальной проблемы. В настоящей работе представлены материалы по изменению климата на территории Печоро-Илычского заповедника и его влиянию на фенологию растений и животных.

Материал и методы

В работе использованы материалы Летописи природы Печоро-Илычского заповедника с 1935 по 2016 гг., а также личные наблюдения авторов. Анализ проводился по данным, собранным в окрестностях пос. Якша равнинного района. Для формирования временных рядов календарные даты переводили в приведенные, которые получали путем отсчета от определенной даты – 1 января или 1 марта.

Для характеристики изменений климата использовали данные метеорологической станции, расположенной в Якше, на которой непрерывные наблюдения проводятся с 1936 г. по настоящее время. Анализировались показатели средней температуры воздуха за год и по отдельным сезонам. При этом рассматривали как абсолютные их значения, так и их аномалии, которые представляют отклонения годовых (сезонных) показателей от «нормы». За климатическую норму принималось среднее многолетнее значение за базовый период 1961–1990 гг. Если годовая температура была выше или ниже нормы на 0,7°, то такие годы считались очень жаркими или очень холодными. Если отклонение от нормы превышали всего 0,4°, то такие годы относили к теплым или холодным. Тенденцию изменения климатических параметров оценивали по величине (наклону) их линейного тренда.

Коэффициент линейного тренда рассматривался как среднее значение изменения температуры воздуха за рассматриваемый период времени. Величину тренда выражали в °C/10 лет.

Результаты

Климат. Глобальные процессы изменения климата хорошо прослеживаются и на территории Печоро-Илычского заповедника (рис.). С 1936 по 1965 гг. средняя годовая температура воздуха составила здесь $-0,8^{\circ}\text{C}$. При этом тренд в изменении показателей отсутствовал. С 1966 г. наступило похолодание, которое продолжалось семь лет. В этот период отмечены самые холодные годы, когда температура воздуха опускалась до $-3,5^{\circ}\text{C}$ (1966 г.) и $-4,2^{\circ}\text{C}$ (1969 г.). Средняя годовая температура с 1966 по 1972 гг. уменьшилась до $-2,0^{\circ}\text{C}$. Последнее десятилетие (2003-2016 гг.) оказалось самым теплым за все годы наблюдений – $+0,5^{\circ}\text{C}$. Максимальный показатель отмечен в 2008 г. ($+2,0^{\circ}\text{C}$). По сравнению с базовым периодом превышение составило $1,5^{\circ}\text{C}$.

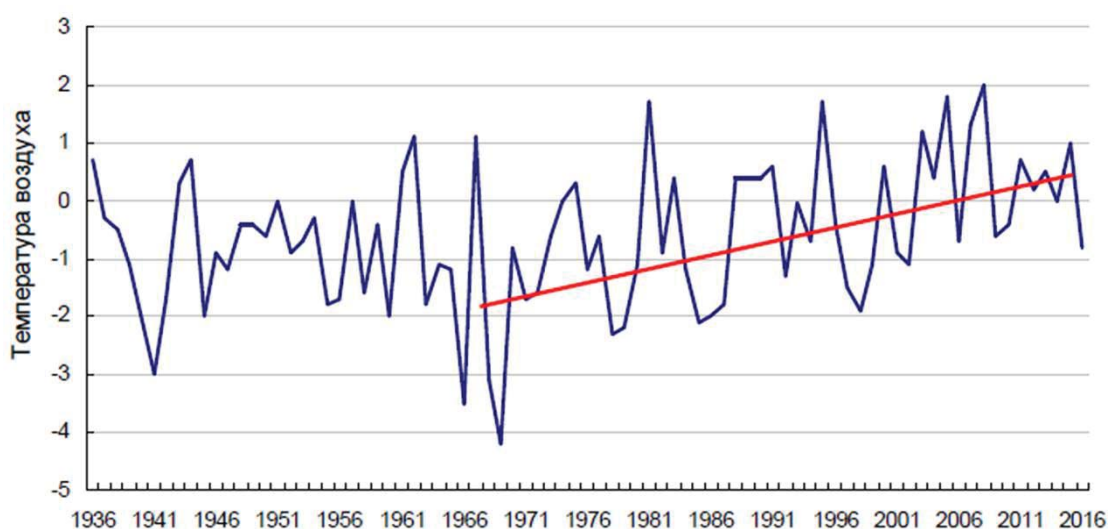


Рисунок 1. Динамика средней годовой температуры воздуха в равнинном районе Печоро-Илычского заповедника. Тренд за 1968-2016 гг.

