

## СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ

МИХАИЛ В. КОЗЛОВ<sup>1</sup> и НАТАЛЬЯ Г. БЕРЛИНА<sup>2</sup> 1 Секция

экологии, Университет Турку, Турку FIN-20014, Финляндия E-mail:  
mikoze@utu.fi 2

Лапландский биосферный заповедник, Зеленый 8, 184280 Мончегорск, Россия

Аннотация. Анализируя записи, сделанные в северных таежных лесах Лапландского заповедника (Кольский полуостров, Россия) в 1930–1998 гг., мы неожиданно обнаружили сокращение продолжительности безснежного и безледового периодов на 15–20 дней из-за как запоздалой весны, так и более ранней осени/зимы. Соответствующие сезонные температуры наилучшим образом объясняли даты всех фенологических фаз: сдвиг температуры на 1 °C был примерно равен сдвигу фенологии на 2–5 дней. Однако фенологические сдвиги в течение периода наблюдений намного больше, чем можно было бы ожидать из-за небольшого (0,56 °C) падения температуры в августе–сентябре, что позволяет предположить, что биотические эффекты очень небольшого похолодания были усилены одним или несколькими неизвестными факторами. Хотя выбросы диоксида серы от никель-медного завода в Мончегорске могли способствовать наблюдаемой тенденции (через изменения регионального радиационного баланса), мы не обнаружили никаких доказательств прямого воздействия загрязнения на даты осенней окраски березы или листопада березы, которые показали наибольший сдвиг (22 дня) между 1930 и 1998 годами. Выявленные фенологические тенденции согласуются с увеличением зимних (снег) осадков в исследуемой области на 44%; однако влияние осадков на любую из исследованных фенологических фаз было далеко не значительным. Наши результаты подчеркивают важность фенологических записей для оценки прошлых региональных изменений окружающей среды и демонстрируют, что прогнозирование даже самых простых биотических реакций на глобальные изменения требует глубокого понимания интерактивного воздействия абиотических факторов на экосистему.

### 1. Введение

Глобальная средняя температура выросла за последние 100 лет на 0,3–0,6 °C, и прогнозируется дальнейшее увеличение на 0,9–3,5 °C к 2100 году (Houghton et al., 1996). Хотя ожидается, что потепление будет сильнее в высоких широтах (Chapman and Walsh, 1993), до сих пор неясно, как могут измениться температуры в регионе Баренцева моря (Räisänen, 1994; Lange et al., 1999). Прогнозы по характеру осадков также различаются, хотя несколько моделей сходятся во мнении о возможном увеличении осадков, которое, как ожидается, произойдет в основном в зимнее время (Houghton et al., 1996; Räisänen, 1994).

Ожидается, что климатические изменения повлияют на сезонные закономерности, ареалы распространения и динамику популяций всех групп организмов (Heal et al., 1998; Lange et al., 1999), и уже есть многочисленные записи, которые можно интерпретировать как биологические последствия глобального потепления (Hughes, 2000). Однако все еще существуют серьезные неопределенности в прогнозировании биотических эффектов изменения климата (Heal et



al., 1998; Press et al., 1998; Kramer et al., 2000). Точность прогнозов может быть повышена путем скоординированного исследования прошлых изменений как в биотической, так и в абиотической среде (Houghton et al., 1996), что придает особое значение старым фенологическим записям (Heikinheimo и Lappalainen, 1997; Sparks и Yates, 1997; Minin, 1998; Sparks et al., 1999). В этом исследовании мы искали закономерность в продолжительности теплого (летнего) сезона в лесах европейской северной тайги за последние 70 лет и сравнивали тенденции в сроках сезонных событий с тенденциями в температуре и осадках.

## 2. Материалы и методы

Мы использовали небольшую часть записей более 200 сезонных событий (Семенов-Тянь-Шанский, 1947; Семенов-Тянь-Шанский и Аблаева, 1983), сделанных в поселке Тшуна (67° 39 с.ш., 32° 37 в.д.) Лапландского биосферного заповедника, в 40 км к югу от Мончегорска (Кольский полуостров, северо-запад России). Записи проводились с 1930 года по маршруту протяженностью 1000 м в редком старовозрастном еловом лесу (*Picea abies* (L.) Karst.) с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и горной березой (*Betula pubescens* subsp. *czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti). Структура и состав леса вдоль маршрута оставались неизменными в течение периода наблюдений. Большая часть данных, использованных в настоящем исследовании, собрана О.И. Семеновым-Тянь-Шанским, работавшим в заповеднике с 1931 по 1990 г.; с 1982 г. записи велись Н. Берлиной. Отсутствуют некоторые записи за 1941–1945 гг. (Вторая мировая война) и 1952–1957 гг. (закрытие заповедника), что повлияло на количество значений данных в анализе.

