

УДК 630*56:582.47:551.583.4(235.222)

Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай)

А.Ю. Бочаров*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055 Россия, Томск, пр. Академический 10/3¹*

Received 3.03.2009, received in revised form 10.03.2009, accepted 17.03.2009

В результате исследований построены хронологии радиального прироста деревьев кедра, лиственницы и ели с верхней границы леса и верхней части лесного пояса южной части Семинского хребта. Проведен сравнительный анализ хронологий, оценена их синхронность, получены статистические характеристики и связи с температурой и осадками исследуемого района. Выявлено, что на границе леса кедр и лиственница имеют однотипные реакции прироста на изменения температуры и влажности. Положительная зависимость прироста наблюдается с температурами мая, июня и июля, отрицательная – с осадками мая. В верхней части лесного пояса реакция лиственницы и темнохвойных пород на климатические изменения различна. Это следствие улучшения лесорастительных условий, увеличение полноты и сомкнутости насаждений при движении от границы леса вниз в горно-лесной пояс. У лиственницы прослеживается здесь положительная зависимость со средней температурой июня. Кедр и ель близки по своей реакции на положительные температуры мая и июля, однотипная отрицательная зависимость наблюдается у них с осадками августа. Полученные результаты свидетельствуют о первостепенном значении температуры и влажности в жизни высокогорных лесных экосистем, в частности древостоев верхней части лесного пояса Семинского хребта.

Ключевые слова: дендрохронология, дендроклиматология, кедр сибирский, лиственница сибирская, ель сибирская, Горный Алтай.

Введение

Влияние климатических факторов на динамику радиального прироста деревьев особенно заметно на границах их распространения, где можно проследить наиболее четкий климатический сигнал в связи с кратковременностью вегетационного периода и сильной изменчивостью климата (Ваганов и др., 1996).

Рост хвойных растений, произрастающих в условиях с холодным и влажным климатом, лимитируется, прежде всего, температурой подстилающей поверхности теплого времени года (Fritts, 1976; Briffa et. al., 1990; Шиятов, 1986; Ваганов, Шашкин, 2000). Широкие возможности оценки влияния внешних факторов на древесные виды обеспечивают горные об-

* Corresponding author E-mail address: bochar74@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ласти, в частности при изучении динамики растительных сообществ, радиального роста деревьев и реконструкции изменений, происходящих в окружающей среде (Luckman, 1990).

На данный момент недостаточно проведена оценка характера климатического сигнала на хвойные виды деревьев при их совместном произрастании в различных экологических условиях, не исследована временная изменчивость их радиального прироста в зависимости от высотной поясности.

Данная работа является частью многолетних исследований структуры и динамики высокогорных древостоев Центрального Алтая для лучшего понимания факторов, влияющих на рост деревьев, которые находятся в пессимальных условиях произрастания, оценки тенденций и региональных особенностей реакции лесных экосистем на глобальные климатические изменения.

Материалы и методы

Изучение радиального роста деревьев кедра, лиственницы и ели проводилось на юго-восточном макросклоне южной части Семиного хребта, в древостоях верхней части лесного пояса и на верхней границе леса.

Для района исследований характерно сочетание хребтов и горных вершин (до 2500 м) с широкими межгорными котловинами, лежащими на абсолютной высоте 800-1000 м (Рудский, 1996). Наивысшая точка района – г. Сарлык (2506 м). Довольно плоские водоразделы хребта не несут следов оледенения, лишь иногда встречаются единичные кары (Богачкин, 1981).

По лесорастительному районированию район относится к Центрально-Алтайской котловинно-горной провинции лиственничных и темнохвойных лесов (Крылов, Речан, 1967). Верхняя граница леса достигает абсолютной высоты 2100-2150 м и представлена

подгольцовыми кедровыми редколесьями. В верхней части лесного пояса распространены разнотравные кедровые и лиственнично-кедровые леса. В нижней части лесного пояса кедрово-лиственничные леса сменяют чистые лиственничники. По переувлажненным долинам рек произрастают еловые и кедрово-еловые леса. С увеличением высоты над уровнем моря средняя производительность лесов падает, класс бонитета уменьшается (Бочаров, 1999; Воробьев и др. 2000; Бочаров и др., 2002).

Для дендрохронологического изучения динамики радиального прироста деревьев на верхнем пределе произрастания использовались модели деревьев кедра, лиственницы и ели с трех пробных площадей, заложенных на абсолютных высотах (2000-2100 м). В верхней части лесного пояса для анализа радиального прироста использовались деревья с пяти пробных площадей, заложенных в интервале абсолютных высот (1550-1850).

