

УДК 551.583+630+561.24

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ В ПОСЛЕДНЕМ СТОЛЕТИИ

© 2002 г. В. В. Шишов, академик Е. А. Ваганов, М. К. Хьюс, М. А. Корец

Поступило 30.07.2002 г.

В последнее десятилетие зарегистрировано самое значительное повышение температуры в северном полушарии за последние 500 лет [8]. Предполагается, что в динамике температуры существенно возрастает антропогенная составляющая, обусловленная увеличением содержания парниковых газов [4]. Данные 20-летних измерений NDVI четко выделяют области планеты, где за период 1980-1990 гг. отмечается увеличение продуктивности наземной растительности, тесно коррелирующее с изменениями температуры [7, 10]. К сожалению, прямые измерения годичной продуктивности наземной растительности по достаточно густой сети станций и для длительных интервалов времени отсутствуют, что не дает возможности сопоставить их с косвенными измерениями NDVI. Однако для такого сопоставления можно использовать данные ежегодного прироста деревьев (как важных составляющих продуктивности наземных экосистем), тем более что имеется и постоянно пополняется сеть дендроклиматических станций по всей планете, и в частности в Сибири [2, 3].

В данной работе рассмотрена пространственная изменчивость трендов радиального прироста деревьев на территории Сибири в разные периоды XX столетия, которые для последнего двадцатилетия сопоставлены с пространственными трендами NDVI, а также с длительными изменениями температуры в северном полушарии.

Для оценки трендов использовались 154 длительных древесно-кольцевых хронологий, полученных для сети дендроклиматических станций Сибири (рис. 1). Все хронологии измерены для хвойных видов деревьев (лиственница - 101 хронология, сосна - 26, ель - 27). Длительность 60 хронологий достигала 1998-2000 гг.

При стандартизации (устранении влияния возраста на ширину годичных колец) использован единый для всех индивидуальных серий измерений прироста метод аппроксимации возрастных изменений негативной экспонентой [9]. Этот способ стандартизации максимально сохраняет низкочастотные составляющие в изменчивости прироста деревьев, обусловленные внутривековыми колебаниями климата. Тренды рассчитывались для каждой обобщенной древесно-кольцевой хронологии (полученной осреднением индексов прироста не менее 15 деревьев для отдельного участка) для трех 20-летних временных интервалов: 1925-1945, 1955-1975 и 1980-1999 гг. как линия регрессии выделенного участка древесно-кольцевой хронологии (рис. 2). 20-летние интервалы были выбраны в соответствии с динамикой изменений температуры северного полушария: период возрастания температуры в первой половине XX столетия, временный период уменьшения температуры и современный существенный положительный тренд температуры в последние 20 лет (рис. 3). Поскольку каждая хронология имела точные географические координаты (широта, долгота и высота над уровнем моря), то полученные для каждого временного интервала значения трендов использовались для построения карт пространственной изменчивости трендов прироста. При этой процедуре использованы два пакета программ: 1) ERDAS IMAGINE (modeler и IDRISI (пространственная экстраполяция и интерполяция трендов как функции географических координат) и 2) ARC VIEW GIS v3.2 (построение карт). При построении карт трендов прироста использовалась электронная топографическая карта масштаба (1 : 2500000) и электронная карта лесов Сибири [11].

Результаты корреляции и множественной регрессии трендов радиального прироста деревьев в зависимости от географических координат для рассмотренных временных интервалов приведены в табл. 1.

Нетрудно видеть, что для последних 50 лет XX века тренды радиального прироста в Сибири

*Институт леса им. В.Н. Сукачева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Красноярск
Университет Аризоны, Тусон, США*