В качестве фенологических показателей использовались: (1) начало весны: день, когда вокруг не менее двух из семи старых (возрастом более 200 лет) деревьев сосны обыкновенной на поселении образовались полные круги открытого грунта; (2) безснежный период: со дня схода снега в 26 из 50 фиксированных точек маршрута до дня появления устойчивого снежного покрова, например, снежного покрова, который так и не стоял полностью до весны; (3) безледный период: со дня появления сплошной полосы открытой воды (шириной 1–1,5 м) вдоль 200-метрового берега озера Чуна до дня замерзания; (4) листва горной березы: с начала разворачивания листьев (длина листа около 10 мм) не менее чем у 2–3 из 25 берез до дня опадения первых желтых листьев с первых 2–3 деревьев маршрута; (5) продолжительность репродуктивного периода морошки, *Rubus chamaemorus* L.: от начала цветения не менее чем у 2–3 из 25 растений до появления спелых плодов (по цвету и вкусу) не менее чем у 2–3 из 25 растений по маршруту; (6) продолжительность репродуктивного периода брусники, *Vaccinium vitis-idaea* (L.) Avz.: от начала цветения не менее чем у 2–3 из 25 растений до появления спелых плодов не менее чем у 2–3 из 25 растений по маршруту; (7) конец осени: появление первого снега на лесной подстилке.

Метеорологические данные регистрировались в месте фенологических наблюдений только с 1977 по 1994 год. Однако эти данные были в значительной степени (среднемесячные температуры:  $r = 0,89$ ,  $n = 216$  месяцев,  $P < 0,0001$ ; месячные осадки:  $r = 0,71$ ,  $n = 215$ ,  $P < 0,0001$ ; значения стандартизованы по месяцам для устранения сезонного тренда) коррелировали с соответствующими записями в городе Мончегорске, что оправдывало использование метеорологических данных Мончегорска (доступных с 1936 года; полученных непосредственно со станции) при анализе наших фенологических записей. Ни годовые ( $r = 0,03$ ,  $n = 63$  года,  $P = 0,82$ ), ни сезонные, ни месячные средние температуры в Мончегорске не показали никаких направленных изменений между 1936 и 1998 годами (табличное значение  $P > 0,05$ ). Данные о температуре и осадках с двух ближайших станций, Мурманска (150 км к северу) и Кандалакши (60 км к югу от нашей точки наблюдения), были получены по адресу <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.GCPS/.MONTHLY/>.

Гипотеза о возможном влиянии загрязнения окружающей среды, которое усилилось в исследуемом регионе в 1946–1990 гг. (Ригина и Козлов, 1999), на осеннюю окраску и потерю листвы у горной березы была проверена с использованием двух независимых наборов данных. Во-первых, 12–13 сентября 1999 г. мы визуально (с точностью до 20%) оценили потерю листвы у пяти горных берез на каждом из 20 участков, расположенных на расстоянии от 1 до 65 км от медно-никелевого комбината в Мончегорске (более подробную информацию о деревьях и участках см. в работе Валкама и Козлов, 2001); окраска оставшейся листвы была классифицирована как ярко-зеленая, бледно-зеленая, желтовато-зеленая или ярко-желтая. Средние значения этих двух характеристик, характерные для участка, были сопоставлены с соответствующими средними концентрациями никеля в листве березы в 1991–1999 гг. (данные по Козлову и др., 1995; и неопубликованные); Обратите внимание, что два самых удаленных участка представляли региональный фоновый уровень содержания никеля в листве (4–6 мг / кг). Во-вторых, мы сопоставили даты пожелтения листьев березы в период с 1940 по 1998 год с соответствующими годовыми объемами выбросов диоксида серы заводом (данные по выбросам по Алексееву, 1993; Козлову и Баркану, 2000; Дубровскому, 2000).

### 3. Результаты

В 1990-х годах снег вокруг стволов деревьев таял в среднем на 16 дней позже, чем в 1930-х годах (рисунок 1а), а постоянный снежный покров в лесах появлялся на 13 дней раньше (рисунок 1б); однако дата первого обнаружения снега на лесной подстилке не изменилась (рисунок 1б). Продолжительность безснежного периода в лесах сократилась на 20 дней (рисунок 1в); аналогично, безледовый период на озерах сократился на 15 дней (рисунок 1е), хотя тенденции как появления открытой воды (рисунок 1г), так и замерзания озера Тшуна (рисунок 1д) не были значительными.

