

# ОТКЛИК ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ СЕВЕРА ЕВРАЗИИ НА МОЩНЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ

*О. В. Сидорова\*, М. М. Наурызбаев, Е. А. Ваганов*

\* РФ, 660036 Красноярск, Академгородок, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, [ovsidorova@forest.akadem.ru](mailto:ovsidorova@forest.akadem.ru)

**Реферат.** Проанализирован отклик радиального прироста деревьев севера Евразии на мощные вулканические извержения за 2000 лет. Проведен сравнительный анализ долговременных древесно-кольцевых хронологий и других косвенных источников информации, включающих исторические данные и данные по содержанию сульфатов в слоях ледовой колонки Гренландии (GISP2). Это позволило обнаружить общий отклик на мощные вулканические извержения в изменении температуры в исследуемой области северного полушария. Показано, что в погодичной изменчивости прироста деревьев, произрастающих на севере Евразии, достоверно зафиксирована информация об изменениях температуры воздуха, вызванных вулканической деятельностью. Установлено, что крупные вулканические извержения в северном полушарии (с индексом вулканической активности  $\geq 4$ ) обуславливают снижение температуры и ведут к депрессии роста древесных растений на севере Евразии в течение последующих четырех лет после вулканических извержений. Для южного полушария данной связи не установлено, однако отдельные вулканические извержения, характеризующиеся наибольшим индексом вулканической активности, оказывают влияние на радиальный прирост деревьев севера Евразии.

Проведено разбиение дат вулканических извержений за последнее тысячелетие на три класса в широтном направлении. Установлено, что больше всего вулканических извержений в северном полушарии зафиксировано в высоких широтах, а в южном полушарии - в низких. Наибольшие депрессии прироста деревьев на севере Евразии отмечены в широтной зоне, прилегающей к экватору северного полушария.

Установлено, что мощные вулканические извержения являются причиной синхронного снижения радиального прироста деревьев в некоторые (536/537/538, 627/628, 854/855, 1259, 1641/1642, 1783/1784, 1812/1813, 1815/1816, 1883, 1912) годы на всей исследуемой территории севера Евразии.

**Ключевые слова.** Радиальный прирост деревьев, изменения температуры, вулканические извержения, север Евразии.

# RESPONSE OF TREE-RING CHRONOLOGIES FROM SUBARCTIC EURASIA TO THE STRONG VOLCANIC ERUPTIONS

*O. V. Sidorova\**, *M. M. Naurzbaev*, *E. A. Vaganov*

\* V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS. Akademgorodok, 660036 Krasnoyarsk, Russia, [ovsidorova@forest.akadem.ru](mailto:ovsidorova@forest.akadem.ru)

**Abstract.** A response of tree radial growth to powerful volcanic eruptions was analyzed for the last 2000 years. The comparative analysis of long-term tree-ring chronologies constructed for the Eurasian regions and some other proxy-data on natural variations of climate (including historical data and sulphate content in GISP2 - Greenland ice core) was made. The analysis allowed to find a common response in changes of temperature in the investigated part of the Northern Hemisphere to the strong volcanic eruptions. It was shown that inter-annual variability of tree growth rate in Northern Eurasia reflects the information on global anomalies in climate caused by volcanic activity. It was found that strong volcanic eruptions ( $VEI \geq 4$ ) in the Northern Hemisphere led to temperature decrease and caused radial growth depression in the North of Eurasia during 4 years after the event. This was not found in relation to the Southern Hemisphere. However, some volcanic eruptions having the highest index of volcanic activity affect tree radial growth in northern Eurasia.

The dates of volcanic eruptions of the last millennium were subdivided into three latitudinal classes. It was shown that most of volcanic eruptions occurred in high latitudes of the Northern Hemisphere, while the lesser part in the low latitudes in the Southern Hemisphere. The majority of depressions in tree ring chronologies from northern Eurasia caused by volcanic eruptions in the Northern Hemisphere are associated with the middle and high latitudes. Volcanic eruptions cause synchronous depressions of tree growth for several years (536/537/538, 627/628, 854/855, 1259, 1641/1642, 1783/1784, 1812/1813, 1815/1816, 1883, 1912 AD) over huge area of the northern Eurasia.

**Keywords.** Tree radial growth, depression, temperature variability, Northern Eurasia.

## Введение

Известно, что результатом мощного вулканического извержения является выброс в атмосферу частиц пыли и аэрозолей, что уменьшает ее прозрачность и вследствие этого приводит к ослаблению солнечной радиации, достигающей земной поверхности. Это может привести к кратковременному или длительному нарушению теплового баланса и похолоданию (Логоинов, 1984; Zielinski, 1994, 2000). Датировкой катастрофических со-

бытий с помощью древесно-кольцевого анализа занимались многие исследователи, однако масштабы проведенных работ явно недостаточны (Lough, Fritts, 1987; Zielinski, 1994; Shiyatov et al., 1996; Briffa et al., 1998; Krakauer, Randerson, 2003). Неоднократны попытки сопоставить данные о значительных изменениях температуры с датами мощных вулканических извержений. Однако такие попытки ограничивались длительностью рядов наблюдений за температурой и приближенной исторической информацией, когда для такого ряда сопоставления необходима разрешающая способность во времени до года (Ваганов и др., 1996; Cole-Dai et al., 2000).