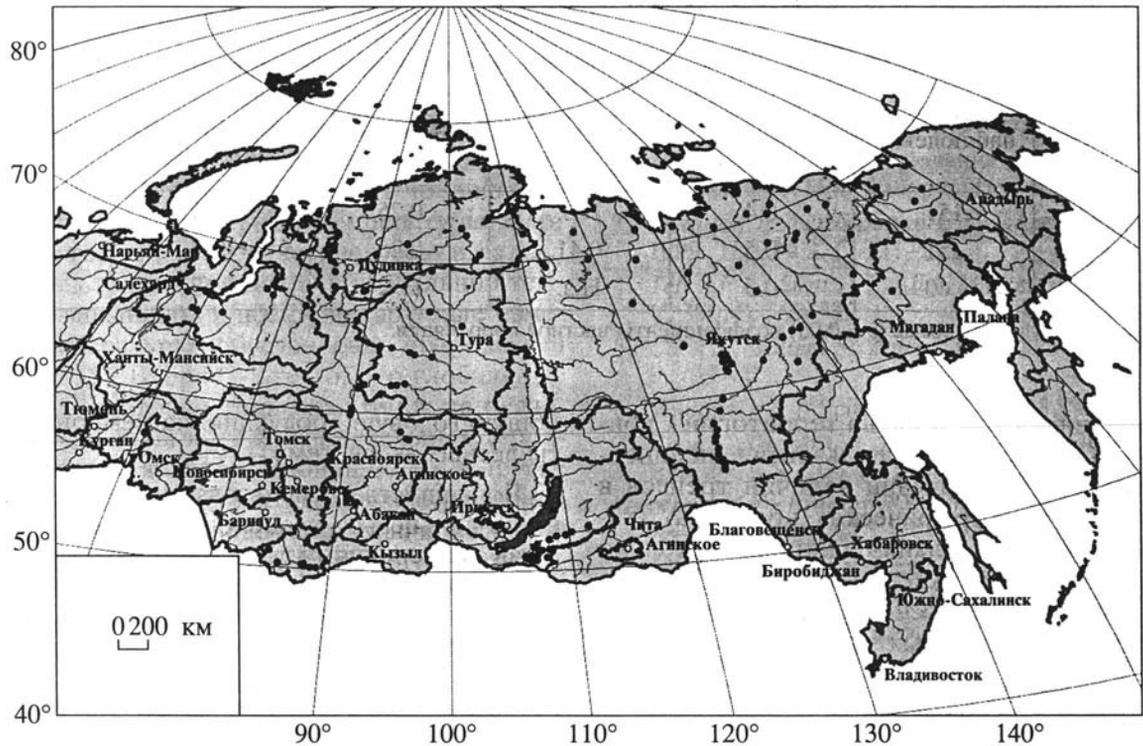


Рис. 1. Расположение дендрохронологических участков.

отрицательно коррелируют с широтой места произрастания деревьев, т.е. увеличение годовичного прироста устойчиво отмечается в средних широтах. Более слабая отрицательная зависимость наблюдается и с высотой места произрастания, что соответствует увеличению радиального прироста деревьев в нижнем поясе гор и, вероятно, на нижней границе леса. Эта картина пространственной неоднородности радиального прироста дере-

вьев оказывается прямо противоположной для периода потепления в середине столетия, когда увеличение прироста наблюдается в высоких широтах Сибири. Расчеты коэффициента детерминации показывают, что в отдельные интервалы времени до 64% изменчивости трендов прироста объясняются географическими координатами места произрастания деревьев. Построенные по полученным данным карты визуализируют кар-

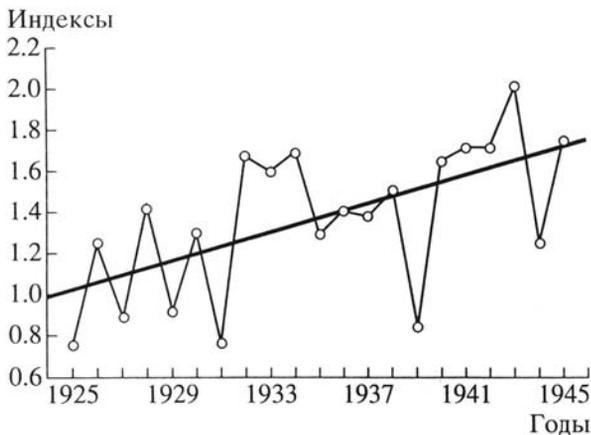


Рис. 2. Типичный тренд прироста для выбранного временного сегмента (1925-1945 гг.) древесно-кольцевой хронологии. $Trend = 0.994 + 0.034x + eps$.