После похолодания с конца 60-х годов наблюдалась достоверная тенденция в увеличении средней годовой температуры воздуха. Скорость ее изменения составила $0,23^{\circ}\text{C}/10$ лет ($t = 4,048$; $p < 0,01$). Данная модель описывает дисперсию ряда на 27% ($R^2 = 0,266$). В базовый период на холодные и очень холодные годы (аномалии выше $0,4^{\circ}\text{C}$) приходилось 40% всех лет, на теплые и очень теплые годы – 35%. С 2003 по 2016 гг. аномалии с холодными и очень холодными годами отмечены не были, 85% составили теплые и очень теплые годы.

Наибольший вклад в среднегодовое повышение температуры воздуха внесли зима ($0,34^{\circ}\text{C}/10$ лет) и весна ($0,30^{\circ}\text{C}/10$ лет), параметры трендов статистически достоверны. В первом случае превышение температуры в 2003-2016 гг. по сравнению с базовым периодом составило $2,1^{\circ}\text{C}$, во втором – $1,9^{\circ}\text{C}$. Летний тренд температуры был положительный, но его значения были недостоверными.

Фенология гидротермических явлений. В 2000-е годы весенние абиотические процессы начали наступать значительно раньше по сравнению с базовым периодом. Так, отклонения по средней дате схода снега в бору составили 10 дней (5.05 вместо 15.05). Река Печора стала вскрываться на 7 дней раньше (соответственно, 29.04 и 4.05). В то же время осенние явления стали наступать гораздо позже. Например, дата установления постоянного снежного покрова сместилась на 13 дней (8.11 и 21.10). Продолжительность безморозного периода в равнинном районе Печоро-Илычского заповедника увеличилась на 19 дней.

Фенология растений. У всех рассмотренных 27 видов древесных и травянистых растений даты начала их цветения сместились на более ранние сроки от 3 до 11 дней (таблица 1). Наиболее сильное смещение наблюдалось у мать-и-мачехи (11 дней) и черники (11 дней). У 16 видов цветение начиналось на 7-9 дней раньше. И только у небольшой группы растений (6 видов) эти сроки сдвинулись незначительно (2-4 дня).

Таблица 1. Средние даты начала цветения растений в равнинном районе Печоро-Илычского заповедника

Виды	Периоды (годы)		Отклонение (сутки)
	1961-1990	2003-2016	
Ольха <i>Alnus incana</i>	29.04	22.04	-7*
Мать-и-мачеха <i>Tussilago farfara</i>	6.05	25.04	-11*
Пушица <i>Eriophorum vaginatum</i>	13.05	7.05	-6*
Ива козья <i>Salix caprea</i>	13.05	9.05	-4
Кассандра <i>Cassandra calyculata</i>	19.05	14.05	-5
Смородина красная <i>Ribes rubrum</i>	26.05	22.05	-4
Толокнянка <i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	31.05	23.05	-8*
Смородина черная <i>Ribes nigrum</i>	2.06	26.05	-7*
Кислица обыкновенная <i>Oxalis acetosella</i>	3.06	27.05	-7*
Ель <i>Picea obobata</i>	4.06	28.05	-7*
Черемуха <i>Padus avium</i>	4.06	27.05	-8*
Жимолость <i>Lonicera caerulea</i>	4.06	26.05	-9*
Черника <i>Vaccinium myrtillus</i>	5.06	25.05	-11*
Купальница <i>Trolius europaeus</i>	5.06	29.05	-7*
Морошка <i>Rubus chamaemorus</i>	7.06	31.05	-7*
Багульник <i>Ledum palustre</i>	11.06	5.06	-6*
Земляника <i>Fragaria vesca</i>	12.06	3.06	-9*
Седмичник <i>Trientalis europaea</i>	12.06	8.06	-4
Сосна <i>Pinus sylvestris</i>	14.06	7.06	-7*
Рябина <i>Sorbus aucuparia</i>	15.06	7.06	-8*
Шиповник <i>Rosa acicularis</i>	15.06	13.06	-2
Брусника <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	20.06	11.06	-9*
Голубика <i>Vaccinium uliginosum</i>	20.06	11.06	-9*
Клюква <i>Vaccinium oxycoccos</i>	22.06	14.06	-8*
Малина <i>Rubus idaeus</i>	25.06	17.06	-8*
Линнея северная <i>Linnea borealis</i>	26.06	22.06	-4
Иван-чай <i>Chamaenerion angustifolium</i>	7.07	4.07	-3

* - различия достоверны на уровне $p < 0,05$.