Особый интерес представляет интегральная оценка информации о прошлых природно-климатических вариациях, включая вулканическую активность, зафиксированную в календарно датированных изменениях прироста годичных колец деревьев.

### **Методы и материалы**

Материалом для исследования послужили длительные древесно-кольцевые хронологии, полученные для севера Евразии: для востока Таймыра (72° с. ш., 102° в. д.) (Naurzbaev et al., 2002; Наурзбаев и др., 2003), северо-востока Якутии (70° с. ш., 148° в. д.) (Hughes et al., 1999; Сидорова, Наурзбаев, 2002), полуострова Ямал (67° с. ш., 70° в. д.) (Хантемиров, 1999; Hantemirov, Shiyatov, 2002) и Швеции (68° с. ш., 20° в. д.) (Zetterberg et al., 1995; Grudd et al., 2002) (рис. 1). Ранее при анализе пространственно-временной корреляции локальных хронологий субарктики Урала и Сибири было четко показано, что хронологии значимо коррелируют между собой на расстоянии до 600-800 км (Ваганов и др., 1996), поэтому региональные тысячелетние хронологии представляют длительные ряды изменчивости прироста деревьев (и изменчивости климатических переменных) для крупных секторов субарктической зоны северного полушария. Для субарктической области была выявлена тесная связь изменчивости ширины годичных колец с летней (июнь-июль) температурой воздуха (Ваганов и др., 1996; Ваганов и др., 2000; Сидорова, Наурзбаев, 2002). На основании значимых статистических характеристик: стандартного отклонения (0,73-1,52), чувствительности (0,74-0,80), корреляции в длительных колебаниях (0,17-0,35) - все четыре исследуемые хронологии в дальнейшем были объединены в ОДНУ генерализированную хронологию по северу Евразии (Наурзбаев и др., 2003).

Длительные древесно-кольцевые хронологии дали возможность соотнести годы исторически датированных, а также восстановленных по высокой концентрации сульфатов в слоях ледовых колонок Гренландии (GISP2) (Zielinski, 1994; Briffa et al., 1998) дат значительных вулканических извержений с изменчивостью радиального прироста. Представляло интерес выявить общий отклик в изменении температуры исследуемой об-



Рис. 1. Местоположение длительных древесно-кольцевых хронологий по северу Евразии и длительной хронологии по ледовой колонке Гренландии (GISP2).

ласти северного полушария на значительные вулканические извержения как документально зафиксированные, так и имеющие даты, определенные по содержащимся в ледовых ядрах слоям сульфатов.

Данные исторических сведений об извержениях вулканов и данные по содержанию сульфатов в слоях ледовых колонок (Bradley et al., 1992; Zielinski et al., 1994; Briffa et al., 1998a) сопоставлены с полученными нами древесно-кольцевыми хронологиями. Были отобраны даты наиболее мощных вулканических извержений по индексу вулканической активности ( $VEI \geq 4$ ).

С помощью метода „наложенных эпох” (синхронное детектирование) (Измайлов и др., 1999) в длительных древесно-кольцевых хронологиях были отобраны даты мощных вулканических извержений с периодом 10 лет до и после события. Данный метод позволил анализируемый временной интервал разбить на равные участки заданной длительности и произвести усреднение результатов, одинаково расположенных во времени относительно начал этих участков с „накоплением” эффекта за 1000 лет. Наиболее выраженные периоды депрессии радиального прироста совпадали как с документально зафиксированными, так и с неизвестными вулканическими извержениями (Zielinski et al., 1994, 2000; Briffa et al., 1998a).

## Результаты и обсуждение

Рассмотрим данные по извержению вулканов в сопоставлении с длительными древесно-кольцевыми хронологиями.

Согласно историческим свидетельствам, 536-537 гг. в Европе, Средиземноморье и Среднем Востоке сопровождалось холодным летом с мощным густым туманом, низким урожаем, голодом, эпидемиями и гибелью растительных и животных популяций (Stothers, 1999; Baillie, 1999). В ранее опубликованных работах высказывались предположения о том, что подобные условия могли быть вызваны главным образом вулканическими явлениями (Briffa et al., 1992; Lara and Villalba, 1993; Stothers, 1999; D'Arrigo et al., 1999). Имеется также альтернативная гипотеза о космическом феномене (астероиде или комете), что могло бы объяснить странные климатические условия и другие сопровождающие эффекты в то время (Baillie, 1999; Rigby et al., 2004).