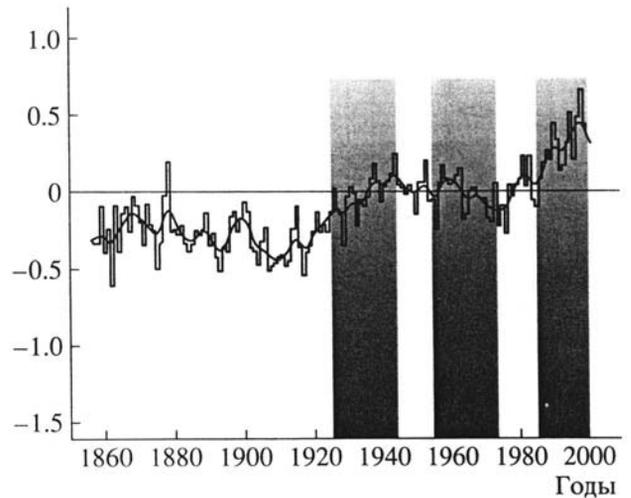


Рис. 3. Динамика средней годовой температуры северного полушария.

Таблица 1. Статистические характеристики проведенного регрессионного анализа (в таблице указаны только значимые коэффициенты с $p < 0.05$)

Временной интервал	Число наблюдений	Коэффициент частной корреляции			Множественный коэффициент корреляции	Критерий Фишера
		широта	долгота	высота над у. м.		
1925-1945	151	0.4	Н. з.	0.25	0.42	9.3
1955-1975	151	-0.53	0.41	-0.25	0.64	29.2
1980-1999	60	-0.5	Н. з.	Н. з.	0.63	12.1

Примечание. Н. з. - не значимые ($p > 0.05$) коэффициенты частной корреляции.

тину изменчивости трендов на территории Сибири (рис. 4). Отметим, что использование нелинейных методов экстраполяции величин трендов в зависимости от географических координат (таких, как полином и сплайн-функции) несколько улучшает оценки множественной регрессии, но значительно ухудшает основные статистические оценки вследствие краевых эффектов.

Карта пространственной неоднородности радиального прироста деревьев для 1980-1999 гг. была сопоставлена с картой трендов NDVI только для территории Сибири с использованием сети дендроклиматических станций [7]. Полученная величина пространственной корреляции ($R = 0.36$, $p < 0.02$), во-первых, свидетельствует о том, что увеличение продуктивности растительности, наблюдаемое в последнее двадцатилетие в средних широтах, регистрируется и в данных ежегодных изменений радиального прироста древесных растений, во-вторых, оценка корреляции между картами пространственной неоднородности радиального прироста деревьев и трендов NDVI соответствует вкладу годичной продукции древесины в

общую годовую продукцию наземной фитомассы лесных экосистем [1].

Большинство использованных в анализе древесно-кольцевых хронологий имеют значимую связь с изменениями летней температуры [2]. Поэтому полученные карты трендов прироста можно интерпретировать как региональные тренды температуры, что для условий Сибири не противоречит связи общей продуктивности растительности с изменениями температуры. Однако в таком случае проведенный анализ выявляет важную особенность. Для периода потепления в середине столетия (1925-1945 гг.) увеличение прироста деревьев и, следовательно, увеличение температуры наблюдается в высоких широтах Сибири, что соответствует прогнозам глобальных климатических моделей повышения содержания углекислоты в атмосфере. Более того, прогнозы климатических моделей при удвоении углекислоты в атмосфере предполагают более значительный разогрев субарктических областей [6]. Однако для последних десятилетий, когда согласно ряду теоретических оценок вклад антропогенной составляющей в повышение температу-

