

М.А. Волкова<sup>1</sup>, А.И. Кусков<sup>2</sup>, В.Д. Несветайло<sup>3</sup>

## Влияние климата на прирост кедра сибирского на юге Томской области

<sup>1</sup>Томский государственный университет,

<sup>2</sup>Томский государственный педагогический университет,

<sup>3</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 8.08.2006 г.

На основании данных о ширине годичных колец кедров сибирского припоселковых кедровников юга Томской области и данных о температуре и осадках за теплый период построена трехмерная модель связи прироста с температурой и осадками. Показана лимитирующая роль осадков в формировании годичного кольца. Выявлена сопряженность радиального прироста в различных припоселковых кедровниках.

### Введение

Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о том, что зависимость состояния растений от свойств основных параметров климата, как правило, подчиняется закону Шелфорда: каждое свойство имеет некоторый оптимум, при отклонении от которого в ту или другую сторону состояние живого организма ухудшается. Очень часто мера приспособленности популяции или вида растений (по крайней мере в первом приближении) имеет нормальное распределение относительно точки экологического оптимума по координате градиента каждой характеристики [1].

К факторам внешней среды, влияющим на рост и развитие деревьев, относятся свет, температура, осадки, влажность почвы, органическое вещество, семенные годы, насекомые, животные, лесные пожары и др. Ведущим всегда является лимитирующий фактор, который находится в максимуме или минимуме и поэтому сильнее других влияет на рост и развитие растений. Таким образом реализуется модернизированный принцип Ю. Либиха: качество экологической ниши в наибольшей мере контролируется свойством окружающей среды, максимально отклоняющимся от его экологического оптимума, принятого для данного типа растения за норму. Так, колебания температуры воздуха и почвы влияют на рост деревьев, изменяя интенсивность фотосинтеза, дыхания, деления и роста клеток. Причем обычно рост увеличивается с повышением температуры до критического значения для растения, а затем быстро уменьшается [2].

По мнению большинства исследователей, кедр сибирский обладает широкой амплитудой приспособляемости к условиям среды, т.е. данный вид очень пластичен и может занимать довольно широкую экологическую нишу. Так, по отношению к теплу и продолжительности вегетационного периода кедр сибирский не требователен, считается морозо-

стойкой континентальной древесной породой, произрастает на самых разных почвах, переносит как избыток, так и недостаток влаги в почве, однако предпочитает районы с достаточным увлажнением.

Цель данного исследования заключалась в выявлении зависимости прироста древесины кедров сибирского от места его произрастания, а также характера влияния тепла и влаги на ширину годичного кольца.

### Характеристика исходного материала

Для изучения пространственно-временной структуры годичных колец информационной базой послужили ряды значений ширины годичных колец кедров сибирского по шести пунктам вблизи города Томска. Были отобраны керны 15–20 модельных деревьев в Ипатовском припоселковом кедровнике, дающие информацию о ширине годичных колец за период с 1919 по 1986 г., кедровнике у пос. Ярское за период с 1893 по 1985 г., Конино за период с 1893 по 1983 г., Конево за период с 1893 по 1986 г., Петухово с 1896 по 1986 г. и Плотниково с 1902 по 1986 г. Кроме этого были привлечены ряды среднемесячных значений температуры воздуха и осадков для г. Томска за периоды времени, равные периодам прироста модельных деревьев кедров. Так как припоселковые кедровники находятся не более чем в 40 км от города, то можно считать метеорологическую станцию Томск репрезентативной для проведения данного исследования.

### Пространственно-временная структура годичных колец кедров сибирского

Поскольку в рядах изменчивости абсолютных величин ширины годичных колец деревьев содержатся самые различные сигналы (возрастные изменения, влияние почвенно-грунтовых условий, конкурентные

взаимоотношения, воздействие различных катастрофических факторов и др.), то в дендроклиматологии существуют специальные методы, позволяющие исключить или по крайней мере сильно снизить влияние неклиматических сигналов при помощи индексирования. При этом абсолютные величины прироста переводятся в относительные [3]. В нашем исследовании были использованы ряды ширины годичных колец, отражающие прирост древесины кедра, выровненные при помощи метода Э. Шпалте способом постоянных сумм отрезков выравнивания [4].