На рис. 2 показан образец лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Maigr.) из низовьев р. Индигирки, где 536 г. характеризуется формированием достаточно узкого годичного кольца. Ряд последующих лет также характеризуется узкими кольцами, что свидетельствует о чрезвычайно неблагоприятных условиях в этот и последующие годы.

На рис. 3 приведен фрагмент двух хронологий по Таймыру и Индигирке в сопоставлении с концентрацией вулканического аэрозоля по данным ледовых кернов в предполагаемый период мощного вулканического из-

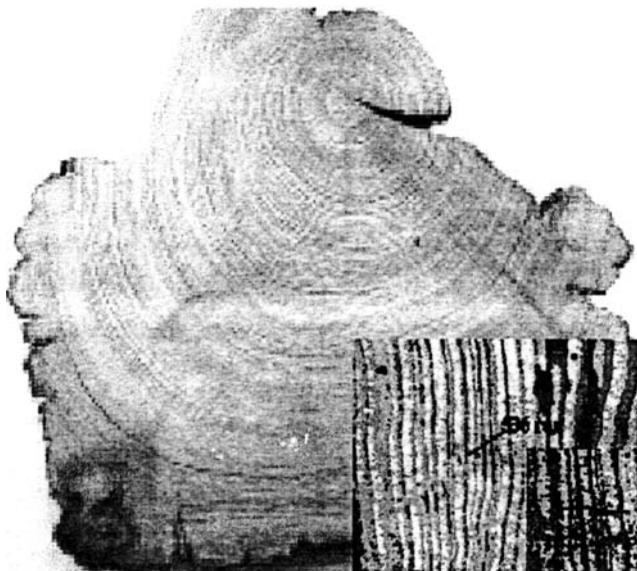


Рис. 2. Образец (IND 301) лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Maigr.), найденный в районе низовьев р. Индигирки.

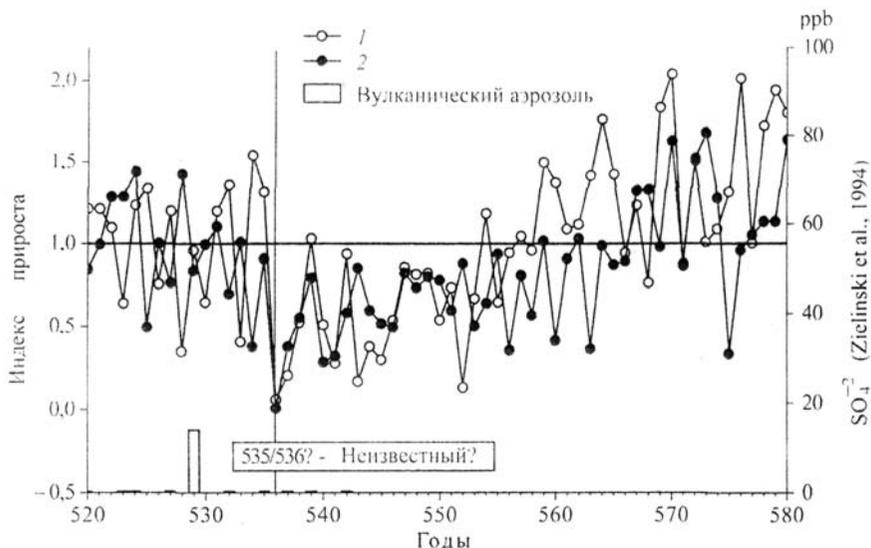


Рис. 3. Депрессия прироста деревьев для Таймыра (1) и Индигирки (2) после 536 г.

вержения. В слое ледяного ядра увеличение содержания сульфатов выявлено в 529 г., а в древесно-кольцевых хронологиях по Таймыру и Индигирке зафиксировано с запаздыванием в 536 г. График свидетельствует о сохранении величин прироста ниже текущего уровня в течение 20 лет, причем лишь в 559 г. кривая радиального прироста выходит на положительный уровень.

Установлено, что в хронологиях для субарктических областей депрессия радиального прироста ярко выражена в течение 23 лет, а не 10, как для европейских районов (Stothers, 1999, 2000; Baillie, 1999). Похолодание продолжительностью 23 года может быть обусловлено как падением кометы или астероида (Rigby et al., 2004), так и мощным извержением вулкана, которое нашло отклик в обоих полушариях. Для многих исследователей данный вопрос остается дискуссионным.

Из исторических свидетельств также известно, что в Европе февраль и июнь 1258 г. были достаточно холодными, а в России 1259 г. сопровождался необыкновенно холодным апрелем. В этот год высокое содержание сульфатов зафиксировано в слоях ледовых колонок (Zielinski, 1995). Для хронологии по Фенноскандии выявлены необычные периоды похолодания с 1250 по 1260 г. (Zetterberg et al., 1995). Полученные хронологии по Индигирке и Таймыру также показывают депрессию радиального прироста (рис. 4).