Наблюдения за тремя видами растений не выявили фенологической реакции на задержку таяния снега (рисунки 2а, в, д), тогда как у одного из трех исследованных видов было обнаружено приближение осени (рисунки 2б, г, е). Листопад березы в 1990-х годах начался на 22 дня раньше, чем в 1930-х годах (рисунок 2б), что указывает на сокращение

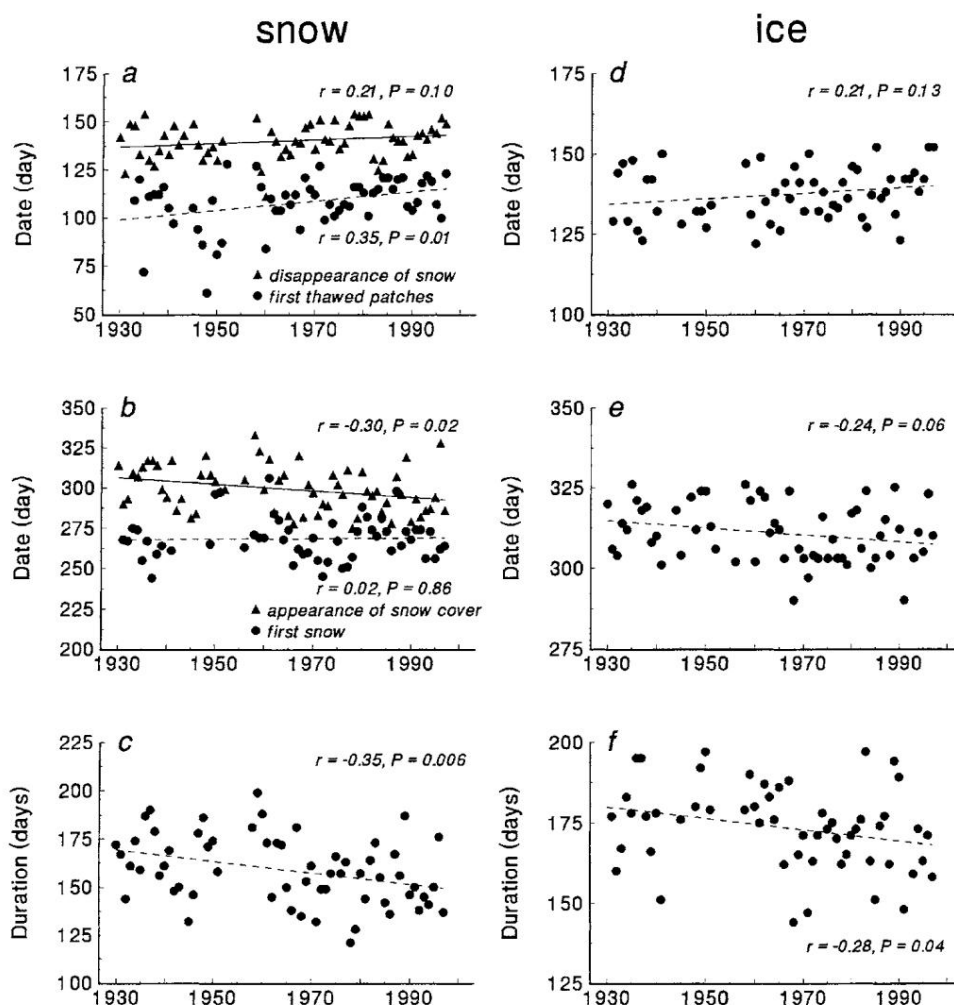


Рисунок 1. Тенденции фенологических фаз, связанных с безснежным периодом в лесах и безледовым периодом на озерах: годовые значения и линии регрессии. (а) Таяние снега; (б) появление снега; (с) продолжительность безснежного периода; (д) появление открытой воды на озере Чуна; (е) замерзание озера Чуна; (ф) продолжительность безледового периода. Отсчет дней ведется с 1 января.

вегетационного периода. Плоды брусники созрели на 10 дней позже, чем в 1930-х годах (рисунок 1г), тогда как плоды морошки созрели примерно в те же сроки, что и в 1930-х годах (рисунок 1е).

Хотя некоторые фенологические фазы коррелировали с сезонными значениями осадков (таблица I), было только пять значимых коэффициентов корреляции из 48, что довольно близко к числу, ожидаемому просто случайно (при уровне вероятности  $P = 0,05$ ). Более того, ни одна из значимых корреляций не соответствовала сезону, когда происходит событие (таблица I). Напротив, корреляции с сезонными температурами были значимыми в 13 из 48 случаев (таблица I), и десять из них