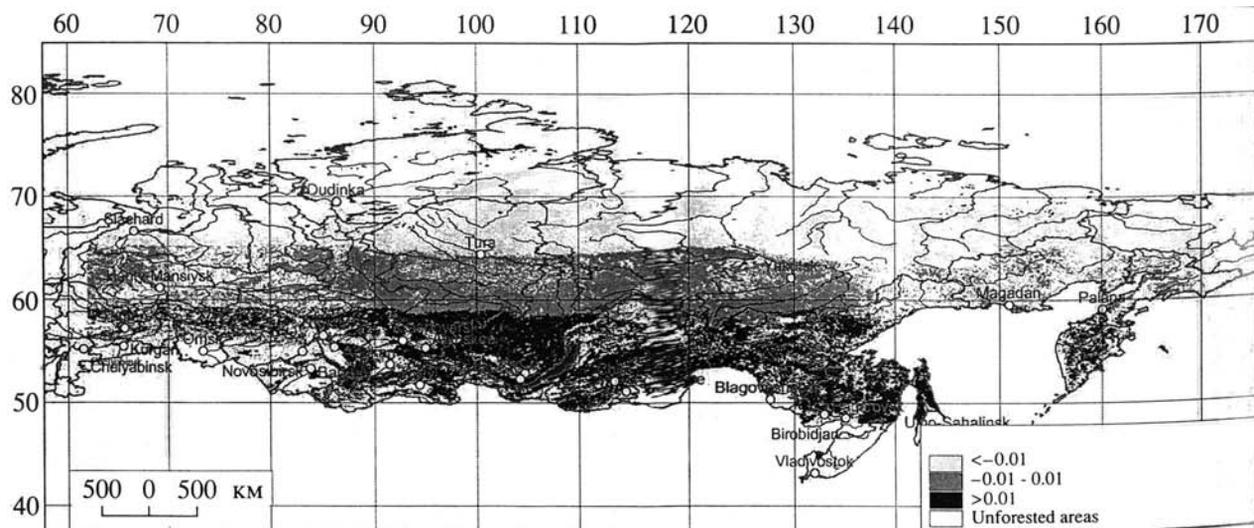


Рис. 4. Пример карты трендов прироста древесных растений для временного интервала 1980-1999 гг.

ры является значимым [4], для территории Сибири наблюдается увеличение радиального прироста деревьев в средних широтах. Это, по нашему мнению, не согласуется с данными прогнозов глобальных климатических моделей. Возможны два объяснения наблюдаемым пространственным неоднородностям трендов радиального прироста деревьев в связи с изменениями температуры. Первое - это то, что теоретические оценки вклада парниковых газов в увеличение глобальной температуры завышены и пока фиксируемые изменения температуры обусловлены природными явлениями [5]. Второе - это то, что глобальные модели недостаточно точно работают на региональном уровне, вплоть до значительных территорий, каковой является Сибирь. И то, и другое объяснение требует более адекватной разработки и более тщательной верификации климатических моделей. Полученные результаты позволяют надеяться, что развиваемая планетарная сеть дендроклиматических станций может оказаться весьма полезным инструментом настройки и верификации климатических моделей как на глобальном, так и региональном уровнях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант 00-01-00267а) и РФФИ (грант 00-15-97980).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
2. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
3. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г.* // Сиб. эколог. журн. 1999. Т. 6. № 2. С. 111-116.
4. *Tett S.F.B., Stott P.S., Allen M.R. et al.* // Nature. 1999. V. 399. P. 569-572.
5. *Corti S., Molteni F., Palmer T.N.* // Nature. 1999. V. 398. P. 799-802.
6. *Wuethrich B.* // Science. 1999. V. 285. № 5435. P. 1827.
7. *Zhou L., Tucker C.J., Kaufmann R.K. et al.* // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. № D17. P. 20069-20083.
8. *Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K.* // Nature. 1998. V. 392. P. 779-787.
9. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* / E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Eds. Dordrecht; Boston; L.: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
10. *Myneni R.B., Keeling C.D., Tucker C.J. et al.* // Nature. 1997. V. 386. P. 698-702.
11. *Forest of the USSR. Scale 1 : 2500000/ M.G. Garsia. Ed. Forest Cartography Department of All-Union State Planning-Research Institute "Sojuzgiprolezhhoz".* М.: GUGK, 1990.