Раннее цветение растений стимулировало и более раннее созревание плодов. Смещение дат в этом случае варьировало от 3 до 10 дней. Наиболее ранние сроки появления плодов отмечены у черемухи (10 дней) и жимолости (9 дней). Незначимые различия наблюдались у земляники и двух видов смородин.

Фенология прилета птиц. Анализ сроков прилета птиц (анализировались у 21 вида) в Печоро-Илычский заповедник выявил разный характер их изменений. Одни виды птиц стали прилетать достоверно раньше, другие позже, а у целого ряда видов вообще не наблюдалось каких-либо достоверных изменений в сроках прилета. К первой группе (смещение в сроках на 3 дня и больше) относятся 14 из 21 вида. Наиболее сильно даты прилета изменились у дрозда рябинника (на 13 дней раньше), деревенской ласточки (10 дней) и серого журавля (8 дней). Позже стали прилетать два вида – большой крохаль (на 10 дней), скворец (7 дней), полевой жаворонок (на 4 дня). В то же время для части видов даты прилета остались стабильными – обыкновенная овсянка, чибис, чирок-свистунок или отклонения были очень незначительными – от 2 до 3 дней.

Обсуждение

Изменения средней годовой температуры воздуха на территории Печоро-Илычского заповедника согласуется с оценками (1,33°C), приведенными для территории России за период 1976-2006 гг. (Оценочный доклад ..., 2008). Период с 2003 по 2016 гг. оказался в

Северном Предуралье самым теплым за все время инструментальных наблюдений. Скорость потепления климата (0,23°C/10 лет) была также сопоставима с аналогичными показателями для других регионов (0,2-0,6°C/10 лет) Европейской части России (Кокарев, Шерстюков, 2015). Это относится и к сезонной неоднородности в скорости изменения температуры воздуха.

Таблица 2. Средние даты начала прилета птиц в равнинном районе Печоро-Илычского заповедника

Виды	Периоды (годы)		Отклонение (сутки)
	1961-1990	2003-2016	
Пуночка <i>Plectrophenax nivalis</i>	3.04	31.03	-3
Скворец <i>Sturnus vulgaris</i>	9.04	16.04	+7*
Крохаль большой <i>Mergus merganser</i>	9.04	19.04	+10*
Овсянка обыкновенная <i>Emberiza citrinella</i>	10.04	11.04	+1
Чибис <i>Vanellus vanellus</i>	14.04	14.04	0
Жаворонок полевой <i>Alauda arvensis</i>	15.04	19.04	+4
Зяблик <i>Fringilla coelebs</i>	16.04	13.04	-3
Кряква <i>Anas platyrhynchos</i>	17.04	19.04	+2
Трясогузка белая <i>Motacilla alba</i>	18.04	14.04	-4
Гоголь <i>Vucephala clangula</i>	19.04	23.04	+4
Гуменник <i>Anser fabalis</i>	24.04	19.04	-5
Чирок-свистунок <i>Anas crecca</i>	27.04	28.04	+1
Юрок <i>Fringilla montifringilla</i>	27.04	24.04	-3
Журавль серый <i>Grus grus</i>	29.04	21.04	-8*
Сизая чайка <i>Larus canus</i>	29.04	23.04	-6*
Дрозд рябинник <i>Turdus pilaris</i>	3.05	20.04	-13*
Деревенская ласточка <i>Hirundo rustica</i>	17.05	7.05	-10*
Кукушка обыкновенная <i>Cuculus canorus</i>	17.05	14.05	-3
Кукушка глухая <i>Cuculus optatus</i>	26.05	18.05	-6*
Чечевица <i>Carpodacus erythrinus</i>	24.05	20.05	-4
Береговушка <i>Riparia riparia</i>	29.05	24.05	-5
Стриж черный <i>Apus apus</i>	31.5	28.05	-3

Между температурой воздуха и датами наступления весенних процессов существует тесная отрицательная корреляционная связь. Значение показателя корреляции между средней температурой воздуха апреля и появлением первых проталин составляет -0,53 ($p < 0,001$), между температурой воздуха в апреле-мае и сходом снега в борах – -0,71 ($p < 0,001$) и в ельниках – -0,71 ($p < 0,001$). Сильная связь отмечена и между сроками начала ледохода и средней температурой апреля-мая (-0,76; $p < 0,001$). Поэтому увеличение температуры воздуха весной в 2000-е годы привело к раннему наступлению весенних абиотических явлений.