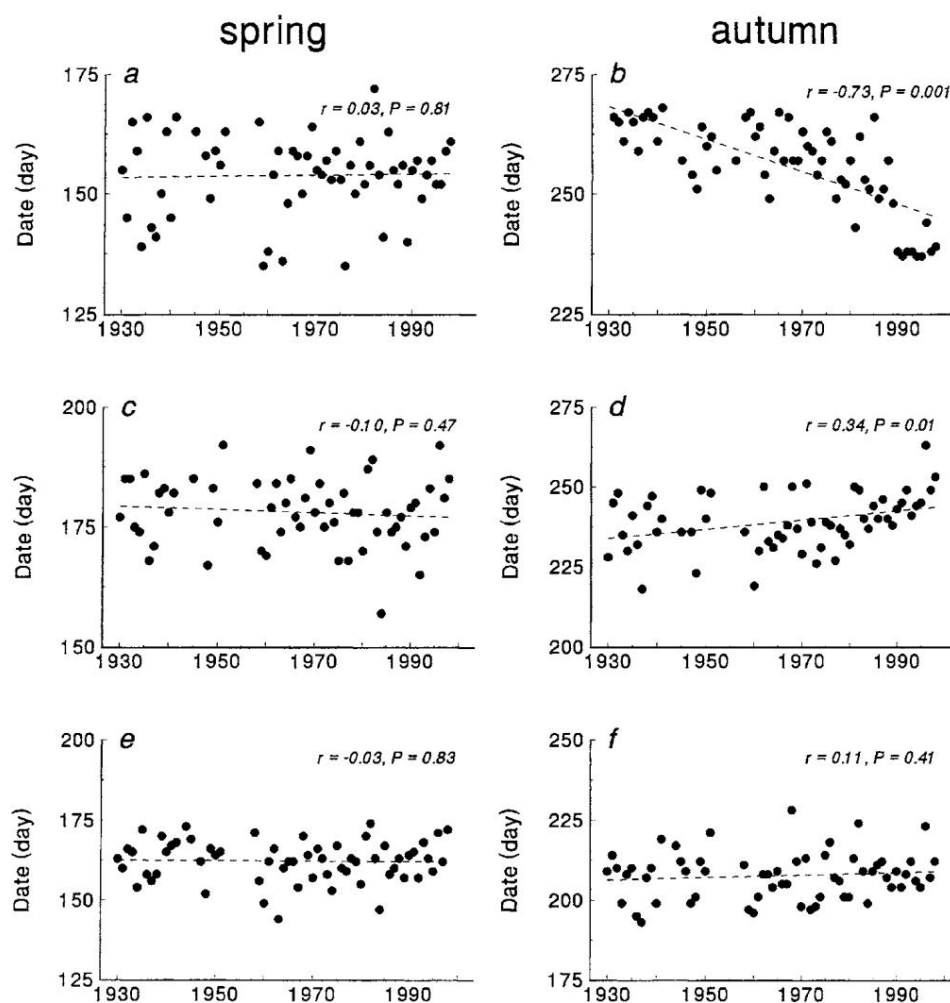


Рисунок 2. Тенденции фенологических фаз растений: годовые значения и линии регрессии. (а) Разворачивание листьев у горной березы; (б) Начало листопада у горной березы; (в) Начало цветения у брусники; (г) Созревание плодов брусники; (д) Начало цветения у морошки; (е) Созревание плодов морошки. Отсчет дней ведется с 1 января.

соответствовало сезону, когда происходит событие (таблица I). Регрессионный анализ с пошаговым выбором переменных во всех случаях завершился моделью, в которой температура объясняла большую часть вариации дат фенологических фаз (таблица II). Не было никакой разницы в коэффициентах регрессии для абиотических и биотических процессов (тест Краскела-Уоллиса,  $\chi^2 = 2,56$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0,11$ ); однако сезонные колебания были значительными ( $\chi^2 = 9,46$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,02$ ); сдвиг температуры на 1 °C был приблизительно равен сдвигу на 2,5 дня в весенней фенологии и сдвигу на 5 дней в осенней фенологии (таблица II).

Таблица

Федеральный  
гидрометеорологический  
центр

Физико-логическая	Осадки		Температура		
	ХП-	ХН	ХП-	ХН	ХН
Прыжки	0,19	0,05	-	-	-
Возражение	0,09	-	0,13	-	-
Прыжки	-	0,09	0,30	-	0,03
Возражение	0,06	0,18	0,12	0,14	0,02
Прыжки	-	-	0,09	-	-
Возражение	-	0,16	0,25	0,17	0,24
Прыжки	-	0,18	0,09	-	0,07
Возражение	-	-	-	-	0,08
Прыжки	-	-	-	-	0,15
Возражение	-	-	-	-	0,14
Прыжки	-	0,06	0,05	0,08	0,09
Возражение	-	0,16	-	-	0,11
Прыжки	-	0,06	-	-	0,06

Таблица 2

Регрессия дат фенологических фаз к сезонным метеорологическим условиям, которые наилучшим образом объяснить годовые колебания (выбранные с помощью пошагового регрессионного анализа из четырех сезонные значения осадков и четыре сезонных значения температуры за предыдущий 12-месячный период)