Из косвенных источников известно, что начало 1600 г. сопровождалось холодным летом - так называемый год без лета (Briffa et al., 1998; Zielinski, 2000). После извержения вулкана Уйнапутина в 1600 г. в слоях

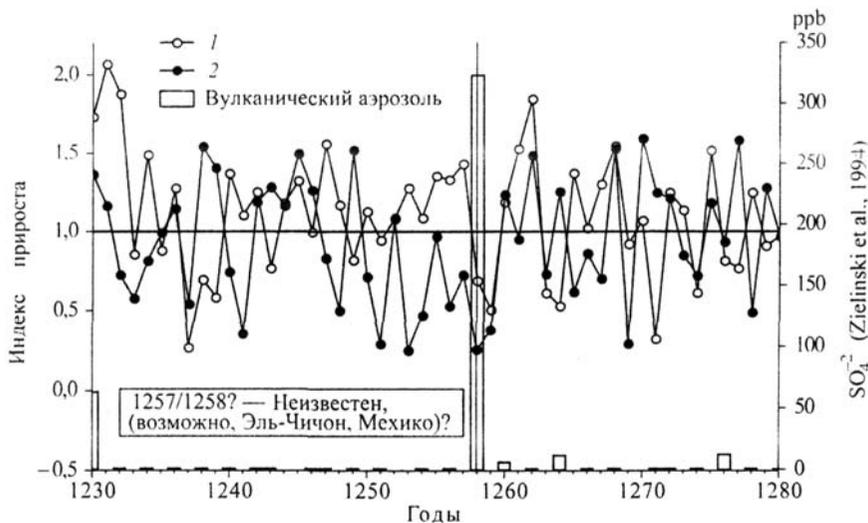


Рис. 4. Депрессия прироста деревьев для Таймыра (1) и Индигирки (2) в 1258 г. и последующие годы.

ледовых кернов найдено большое содержание микрочастиц вулканического стекла и серы (Thompson et al., 1989). Так, в Скандинавии 1601 г. характеризуют как год лунного затмения при красном солнце и луне (De Silva et al., 1998). Все это свидетельствует о большом возмущении атмосферы. В России 1600-1603 гг. также были достаточно холодными. Из исторических источников известно, что в Москве в эти годы выпал снег и в июле, и в августе. Ряд холодных лет, следовавший один за другим, привел к гибели урожая и, следовательно, к голоду и увеличению смертности людей и животных. На рис. 5 приведены данные о депрессии прироста деревьев в период мощных вулканических извержений (1600 и 1641 гг.). Древесно-кольцевые хронологии отчетливо свидетельствуют о периодах депрессии продолжительностью до 7 лет.

В 1641 г. произошло мощное вулканическое извержение вулкана Паркер. В хронологиях для субарктической зоны Сибири это событие отразилось только на следующий год (см. рис. 5). По двум хронологиям восстановление прироста произошло только через шесть лет.

Не менее интересно событие, произошедшее в 1815 г. Из исторических источников известно, что извержение вулкана Тамбора в 1815 г. в южном полушарии (VEI = 7) привело к так называемому году без лета, точно такому же периоду, как в 1600 и 1641 гг. (Stothers, 1984). Как видно из рис. 6, событие в южном полушарии нашло отклик у деревьев, произрастающих в высоких широтах северного полушария. Отчетливо прослеживается тенденция спада прироста, распространяющаяся на ряд последующих лет. На положительный уровень кривые выходят только после 1830 г.



Рис. 5. Депрессия прироста деревьев для Таймыра (1) и Индигирки (2) в периоды около 1600 и 1641 гг.

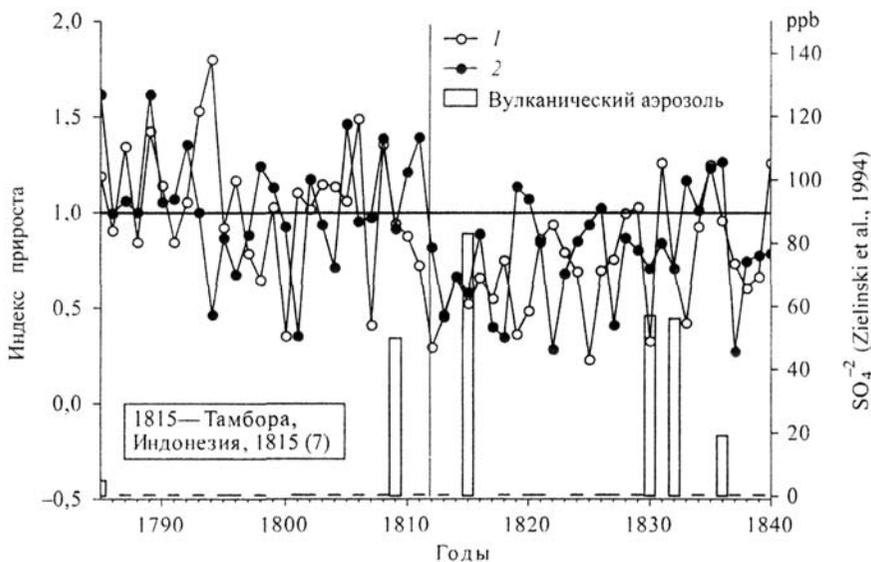
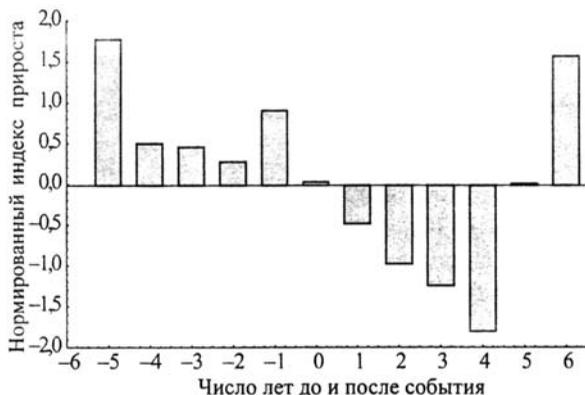