Для оценки влияния изменений температуры и осадков на прирост кедра сибирского были взяты суммы осадков и температур для станции Томск за теплый период года (май–сентябрь), который полностью включает вегетационный период. Для каждого пункта нами был рассчитан средний индекс прироста кедра сибирского. Следующим этапом исследования было определение корреляционной зависимости между суммами температур, суммами осадков и индексом прироста древесины по исходным данным, а также по данным, последовательно подвергнутым 3, 5, 7, 9-летнему скользящему сглаживанию. Кроме того, ряды температуры и осадков были приведены к одному диапазону, т.е. стандартизованы:

$$X_{st} = (X_f - \bar{X}_f) / \delta, \quad (1)$$

где  $X_f$  – фактическое значение,  $X_{st}$  – стандартизованное значение;  $\delta$  – среднеквадратическое отклонение;  $\bar{X}_f$  – среднее значение суммы температуры или осадков.

Для перехода от стандартизованных значений сумм температуры и осадков к фактическим следует использовать выражение

$$X_f = X_{st}\delta + \bar{X}_f. \quad (2)$$

Рассчитанные нами средние значения и среднеквадратические отклонения сглаженных девятилетним скользящим осреднением сумм температуры и осадков представлены в табл. 1, из которой следует, что средние значения и среднеквадратические отклонения (СКО) сумм температур и осадков практически не зависят от периода.

Таблица 1  
Средние значения и среднеквадратические отклонения сумм температуры  $T$  (°C) и осадков  $Q$  (мм) за теплый период (май–сентябрь)

Пункт	Сумма	Период, годы	Среднее ( $\bar{X}$ )	СКО
Ипатово	$T$	1919–1986	67,2	4,2
	$Q$		293,7	60,2
Ярское	$T$	1893–1985	67,2	4,2
	$Q$		295,5	63,6
Коннинино	$T$	1893–1983	67,2	4,2
	$Q$		294,9	64,0
Конево	$T$	1893–1986	67,1	4,2
	$Q$		295,3	63,2
Петухово	$T$	1896–1986	67,1	4,3
	$Q$		293,6	63,4
Плотниково	$T$	1902–1986	67,0	4,2
	$Q$		295,7	62,4

Средние значения сумм температуры и осадков за вегетационный период для разных пунктов практически не отличаются и составляют 67–67,2 °C и 293,7–295,7 мм. Среднеквадратические отклонения для температуры и осадков – 4,2–4,30 °C и 60,2–64,0 мм соответственно.

Кроме того, из анализа табл. 2 также следует, что с увеличением периода сглаживания для всех пунктов характерно увеличение коэффициента корреляции между индексами прироста древесины и суммарными осадками в 1,5–2 раза. С суммой температур обнаружены слабая связь или отсутствие таковой. Полученные результаты свидетельствуют о лимитирующей роли осадков в приросте древесины.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между метеорологическими показателями и индексами прироста годичных колец кедра сибирского для исследуемых пунктов в зависимости от периода осреднения

Показатель	Период, лет	Ипатово	Ярское	Коннинино	Конево	Петухово	Плотниково
$Q$ , мм	1	0,46	0,38	0,25	0,36	0,40	0,41
	3	0,62	0,57	0,33	0,48	0,57	0,51
	5	0,68	0,69	0,37	0,55	0,65	0,56
	7	0,73	0,79	0,44	0,65	0,71	0,64
	9	0,75	0,84	0,46	0,74	0,74	0,67
$T$ , °C	1	–0,10	–0,02	0,0	0,08	–0,07	0,05
	3	–0,17	–0,05	–0,06	0,11	–0,02	0,02
	5	–0,24	–0,10	–0,07	0,13	–0,04	0,0
	7	–0,27	–0,16	–0,09	0,14	–0,05	–0,04
	9	–0,28	–0,25	–0,20	0,15	–0,09	–0,07

Для более наглядной интерпретации зависимости индекса прироста от сумм температуры и осадков были построены эмпирические и сглаженные по полиному (2) зависимости прироста древесины от комплекса «температура – осадки»:

$$P = a_0 + a_1t + a_2q + a_3t^2 + a_4q^2 + a_5tq + a_6t^3 + a_7q^3 + a_8t^2q + a_9tq^2,$$

где  $a_0...a_9$  – коэффициенты регрессии;  $t$  – стандартизованные суммы температур;  $q$  – стандартизованные суммы осадков за май–сентябрь.