Фенологическая фаза	Переменная	Оценка SE F			Пр > Ф
Первые проталины	Перехват	105.54	2.34	2038	<0,0001
	T (III-V)	-1,96	0,87	5.07	0,0295
Разрушение снежного покрова	Перехват	133,80	1.82	5422	<0,0001
	T (III-V)	-3.14	0,68	21,49	<0,0001
Первый снег на лесной подстилке	Перехват	266.92	1.93	19050	<0,0001
	T (IX-XI)	4.57	1.41	10.50	0,0023
Появление снежного покрова	Перехват	296.91	2.00	22142	<0,0001
	T (IX-XI)	5.35	1.46	13.49	0,0006
Открытая вода на озере Тшуна	Перехват	131.23	1.58	6906	<0,0001
	T (III-V)	-2,93	0,59	24,80	<0,0001
Замерзание озера Тшуна	Перехват	308.73	1.20	66671	<0,0001
	T (IX-XI)	4.31	0,87	24,36	<0,0001
Разворачивание березового листа	Перехват	89.91	1.63	3048	<0,0001
	T (III-V)	-2.38	0,60	15.69	0,0003
Листопад березы	Перехват	181.43	5.73	1001	<0,0001
	T (XII-II)	-1,22	0,47	6.63	0,0133
Цветение брусники	Перехват	114.14	1.47	6056	<0,0001
	T (III-V)	-2.16	0,54	15.90	0,0002
Созревание брусники	Перехват	219.70	9.59	525	<0,0001
	T (VI-VIII)	-3,36	0,81	17.40	0.0001
Цветение морошки	Перехват	99.14	1.34	5498	<0,0001
	T (III-V)	-1,70	0,49	11.86	0,0012
Созревание морошки	Перехват	193,75	7.07	750	<0,0001
	T (VI-VIII)	-3,82	0,59	41,24	<0,0001

Среди наблюдаемых фенологических фаз наибольший сдвиг (22 дня) был зафиксировано в листопаде березы (рисунок 26), событие, которое было хуже всего объяснено данными о температуре и осадках (таблица I). Тенденция остается значимой ( $r = 0,52$ ,  $n = 53$  года,  $P < 0,0001$ ) даже когда записи за последнее десятилетие, которые заметно отличаются от оставшегося набора данных (рисунок 26), были исключены. Поскольку территория наблюдения в течение последних десятилетий подвергалась воздействию выбросов медно-никелевый завод, расположенный в Мончегорске (в 40 км), тенденция может возникли из-за увеличения загрязнения. Однако осенняя окраска и потеря листва горных берез, испытывающих высокие нагрузки загрязнения, была такой же, как

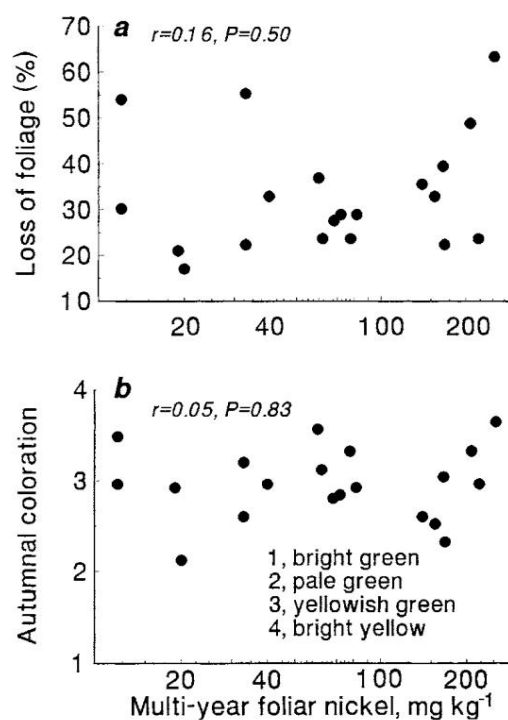


Рисунок 3. Связь между опадением листьев березы и загрязнением окружающей среды. (а) Потеря листвы; (б) Осенняя окраска.

на фоновой территории (рисунок 3). Кроме того, даты листопада с момента основания металлургического завода в Мончегорске не коррелировали с соответствующими годовыми выбросами диоксида серы ( $r = 0,05$ ,  $n = 43$  года,  $P = 0,75$ ).

#### 4. Обсуждение

Недавние анализы многолетних наборов данных показывают, что некоторые виды уже реагируют на аномальный климат 20-го века, подтверждая концепцию глобального потепления (Hughes, 2000; Minin, 2000). Однако данные, которые демонстрируют противоположные тенденции, также существуют, хотя они менее вероятно будут представлены и опубликованы; более того, если они и публикуются (Kozhevnikov, 1996; Kullman, 1996; Minin, 2000; Høgdal et al., 2001), они лишь изредка упоминаются в обсуждениях изменения климата (Kozlov, 2000).

Наши данные о фенологических сдвигах в Северной Европе явно противоречат ожидаемому региональному потеплению, заставляя нас предположить, что что-то не так с самими данными. Однако тщательное изучение исходных записей, протоколов и другой соответствующей информации не выявило никаких возможных источников ошибки. Поэтому мы пришли к выводу, что продолжительность летнего сезона на Кольском полуострове (как отражено



(по продолжительности безснежных и безледовых периодов) действительно сократилось за последние 60 лет из-за как поздней весны, так и более ранней осени/зимы. Этот вывод косвенно подтверждается недавно опубликованными результатами спутникового исследования продолжительности вегетационного периода в 1982–1989 годах в Фенноскандии (Høgda et al., 2001), которые продемонстрировали задержку весны на одну неделю в высоких широтах (включая Кольский полуостров), что явно контрастирует с опережением весны, происходящим в Южной Фенноскандии. Однако наши данные не показали никаких изменений в весенней фенологии, в то время как опережение осени отражается, например, в раннем листопаде у горной березы.