Древесные керны и спилы брались у наиболее старых деревьев, в количестве 10-20 моделей каждой породы с каждой пробной площади. Ширина годовичных колец измерялась с помощью измерительного комплекса LINTAB с пакетом программ TSAP. Полученные таким образом индивидуальные древесно-кольцевые серии перекрестно датировались при помощи программы COFESHA (Holmes, 1992a). Индивидуальные индексные серии стандартизировались и усреднялись в хронологии при помощи программы CRONOL (Holmes, 1992b). Ряд статистических расчетов выполнен в пакете «Statistica for Windows». Для дендроклиматического анализа полученных хронологий использовались ряды данных метеостанции Онгудай за 1936-1993 гг.

Результаты и обсуждение

По каждому из трех обследованных участков на верхней границе леса для каждой

из пород были построены индивидуальные ряды радиального прироста деревьев кедр, лиственницы и ели. Полученные ряды показали высокую согласованность по породам как внутри древостоя, так и между обследованными участками границы леса. Коэффициент корреляции индивидуальных серий по кедр, лиственнице и ели с разных местообитаний составил 0,53, 0,62 и 0,46 соответственно. Все это позволило объединить их в обобщенные хронологии для верхней границы леса южной части Семинского хребта. Длительность обобщенных хронологий составила для деревьев кедр 113 лет, ели – 108 лет, лиственницы – 65 лет. Некоторые статистические характеристики полученных временных рядов приведены в табл. 1.

Наибольшие значения чувствительности и стандартного отклонения в индивидуальных и обобщенных сериях наблюдаются у лиственницы. При сравнении рядов обнаружено, что динамика радиального прироста кедр, лиственницы и ели достаточно постоянна (рис. 1). Коэффициент корреляции между хронологиями трех пород – 0,48. Определенная синхронность погодичной изменчивости прироста и сходные периоды его увеличения и снижения свидетельствуют о значительном влиянии какого-то общего фактора на рост деревьев в исследуемых древостоях.

Для выяснения степени влияния климатических параметров на изменчивость радиального прироста кедр, лиственницы и ели на верхнем пределе произрастания полученные хронологии сравнивали с температурой и осадками вегетационного периода (май–сентябрь).

Наибольшая связь радиального прироста и средних температур вегетационного периода обнаружена у лиственницы. Положительная зависимость со средней температурой мая составила 0,42, с температурой июня –

0,48, июля – 0,37. Отрицательная зависимость обнаружена с осадками мая ($r = -0,31$). У рядов кедр также обнаружена положительная зависимость со средней температурой с мая по июль: 0,39, 0,34 и 0,31 соответственно и значительная отрицательная зависимость с осадками мая ($r = -0,45$). У кедр и лиственницы тоже обнаружена положительная связь прироста с температурами сентября 0,3 и 0,27 соответственно. Достоверных связей радиального прироста ели и рассматриваемых климатических параметров не зафиксировано.

Для верхней части лесного пояса также были построены обобщенные древесно-кольцевые хронологии по деревьям кедр, лиственницы и ели с пяти пробных площадей. Некоторые статистические характеристики полученных хронологий приведены в табл. 2.

Корреляционный анализ обобщенных хронологий кедр с разных местообитаний показал согласованность радиального прироста деревьев в древостоях верхней части лесного пояса. Средний межсерийный коэффициент корреляции 0,57. Наибольшая корреляционная связь обнаружена у деревьев кедр произрастающих в чистых кедровых насаждениях верхней части лесного пояса и вблизи высотной границы произрастания. Коэффициент синхронности 0,6; по шкале, используемой С.Г. Шиятовым (1986) для оценки данного показателя на Урале, синхронность рядов средняя. Средний коэффициент корреляции между индивидуальными сериями остаточной версии хронологии по ели сибирской 0,4. Коэффициент чувствительности обобщенных хронологий кедр на верхней границе леса (2000 м) и на границе соприкосновения темнохвойных древостоев с лиственницей (1600–1650 м) превышает таковой у деревьев, произрастающих в чистых кедровых насаждениях верхней части лесного пояса (1650–1850 м). Наибольшее значение

Таблица 1. Статистические характеристики обобщенных хронологий радиального прироста кедра, лиственницы и ели на верхней границе леса

Порода \ Хронологии	Средняя чувствительность		Среднеквадратическое отклонение	
	Индивидуальные	Обобщенные	Индивидуальные	Обобщенные
Кедр	0,25 (0,15-0,35)	0,22	0,44 (0,16-0,82)	0,23
Лиственница	0,28 (0,18-0,38)	0,28	0,49 (0,22-0,55)	0,30
Ель	0,24 (0,19-0,3)	0,24	0,24 (0,16-0,47)	0,22