Растения очень чувствительны к изменению температуры воздуха в зимне-весенние месяцы, то есть в период, предшествующий началу активной жизнедеятельности (Penuelas, Filella, 2001). Увеличение температуры воздуха в эти периоды, наблюдавшееся во многих регионах, обусловило значительные изменения в сроках фенологических явлений. В этом отношении начало цветения растений часто рассматривают как один из важных фенологических индикаторов изменения климата. Во многих регионах у разных видов растений выявлено смещение дат начала цветения на более ранние сроки – чаще всего от 4 до 15 дней (Соловьев, 2005; Clark, Thompson, 2010). В Печоро-Илычском заповеднике у 27 рассмотренных видов даты начала цветения сместились в последнее десятилетие на 3-11 дней. Считается, что наиболее чувствительной на потепление климата была реакция раннецветущих растений (Sherry et al., 2007; Жмылева и др., 2011). Наши данные в целом подтверждают данную закономерность. Такие раннецветущие виды как ольха и мать-и-мачеха стали цвести на 7-11 дней раньше. Для поздноцветущих видов – линнеи северной и кипрея смещение дат составило всего лишь 3-4 дня. На такую же величину по сравнению с раннецветущими видами сдвинулись сроки начала цветения кипрея в Кировской области

(Соловьев, 2055). Однако имеется и масса исключений. Так, черника, которая начинает цвести на месяц позже мать-и-мачехи, стала зацветать также на 11 дней раньше. А такие поздноцветущие виды как брусника, голубика, клюква – на 8-9 дней. На многочисленных примерах показано, что фенологические реакции растений на изменение климата могут сильно различаться у разных видов (Минин, 2000), а факторы, обуславливающие эти различия, еще далеко непонятны и зачастую они носят комплексный характер (Sherry et al., 2007; Amano et al., 2014).

Созревание плодов в большей степени контролируется эндогенными факторами и поэтому завит от сроков начала цветения растений. Между датами начала цветения и датами появления плодов у большинства видов растений обнаружена тесная корреляционная связь. Так, значение рангового коэффициента корреляции Спирмена для черемухи составило +0,62 ($t = 6,32$; $p < 0,001$), для черники – +0,63 ($t = 6,82$; $p < 0,001$), для брусники – +0,71 ($t = 8,38$; $p < 0,001$). Плоды у этих видов растений стали регистрироваться, соответственно, на 10, 7 и 6 дней раньше. Для видов, у которых такая корреляционная связь незначительна (для земляники +0,51, для черной смородины – +0,40), даты появления плодов сместились на небольшую величину – всего на 3-4 дня.

Даты прилета птиц в большей степени связаны с абиотическими фенологическими явлениями и появлением различных кормов. Например, в Кировской области прилет деревенской ласточки тесно сопряжен со сроками вылета комаров ($r = +0,84$), а прилет гусей с полным освобождением полей от снега ($r = +0,86$) (Соловьев, 2015). Изменения в климате последних десятилетий сказались и на датах весеннего прилета птиц во многих регионах, но фенологические реакции разных видов оказались различными (Соколов, 2006; Jonzén et al., 2006). В Печоро-Илычском заповеднике одни виды птиц стали прилетать раньше (максимальное смещение по срокам 10-13 дней), другие позже (на 7-10 дней), а у целого ряда видов сроки остались стабильными. Такая изменчивость в сроках прилета обусловлена разными причинами. Основная причина из них связана с тем, что именно на весенние месяцы приходится наиболее значительное потепление. Оно привело к более раннему началу гидрометеорологических процессов, облиствению деревьев, появлению комаров и других насекомых, в результате чего у более половины рассмотренных видов (67%) даты прилеты сместились на ранний период. Отсутствие трендов в изменении весенних температур на Южном Урале привело к тому, что даты прилета птиц здесь остались стабильными (Соколов, Гордиенко, 2008). Кроме того, были обнаружены значительные различия в сроках начала весенней миграции в зависимости от дальности мест зимовок. Ближние мигранты оказались более чувствительными к изменению климата (Соловьев, 2015). Запаздывание прилета у ряда видов птиц связывают также с сокращением их численности. Существенное уменьшение численности скворца, грача и отчасти чибиса на Европейском Севере привело к тому, что в окрестности Петрозаводска эти виды стали прилетать на 1-2 недели позже, чем в 70-80-е годы прошлого века (Сазанов, 2008). Значительное смещение дат прилета скворца и полевого жаворонка зафиксировано и в Печоро-Илычском заповеднике.