Поскольку сдвиг осенней фенологии на 5 дней примерно соответствует сдвигу температуры на 1 °C (таблица II), то незначительное ( $r = 0,14$ ,  $n = 62$  года,  $P = 0,28$ ) снижение средних температур августа и сентября на 0,56 °C, зафиксированное в Мончегорске, вряд ли может объяснить как опережение листопада березы на 22 дня, так и задержку созревания брусники на 10 дней. Позднее летнее похолодание наблюдалось также в Мурманске (140 км к северу от Мончегорска; на 0,90 °C;  $r = 0,28$ ,  $n = 65$  лет,  $P = 0,02$ ), однако эта тенденция не достигла уровня значимости в Кандалакше (100 км к югу; на 0,40 °C;  $r = 0,15$ ,  $n = 64$  года,  $P = 0,21$ ), что свидетельствует о существовании региональной тенденции, а не локальной флуктуации.

Наблюдаемые фенологические тенденции согласуются с увеличением зимних (снеговых) осадков в исследуемой области на 44% ( $r = 0,38$ ,  $n = 63$  года,  $P = 0,0025$ ); Хёгда и др. (2001) также объяснили задержку весны в самой северной Фенноскандии увеличением зимних осадков. Однако зимние осадки не вошли в пошаговый регрессионный анализ ни для одной из фенологических фаз (таблица II), а слабая корреляция между зимними осадками и датой листопада березы (таблица I) вполне может быть ложной. Ранний листопад у березы может быть результатом засухи, но летние осадки не повлияли на дату листопада березы (таблицы I, II). Наконец, нам не удалось обнаружить прямого влияния загрязнения на листопад у горной березы; поэтому непосредственные причины наблюдаемого сокращения лета остаются неизвестными.

Наши данные подтверждают вывод Mupeni et al. (1997) о том, что небольшие изменения температуры могут привести к непропорционально большим биотическим реакциям, в частности, из-за возможных положительных обратных связей в экосистемах. В нашем случае незначительный климатический сигнал был «усилен» экосистемой до обнаруживаемого уровня. Это открытие подчеркивает настоятельную необходимость исследования интерактивных эффектов абиотических факторов, которые, как ожидается, изменятся в связи с ростом концентрации парниковых газов; современный уровень знаний в сочетании с индивидуальными реакциями растений на изменения в абиотической среде (Chapin and Shaver, 1985; Heal et al., 1998; Press et al., 1998) делает преждевременными предположения о механизмах, лежащих в основе наблюдаемых сдвигов.

Фенологические изменения в прошлом демонстрируют выраженную пространственную изменчивость: даже направление тренда может меняться в пределах около 1000 км (Минин, 2000; Хёгда и др., 2001). Кроме того, все климатические модели сходятся во мнении, что последствия глобального потепления будут по-разному выражены в разных частях земного шара (Чепмен и Уолш,

1993; Räisänen, 1994; Houghton et al., 1996; Mann et al., 1998). Недавнее обсуждение климата региона Баренцева моря (Lange et al., 1999) продемонстрировало широкий спектр мнений: в то время как некоторые ученые предполагали потепление, другие предсказывали либо стабильный температурный режим, либо небольшое повышение температур в течение следующих 20–50 лет, за которым последует понижение. Некоторые наблюдения в северных регионах уже противоречили общим прогнозам о глобальном потеплении (Normile, 1995); таким образом, наш вывод о недавнем снижении вегетационного периода на Кольском полуострове (возможно, указывающем на региональное похолодание) не является исключительным. Более того, на Кольском полуострове мы обнаружили ту же сезонную тенденцию, что и в более крупном географическом масштабе: потепление наименьшее осенью (Чэппмен и Уолш, 1993). Это может указывать на то, что некоторые региональные процессы могли вмешаться в глобальную тенденцию.

Отсрочка весны и приближение осени на Кольском полуострове контрастируют с тенденциями, выявленными как к югу, так и к северу от нашей зоны наблюдения: приближение весны было отмечено как в Южной Карелии (Минин, 1998), так и в Южной Финляндии (Спаркс и др., 1999), а сокращение ледового сезона наблюдалось в Баренцевом море (Паркинсон, 1992), а также на нескольких озерах и реках Финляндии (Магнусон и др., 2000). Кольский полуостров отличается от этих регионов сильным загрязнением окружающей среды из-за выбросов диоксида серы двумя мощными никель-медными плавильными заводами (Ригина и Козлов, 1999). Поскольку выбросы могут отрицательно влиять на региональные температуры из-за радиационного воздействия (Бернтсен и др., 1996), модель (Митчелл и др., 1995), учитывающая как парниковые газы, так и сульфатные аэрозоли, может оказаться более подходящей для региона Баренцева моря, чем модели (Ряйсянен, 1994; Ланге и др., 1999), учитывающие только парниковые газы.