Рис. 6. Депрессия прироста деревьев для Таймыра (1) и Индигирки (2) в 1815 г. и последующие годы.

Рис. 7. Кривая реакции прироста деревьев на севере Евразии (Швеция, Ямал, Таймыр, Индигирка) на вулканические извержения северного полушария за последнее тысячелетие.



Для рассмотре-  
ния суммарной реак-  
ции деревьев, произ-  
растающих на севере

Евразии, на мощные вулканические извержения ( $VEI \geq 4$ ) в северном полушарии к полученным нами древесно-кольцевым хронологиям по Таймыру и Индигирке были добавлены хронологии по Швеции (Grudd et al., 2002) и Ямалу (Хантемиров, 1999; Hantemirov, Shiyatov, 2002). За последнее тысячелетие было рассмотрено 100 событий ( $N = 100$ ) наиболее мощных вулканических извержений в северном полушарии. В результате объединения данных получена суммарная кривая ответной реакции прироста деревьев для четырех хронологий на вулканические извержения (рис. 7). Из графика видно, как существенно подавляется радиальный прирост деревьев после извержений. На положительный уровень интегральные кривые выходят только после пяти лет (Сидорова, Наурзбаев, 2000).

Данный график был сравнен с графиком, полученным Зелинским (рис. 8), изменения приземной температуры воздуха в северном полушарии на мощные вулканические извержения (Zielinski, 2000). Автор выделил четыре года до события и четыре после. За последние два столетия автор выбрал годы наибольшей вулканической активности (1815, 1835, 1875, 1883, 1902, 1947, 1956, 1963). Из обоих независимо построенных

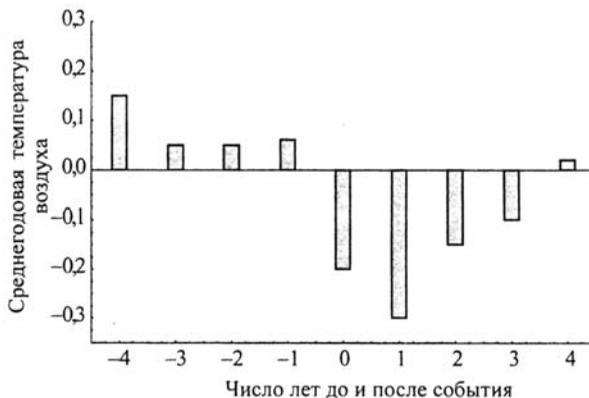


Рис. 8. Изменение приземной температуры воздуха в северном полушарии за последние 200 лет (Zielinski, 2000).

графиков (рис. 7 и 8) можно заметить, что в год извержения вулкана (рис. 8) среднегодовая температура воздуха, осредненная для северного полушария, резко понижается и выходит на положительный уровень через четыре года. Резкое изменение радиального прироста деревьев на севере Евразии (см. рис. 7) происходит только на следующий год после события и продолжается практически пять лет.

Таким образом, после извержения вулканов отмечается сходная качественная реакция температуры и динамики радиального прироста деревьев. Если оценить ее количественно, то можно получить, что понижение температуры на  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответствует депрессии в индексах радиального прироста на  $0,06$ . Для длительных изменений индексов в начале XIX в. отмечено устойчивое уменьшение радиального прироста до  $0,85$ , что в таком случае соответствует понижению многолетней температуры на  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Эти оценки не противоречат имеющимся историческим и инструментальным данным (Bradley, 2001; Изменение климата, 2001).

Рассмотрим, существует ли отклик в приросте деревьев, произрастающих в северном полушарии, на мощные вулканические извержения в южном полушарии (рис. 9).