Характеристики аппроксимации приведены в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что коэффициент корреляции факта и модели высокий и составляет 0,77–0,89 для пяти пунктов, исключением является пос. Коннинино, где коэффициент корреляции между ними составляет 0,49, что объясняется либо неудачным подбором модельных деревьев, либо местными особенностями. Ориентируясь на величину доли объясненной дисперсии, можно утверждать, что прирост древесины кедра сибирского определяется в значительной степени (60–80%) метеорологическими факторами: теплом и влагой, но в основном влагой. Этот вывод представляет интерес особенно в условиях потепления. В этих условиях изменяются не только температура, но и режим осадков.

Таблица 3

Характеристики аппроксимации зависимости индекса прироста кедра сибирского от температуры и количества осадков в припоселковых кедровниках, расположенных в окрестностях г. Томска

Показатель	Пункт					
	Ипатово	Ярское	Коннинино	Конево	Петухово	Плотниково
Число точек	68	93	91	91	91	85
Среднее исходного ряда	97,91	97,68	98,62	101,55	97,93	96,85
Среднее модели	97,91	97,68	98,62	101,55	97,93	96,85
Дисперсия исходного ряда	290,61	136,92	165,24	139,06	227,13	121,43
Дисперсия модели	176,43	108,98	40,06	108,61	178,68	72,77
Дисперсия шума	114,18	27,94	125,17	30,45	48,46	48,66
Коэффициент корреляции факта и модели	0,78	0,89	0,49	0,88	0,89	0,77
Доля объяснимой дисперсии	60,71	79,59	24,24	78,10	78,67	59,93
Критерий Фишера	2,13	4,32	1,16	4,02	4,12	2,17

На рис. 1 и 2 представлена в качестве примера зависимость индекса прироста от изменения сумм температуры и осадков для пос. Ярское. По оси X и Y отложены соответственно стандартизированные суммы температуры  $t$  и суммы осадков, сглаженные девятилетним осреднением.

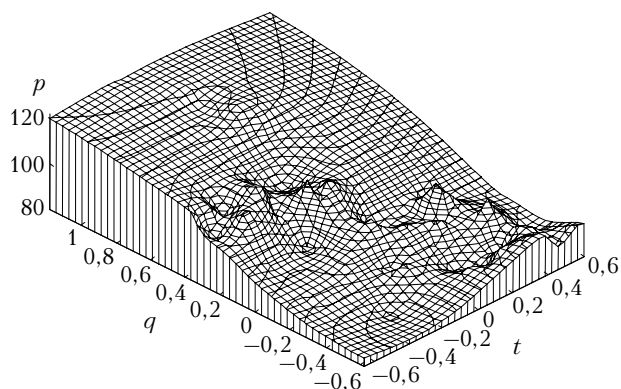
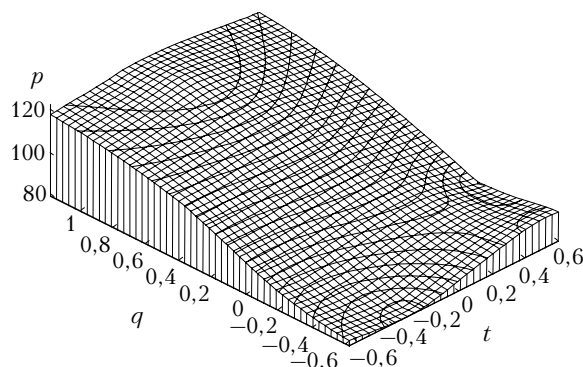
Рис. 1. Зависимость индекса прироста *Pinus sibirica* от сумм температуры и осадков за теплый период года в пос. Ярское

Рис. 1 отражает фактический прирост в зависимости от сумм температуры и осадков. Изолинии индекса прироста проведены через 2 ед. Анализ рис. 1 позволяет нам сделать вывод о наличии влияния температуры на радиальный прирост, что не было установлено первоначально при парной линейной корреляции. На рис. 2 представлена сглаженная полиномом зависимость индекса прироста от комплекса «температура – осадки». Высокие значения индекса прироста наблюдаются при большем количестве осадков (360–370 мм) на всем диапазоне суммы темпера-

туры (65–69,7 °С), максимальный прирост соответствует средним суммам температуры (на рис. 2 – стандартизированному значению 0,0). При малых суммах осадков прирост небольшой, некоторое повышение наблюдается при значениях сумм температуры выше 67 °С. Для остальных пунктов максимальные значения индекса прироста (110–120%) наблюдаются при суммах температуры и осадков в диапазоне 65–70 °С и 350–370 мм соответственно.