С другой стороны, снижение региональных температур могло быть результатом изменений в переносе тепла течением Гольфстрим, вызванных глобальным потеплением (Бонъярд, 1999). Однако обе эти гипотезы спорны, поскольку наибольшее сокращение продолжительности вегетационного периода в 1982–1998 гг. было зафиксировано в районе между Кируной (Северная Швеция) и Энонтекиё (Северная Финляндия) (Høgda et al., 2001), который расположен вдали от крупных загрязнителей и отделен от морского побережья горным хребтом.

#### Благодарности

Мы благодарим Е. Звереву, Т. Спаркса, Х. Корнелиссена, Дж. Валкаму и трех анонимных рецензентов за полезные комментарии, а также Эллен Валле за улучшение языка. Работа была поддержана контрактом ЕС ENV4-CT97-0637 и является вкладом № 259/19 в программу ЕС ELOISE в рамках проекта BASIS.

## Ссылки

- Алексеев, В.А.: 1993, «Влияние загрязнения воздуха на лесные экосистемы Кольского полуострова: история исследований, достижения и недостатки», в Козлов, М.В., Хаукиоя, Э., и Ярмишко, В.Т. (ред.), *Воздушное загрязнение на Кольском полуострове: Труды международного семинара, 14–16 апреля 1992 г.*, Санкт-Петербург, Россия, Кольский научный центр, Апатиты, Россия, стр. 20–34.
- Бернтсен, Т., Исаксен, ИСА, Ван, В.-К. и Лян, Х.-З.: 1996, «Влияние увеличения антропогенных выбросов в Азии на тропосферный озон и климат: глобальное трехмерное модельное исследование», *Tellus* 48B, 13–32.
- Боньярд, П.: 1999, «Как глобальное потепление может привести к замерзанию Северной Европы», *Эколог* 29, 79–80.
- Чапин, Ф.С. III и Шейвер, Г.Р.: 1985, «Индивидуалистическая реакция роста видов растений тундры»  
«Экологические манипуляции в полевых условиях», *Экология* 66, 564–576.
- Чепмен, У. Л. и Уолш, Дж. Э.: 1993, «Последние изменения температуры морского льда и воздуха в высоких широтах». Широты», *Бюллетень Американского метеорологического общества*, 74, 33–47.
- Дубровский, В.Л.: 2000, «О металлургическом комбинате «Североникель», Лапландский заповедник: Годовой отчет Лапландия Государственный природный биосферный заповедник 1, 44, на русском языке.
- Хил, О.В., Каллаган, ТВ, Корнелиссен, Дж. Х. Кёрнер, К. и Ли, С. Э. (ред.): 1998, Глобальные изменения в холодных регионах Европы. Отчет Европейской комиссии по исследованию экосистем 27, Офис официальных публикаций Европейских сообществ, Люксембург.
- Хейкинхеймо, М. и Лаппалайнен, Х.: 1997, «Зависимость распускания цветочных почек некоторых таксонов растений в Финляндии от эффективной суммы температур: последствия для потепления климата», *Annales Botanici Fennici* 34, 229–243.
- Хёгда, К.А., Карлсен, С.Р. и Солхейм, И.: 2001, «Влияние изменения климата на вегетационный период в Фенноскандии, изученное с помощью временного ряда данных NOAA AVHRR NDVI», в симпозиуме по геонаукам и дистанционному зондированию, 9–13 июля 2001 г., Сидней, Австралия: Материалы конференции, IEEE International, Пискатауэй, США [ISBN 0-7803-7031-7; копия на CD: нет нумерации страниц].
- Houghton, JT, Meiro Filho, LG, Callander, BA, Harris, N., Kattenburg, A., and Maskell, K. (ред.): 1996, *Изменение климата 1995: Наука об изменении климата*, Cambridge University Press, Кембридж, Великобритания
- Хьюз, Л.: 2000, «Биологические последствия глобального потепления: сигнал уже очевиден?», *Trends Ecol. Evol.* 15, 56–61.
- Кожевников, Ю.П.: 1996, *Растительный покров Северной Азии в исторической перспективе*, Мир и Семья, Санкт-Петербург, Россия, на русском языке.
- Козлов, М.В.: 2000, «Климатические признаки в экологии», *Trends Ecol. Evol.* 15, 286–287.
- Козлов М.В. и Баркан В.С.: 2000, «Загрязнение окружающей среды в центральной части Кольского полуострова». «Полуостров: история, документация и восприятие», *Ambio* 29, 512–517.
- Козлов М.В., Хаукиоя Э., Бахтияров А.В. и Строганов Д.Н.: 1995, «Тяжелые металлы в березовых листьях вокруг никель-медного завода в Мончегорске, Северо-Запад России», *Environ. Загрязнение*. 90, 291–299.
- Крамер, К., Лейнонен, И. и Лустау, Д.: 2000, «Значение фенологии для оценки воздействия изменения климата на рост бореальных, умеренных и средиземноморских лесных экосистем: обзор», *Int. J. Biometeorol.* 44, 67–75.
- Куллман, Л.: 1996, «Современное похолодание и отступление ели норвежской (*Picea abies* (L.) Karst.) в лесо-альпийском тундровом экотоне шведских Скандинавских гор», *J. Biogeogr.* 23, 843–854.
- Ланге, М.А., Бартлинг, Б. и Гросфельд, К. (ред.): 1999, Глобальные изменения и регион Баренцева моря: Труды первой международной исследовательской конференции BASIS, Санкт-Петербург, Россия, 22–25 февраля 1998 г., Мюнстерский университет, Германия.
- Магнусон, Джей-Джей, Робертсон, ДМ, Бенсон, Би-Джей, Винн, Р.Х., Ливингстон, ДМ, Арай, Т., Ассел, Р.А., Барри, Р.Г., Кард, В., Куусисто, Э., Гранин, Н.Г., Проуз, ТД, Стюарт, К.М.,