Для южного полушария по сравнению с северным рассмотрено значительно меньше значимых событий ( $N = 37$ ). Из рисунка видно, что суммар-

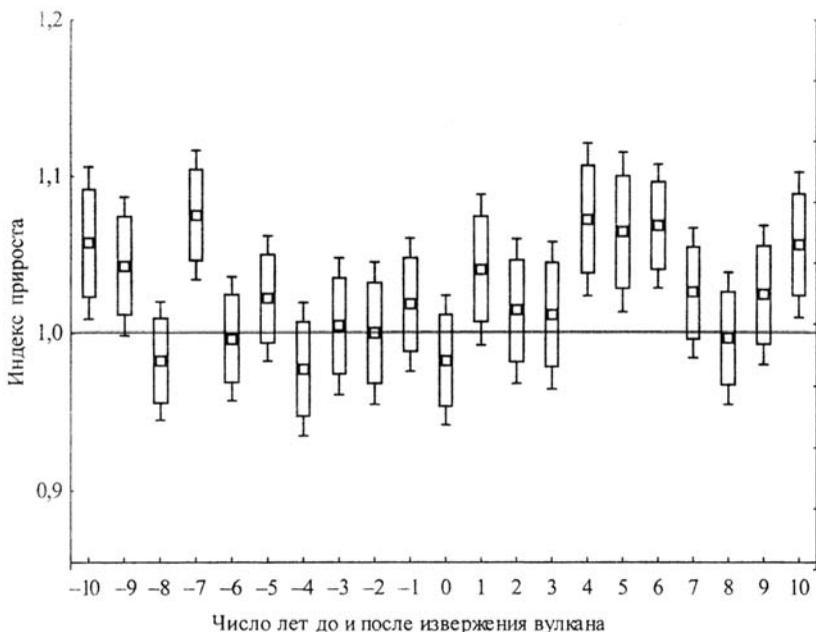


Рис. 9. Кривая реакции прироста деревьев на мощные вулканические извержения в южном полушарии за последнее тысячелетие.

ная кривая по радиальному приросту деревьев, произрастающих на севере Евразии, не показывает четкой реакции на вулканические извержения в южном полушарии. Однако как было показано выше, отдельные наиболее мощные вулканические извержения, например мощное вулканическое извержение Уйянапутина (1600 г.) или Тамбора (1815 г.), повлекли за собой выраженную депрессию прироста у деревьев, произрастающих в субарктических районах северного полушария.

Для более детального анализа нами был проведен отбор календарных дат мощных вулканических извержений в северном полушарии по широтным зонам 0-20°, 20-45°, 45° и выше. Координаты и географическое положение используемых нами вулканов взяты из ранее опубликованных данных (Briffa et al., 1996, 1998; Zielinski, 1994). Для широтных зон 0-20° и 20-45° с. ш. отобрано по 27 дат мощных вулканических извержений. Для широты от 45° и выше зафиксировано наибольшее число вулканических извержений, а именно 46 событий (рис. 10).

Результаты широтного распределения влияния на прирост деревьев севера Евразии вулканических извержений весьма интересны (см. рис. 10). Оказалось, что экваториальные извержения сопровождаются снижением прироста в течение восьми лет. Среднширотные извержения также сопровождаются снижением прироста, но менее продолжительным по времени, а извержения высоких широт (45° и выше) отражаются на приросте деревьев севера Евразии в течение первых двух лет, а в основном длительная депрессия прироста не отмечается, хотя данные деревья располагаются ближе к Северному полюсу. Существенное влияние экваториальных извержений на погодные условия на севере, вероятно, связано как с особенностями циркуляционных эффектов, так и высотой и составом вулканических выбросов при экваториальных извержениях (Zielinski, 2000). К сожалению, использованные для классификации индексы вулканической активности не позволяют более дифференцированно подойти к оценке такого рода особенностей наиболее мощных извержений.

Таким образом, установлено, что погодичная изменчивость прироста деревьев, произрастающих на севере Евразии, достоверно свидетельствует о глобальных аномалиях климата северного полушария в позднем голоцене, что обусловлено событиями планетарного масштаба, сопряженными с мощной вулканической активностью как известных, так и не зафиксированных историческими данными извержений вулканов 536/537/538, 627/628, 854/855, 1259, 1641/1642, 1783/1784, 1812/1813, 1815/1816, 1883, 1912 гг. (Сидорова, Наурызбаев, 2000). Крупные вулканические извержения в северном полушарии (с индексом вулканической активности  $\geq 4$ ) обуславливают понижение температуры и приводят к депрессии роста древесных растений на севере Евразии в течение последующих четырех лет после извержения. Выявлено, что отклик прироста древесных растений на извержения вулканов в разных зонах северного полушария существенно