Рис. 2. Сглаженная полиномом зависимость индекса прироста *Pinus sibirica* от сумм температуры и осадков за теплый период года в пос. Ярское

Для пос. Ипатово и Коннинино максимальный индекс прироста достигается при средних температурах и максимальных суммах осадков, минимальный – при высоких значениях температуры и низких суммах осадков. Для пос. Конево и Петухово высоким значениям индекса прироста соответствуют максимальные суммы температур, низким значениям – минимальные. В пос. Плотниково при минимальной сумме температуры наблюдаются как высокий, так и пониженный индексы прироста при максимальных и минимальных суммах осадков соответственно.

Для выявления пространственно-временной общности рядов индекса прироста по шести исследуемым пунктам нами был использован метод главных компонент. Исследование показало, что связь между индексами прироста по отдельным пунктам и типовым индексом высокая, коэффициент корреляции  $R$  составляет 0,71–0,88, что свидетельствует о высокой синхронности изменения ширины годичных колец независимо от периода сглаживания. Применение указанного метода позволило получить из 6 рядов индексов прироста один обобщенный (типовой).

Таблица 4

Характеристики типового прироста для исследуемых кедровников

Пункт	Среднее значение прироста, %	Собственный вектор	$R$
Ипатово	98,401	0,470	0,879
Ярское	97,877	0,367	0,879
Конево	98,143	0,331	0,707
Коннинино	100,94	0,407	0,871
Петухово	98,428	0,470	0,884
Плотниково	95,892	0,385	0,866

В табл. 4 и на рис. 3 приведены результаты разложения на ортогональные составляющие временных

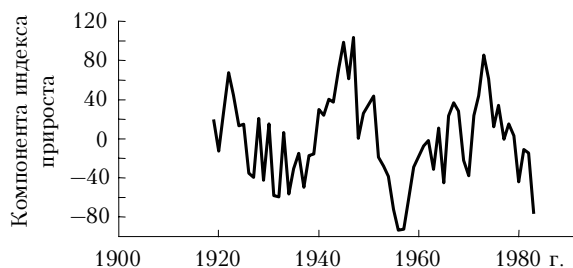


Рис. 3. Временной ход компоненты индекса прироста

рядов индекса прироста, средние значения индекса прироста, собственные векторы и коэффициенты корреляции  $R$  между типовыми индексами прироста и реальными, а также временной ход компоненты индекса, которые позволяют рассчитать фактические значения индексов прироста для каждого пункта.

### Заключение

Проведенное нами исследование связи между приростом кедра сибирского и суммами температуры и осадков за теплый период, а также сопряженность прироста в различных пунктах позволили установить:

– с увеличением периода сглаживания от 3 до 9 лет коэффициент корреляции между индексом прироста и суммарными осадками увеличивается от 0,33–0,62 до 0,46–0,84;

– парная линейная корреляция между индексами прироста и суммами температуры как для исход-

ных, так и для сглаженных рядов практически отсутствует;

– трехмерное графическое представление прироста кедра сибирского в координатах температура – осадки позволило установить, что с ростом температуры индекс прироста при малых значениях осадков увеличивается;

– аппроксимация зависимости прироста от температуры и осадков нелинейным полиномом третьей степени позволила математически описать полученные эмпирические зависимости с коэффициентами корреляции между фактом и моделью 0,77–0,89;

– связь между приростом по всем пунктам высокая, коэффициент корреляции составляет 0,85 для первичного массива; 3–7-летнее сглаживание увеличивает корреляцию всего на 0,04, что свидетельствует о высокой синхронности изменения ширины годичных колец.

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980. 464 с.
2. Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976. 168 с.
3. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
4. Шпалте Э. Выравнивание рядов ширины годичных слоев способом постоянных сумм отрезков выравнивания // Матер. Второго Всесоюз. совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии. Дендроклиматохронология и радиоуглерод Каунас: Изд. Ин-та ботаники АН ЛитССР, 1972. С. 184–188.

#### *M.A. Volkova, A.I. Kuskov, V.D. Nesvetailo. Climate effect on the Pinus sibirica growing rate in the Tomsk region south.*

Based on data of yearly rings of cedars growing in the Tomsk region south, as well as on the temperature, and precipitations for warm period, a 3-D model of interconnection between the growing rate and above parameters is built. A limiting role of precipitations in the year ring formation is shown. A difference in radial increments in different cedar forests is revealed.