- и Вуглинский, В.С., 2000: «Исторические тенденции ледового покрова озер и рек в Северном полушарии», *Science* 289, 1743–1746.
- Манн, М.Е., Брэдли, Р.С. и Хьюз, М.К.: 1998, «Глобальные температурные закономерности и «Воздействие на климат за последние шесть столетий», *Nature* 392, 779–787.
- Минин, А.А.: 1998, «Изменение сроков наступления некоторых фенологических явлений у деревьев, произрастающих на Русской равнине, за последние 30 лет», *Ботанический журнал (Санкт-Петербург)*, 83, 73–77.
- Минин, АА: 2000, *Фенология Русской равнины: данные и обобщения. Изд-во АБФ, Москва, на русском языке.*
- Митчелл, Дж. Ф. Б., Джонс, ТК, Грегори, Дж. М. и Тетт, С. Ф. Б.: 1995, «Реакция климата на повышение уровня парниковых газов и сульфатных аэрозолей», *Nature* 376, 501–504.
- Минени, Р.Б., Киллинг, К.Д., Такер, К.Дж., Асрар, Г. и Немани, Р.Р.: 1997, «Увеличение роста растений в северных высоких широтах с 1981 по 1991 год», *Nature* 386, 698–702.
- Нормил, Д.: 1995, «Полярные регионы холодно относятся к теориям», *Science* 270, 1566.
- Паркинсон, СЛ: 1992, «Пространственная закономерность увеличения и уменьшения продолжительности сезона морского льда в Северном полярном регионе, 1979–1986», *J. Geophys. Res.* 97, 14377–14388.
- Пресс, М.К., Каллаган, ТВ, и Ли, Дж.А.: 1998, «Как отреагируют европейские арктические экосистемы к прогнозируемым глобальным изменениям окружающей среды?», *Ambio* 27, 306–311.
- Ряйснен, Й.: 1994, «Сравнение результатов семи экспериментов GCM в Северной Европе», *Geophysica* 30, 3–30.
- Ригина, О. и Козлов, М.: 1999, «Влияние загрязнения на субарктические леса северной тайги на Кольском полуострове, Россия», в Иннес, Дж. Л. и Олексин, Дж. (ред.), *Динамика лесов в сильно загрязненных регионах (отчеты IUFRO об изменении окружающей среды)*, CAB International, Оксфордшир, Великобритания, стр. 37–65.
- Семенов-Тянь-Шанский О.И.: 1947, «Опыт изучения фенологических явлений в Мурманской области», *Известия Всесоюзного географического общества (Москва)*, 79, 447–457, на русском языке.
- Семенов-Тянь-Шанский, О.И. и Аблаева, Ж.Х.: 1983, «Фенологические наблюдения в Лапландском заповеднике», в Семенов-Тянь-Шанский, О.И. (ред.), *Сезонная и годовая динамика растительности в заповедниках СССР, Центральная научно-исследовательская лаборатория охотничьего хозяйства и заповедников, Москва*, с. 44–58.
- Спаркс, Т., Хейен, Х., Браславска, О. и Лехикоинен, Э.: 1999, «Мигрируют ли европейские птицы раньше?», *Новости Британского фонда орнитологии (ВТО)* 223, 8–9.
- Спаркс, Т. Х. и Йейтс, Т. Дж.: 1997, «Влияние температуры весны на даты появления «Британские бабочки 1883–1993», *Экография* 20, 368–374.
- Валкама, Дж. и Козлов, М.В.: 2001, «Влияние климатических факторов на стабильность развития горной березы, произрастающей на загрязненной территории», *J. Appl. Ecol.* 38, 665–673.

(Получено 16 марта 2000 г.; в измененном виде 14 января 2002 г.)