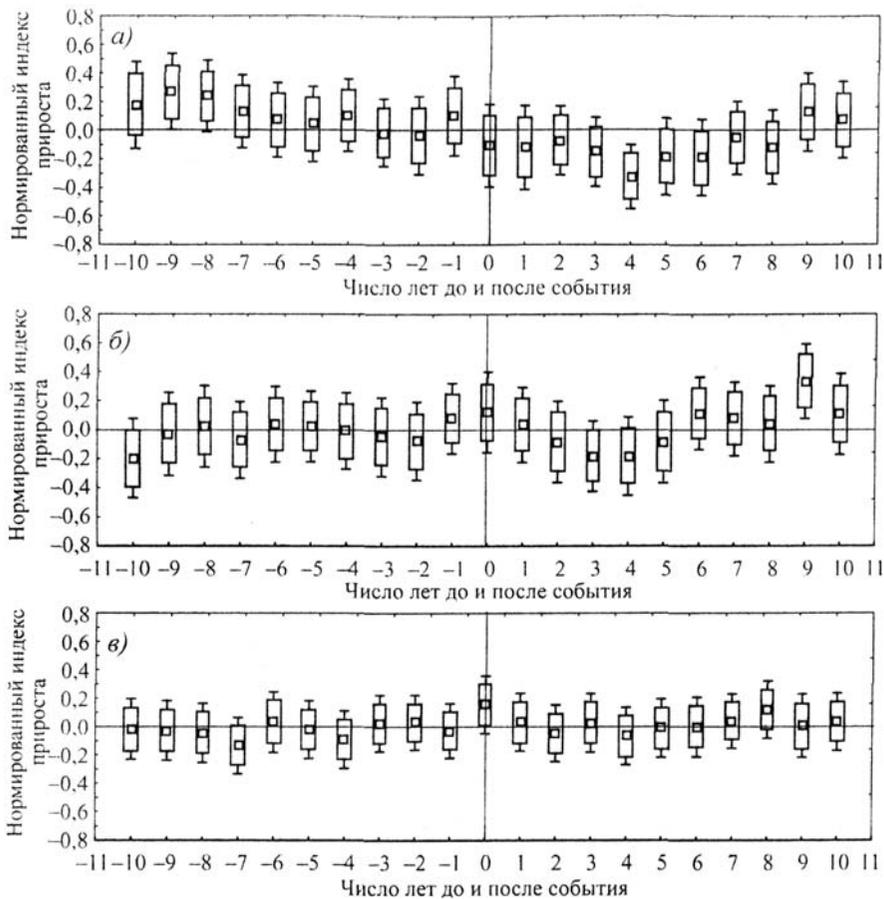


Рис. 10. Реакции прироста деревьев на мощные вулканические извержения, происходящие в низких (а), средних (б) и высоких (в) широтах северного полушария.

различается. Использование тысячелетних древесно-кольцевых хронологий является успешным инструментом для детального анализа и отклика климатической системы на мощные вулканические извержения как на региональном, так и глобальном уровнях.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 02-05-65119, 02-04-49423, научная школа - НШ-2108.2003.4; Интеграционного проекта СО РАН № 121, ККФН № 9Т07.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. 1996. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. - Новосибирск: Наука. - 324 с.
- Ваганов Е. А., Бриффа К. Р., Наурзбаев М. М., Швейнгрубер Ф. Г., Шиятов С. Г., Шишов В. В. 2000. Длительные климатические изменения в Арктическом регионе северного полушария. - ДАН, Вып. 375, № 8, с. 1314-1317.
- Изменение климата. 2001 / Под ред. Т. Р. Уотсона. Обобщенный доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. - Москва. - 220 с.
- Измайлов В. П., Карагиоз О. В., Пархомов А. Г. 1999. Исследование вариаций результатов измерений гравитационной постоянной. - Физическая мысль России, № 1/2, с. 20-26.
- Логинов В. Ф. 1984. Вулканические извержения и климат. - Л.: Гидрометеиздат. - 64 с.
- Наурзбаев М. М., Ваганов Е. А., Сидорова О. В. 2003. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий. - Криосфера Земли, т. 7, № 2, с. 84-91.
- Сидорова О. В., Наурзбаев М. М. 2000. Хронология вулканических извержений, зафиксированная в годичных кольцах деревьев Субарктики восточной Сибири. - Тезисы докладов II совещания. Экология пойм Сибирских рек и Арктики. - Томск, 10 с.
- Сидорова О. В., Наурзбаев М. М. 2002. Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине реки Индигирки. - Лесоведение, № 2, с. 73-75.
- Хантемиров Р. М. 1999. Древесно-кольцевая реконструкция летних температур на севере Западной Сибири за последние 3248 лет. - Сиб. экол. журн., № 2, с. 185-191.
- Baillie M. G. L. 1999. Exodus to arthur, catastrophic encounters with comets. - London: Bastrop Ltd. - 272 p.
- Bradley R. S. 2001. Many citations support global warming trend. - Science, N 292, p. 2011.
- Bradley R. S., Jones P. D. 1992. Records of explosive volcanic eruptions over the last 500 years. - In: Bradley R. S., Jones P. D. (Eds.). Climate since A.D. 1500. - Routledge, New York, p. 606-622.
- Briffa K. R., Jones P. D., Bartholin T. S. et al. 1992. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. - Climate Dynamics, N 7, p. 111-119.
- Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Karlen W., Shiyatov S. G. 1996. Tree-ring variables as proxy indicators: Problems with low-frequency signals. - Climate change and forcing mechanisms of the last 2000 years. - Berlin: Springer, NATO ASI Series 141, p. 9-41.
- Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Osborn T. G. 1998. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperatures over the past 600 years. - Nature, N 393, p. 450-455.
- Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Osborn T. J., Shiyatov S. G., Vaganov E. A. 1998a. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. - Nature, N 391, p. 672-682.
- Cole-Dai J., Mosley-Thompson E., Wight S. P., Thompson L. G. 2000. A 4100-year record of explosive volcanism from an East Antarctica ice core. - J. Geophys. Res., v. 105, N 19, p. 24.431-24.441.
- D' Arrigo R., Frank D., Jacoby G., Pederson N. 1999. Spatial response to major volcanic events in or about AD 536, 934 and 1258: Frost rings and other dendrochronological evidence from Mongolia and northern Siberia. - Climatic Change, N 42, p. 31-34.