Заключение

2000-е годы на территории Печоро-Илычского заповедника стали самыми теплыми за всю историю инструментальных наблюдений. Достоверные тренды увеличения температуры воздуха отмечены в зимний и весенний сезоны года. Потепление климата привело к более раннему началу цветения растений и прилету птиц. Однако если у всех рассмотренных видов растений отмечены отрицательные тренды, то даты прилета птиц обусловлены не только температуры воздуха, но и другими факторами. Поэтому среди птиц одни виды стали прилетать раньше (большая часть), другие позже, а у ряда видов сроки остались стабильными.

Литература

- Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы // Труды Гидрометеорологического центра РФ. – 2015. – № 358. – С. 13-85.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 58 с.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск: ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012. – 194 с.
- Жмылева А.П., Карпухина Е.Л., Жмылев П.Ю. Фенологические реакции лесных растений на потепление климата: рано- и поздноцветущие виды // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и жизнедеятельность. – 2011. – № 2. – С. 5-15.
- Кокарев В.А., Шестюков А.Б. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России // Арктика. XXI век. Естественные науки. – 2015. – № 2(3). – С. 5-23.
- Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. – М.: Изд-во АБФ/АБФ, 2000. – 160 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
- Сазонов С.В. Многолетние тенденции изменения фенодат пролета птиц в окрестностях г. Петрозаводска // Тр. Карел. науч. центра РАН. – 2008. – № 14. – С. 97-120.
- Соколов Л.Г., Гордиенко Н.С. Повлияло ли современное потепление климата на сроки прилета птиц в Ильменском заповеднике на Южном Урале? // Экологи. – 2008. – № 1. – С. 58-64.
- Соколов Л.В. Влияние глобального потепления климата на сроки миграции и гнездования воробьиных птиц в XX веке // Зоол. журн. – 2006. – Т. 86. – № 3. – С. 317–341.
- Соловьев А.Н. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. – М.: Пасья, 2005. – 288 с.
- Соловьев А.Н. Вековая динамика сроков сезонных миграций птиц в средних широтах Европейского Востока // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 2015. – Т. 120. – Вып. 1. – С. 3-17.
- Amano T., Freckleton R.P., Queenborough S.A., Doxford S.W., Smithers R.J., Sparks T.H., Sutherland W.J. Links between plant species' spatial and temporal responses to a warming climate // Proc. R. Soc. B. – 2014. – Vol. 281. – No. 1779. – P. 1-9.
- 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 // Proc. R. Soc. B. – 2010. – Vol. 277. – No. 1693. – P. 2451-2457.
- Charles C.D., Willis C.G., Connolly B., Kelly C., Ellison A.M. Herbarium records are reliable sources of phenological change driven by climate and provide novel insights into species' phenological cueing mechanisms // Am. J. Bot. – 2015. – Vol. 102. – No. 10. – P. 1599-1609.
- Clark R.M., Thompson R. Predicting the impact of global warming on the timing of spring flowering // Int. J. Climatol. – 2010. – Vol. 30. – No. 11. – P. 1599-1613.
- Jonzen N., Lindén A., Ergon T., Knudsen E., Vik J.O., Rubolini D., Piacentini D., Brinch C., Spina F., Karlsson L., Stervander M., Andersson A., Waldenström J., Lehikoinen A., Edvardsen E., Solvang R., Stenseth N.C. Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds // Science. – 2006. – Vol. 312. – No. 5782. – P. 1959–1961.
- Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change // Annu. Rev. Ecol. Evol. S. – 2006. – Vol. 37. – No. 1. – P. 637–669.
- Penuelas J., Filella J. Phenology: responses to a warming world // Science. – 2001. – Vol. 294. – No. 5543. – P. 793–795.
- Sherry R.A., Zhou X., Gu S., Arnone J.A., Schimel D.S., Verburg P.S., Wallace L.L., Luo Y. Divergence of reproductive phenology under climate warming // Proc. Nat. Acad. Sci. – 2007. – Vol. 104. – No. 1. – P. 198-202.