- De Silva S. L., Zielinski G. A. 1998. Global influence of the AD 1600 eruption of Huaynaputina, Peru. - *Nature*, N 393, p. 455-458.
- Grudd H., Briffa K. R., Karlen W., Bartholin T. S., Jones P. D., Kromer B. 2002. A 7400-year tree-ring chronology in northern Swedish Lapland: natural climatic variability expressed on annual to millennial timescales. - *The Holocene*, v. 12, N 6, p. 657-665.
- Hantemirov R., Shiyatov S. G. 2002. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia. - *The Holocene*, v. 12, N 6, p. 717-727.
- Hughes M. K., Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Touchan R., Funkhouser G. 1999. Twentieth-century summer warmth in northern Yakutia in a 600-year context. - *The Holocene*, v. 9, N 5, p. 603-608.
- Krakauer N. Y., Randerson J. T. 2003. Do volcanic eruptions enhance or diminish net primary production? - *Global Biogeochemical Cycles*, v. 7, N 4, p. 1118-1129.
- Lara A., Villalba R. 1993. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in Southern America. - *Science*, N 260, p. 1104-1106.
- Lough J. M., Fritts H. C. 1987. An assessment of the possible effects of volcanic eruptions on North American climate using tree-ring data, 1602 to 1900 A.D. - *Climatic Change*, N 10, p. 219-239.
- Naurzbaev M. M., Vaganov E. A., Sidorova O. V., Schweingruber F. H. 2002. Summer temperatures in eastern Taimyr inferred from a 2427-year late-Holocene tree-ring chronology and earlier floating series. - *The Holocene*, v. 12, N 6, p. 727-736.
- Rigby E., Symonds M., Ward-Thompson D. 2004. A comet impact in AD 536. *Astronomy and Geophysics*, v. 45, p. 123-126.
- Shiyatov S. G. 1996. Tree growth decrease between AD 1800 and 1840 in Subarctic and highland regions of Russia. - In: *Tree Rings, Environment and Humanity. Proceedings of the International Conference, Tucson, Arizona, 1994*, p. 283-294.
- Stothers R. 1984. The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath. - *Science*, N 224, p. 1191-1198.
- Stothers R. 1999. Volcanic dry fogs, climate cooling and Plague pandemics in Europe and the Middle East. - *Climate Change*, N 42, p. 713-723.
- Stothers R. 2000. Climatic and demographic consequences of the massive volcanic eruption of 1258. - *Climatic Change*, N 45, p. 361-374.
- Thompson L. G. 1989. Ice-core records with emphasis on the global record of the last 2000 years. - In: *Global changes of the past* (R. Bradley, ed.). UCAR/OIES, Boulder, Colorado, p. 201-224.
- Zetterberg P., Eronen M., Briffa K. R. 1995. A 7500-year pine tree-ring record from Finnish Lapland and its applications to paleoclimatic studies. - In: *Proceedings of the SILMU International Conference on Past, Present and Future Climate, Helsinki*, p. 151-154.
- Zielinski G. A. 2000. Use of paleo-records in determining variability within the volcanism-climate system. - *Quaternary Science Reviews*, N 19, p. 417-438.
- Zielinski G. A., Germani M., Larsen G. et al. 1995. Evidence of the Eldja (Iceland) eruption in the GISP2 Greenland ice core: Relationship to eruption processes and climatic conditions in the tenth century. - *The Holocene*, v. 5, N 5, p. 129-140.
- Zielinski G. A., Mayewski P. A., Meeker L. D. et al. 1994. Record of volcanism since 7000 B.C from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climatic system. - *Science*, N 264, p. 948-952.