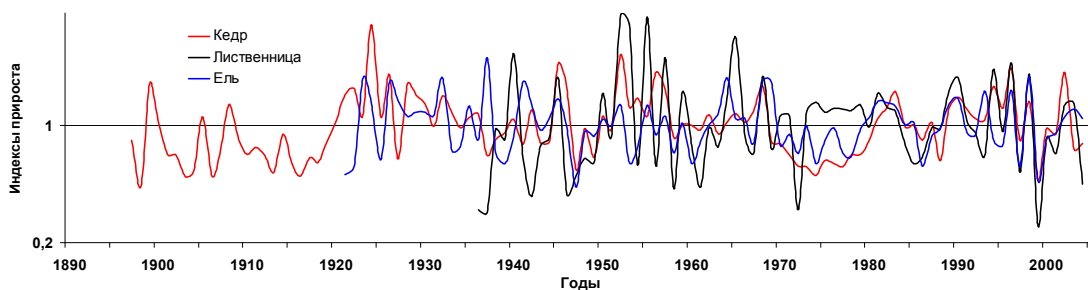


Рис. 1. Обобщенные хронологии радиального прироста кедра, лиственницы и ели с верхней границы леса

Таблица 2. Статистические характеристики обобщенных хронологий радиального прироста кедра, лиственницы и ели верхней части лесного пояса

Высота над ур. моря	Порода	Интервал, лет	Межсерийная корреляция	Средняя чувствительность	Среднеквадратическое отклонение
1850	Кедр	1568-2005 (437)	0,63	0,17	0,15
1700	Кедр	1781-2005 (224)	0,57	0,16	0,14
1650	Лиственница	1614-2005 (391)	0,53	0,21	0,16
1600	Кедр	1818-2005 (187)	0,52	0,20	0,17
1600	Ель	1745-2005 (260)	0,50	0,18	0,16
1550	Ель	1754-2005 (251)	0,42	0,18	0,19

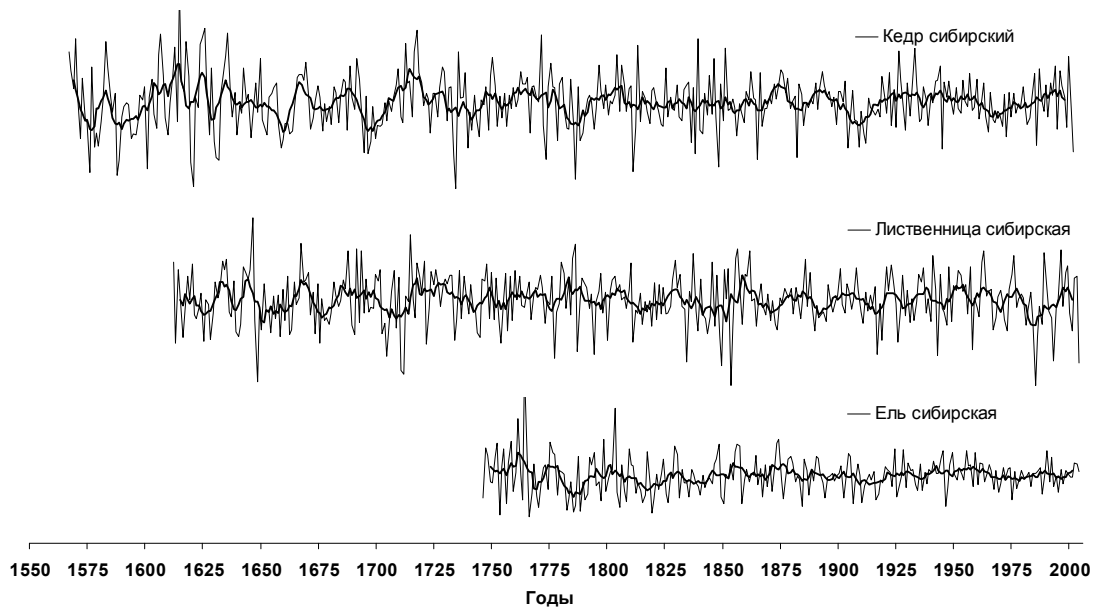


Рис. 2. Обобщенные хронологии радиального прироста кедра, лиственницы и ели верхней части лесного пояса, сглаженные 7-летней скользящей средней

чувствительности имеет обобщенная хронология по лиственнице.

На основании достаточно высокой корреляции обобщенных хронологий между собой они были объединены (рис. 2). Абсолютная продолжительность хронологии по кедру составила 437 лет, по лиственнице – 391 год, по ели – 260 лет. Межсерийный коэффициент корреляции хронологии по кедру – $+0,53$. Стандартное отклонение и коэффициент чувствительности – $0,16$. Межсерийный коэффициент корреляции хронологии по ели – $+0,48$. Стандартное отклонение хронологии – $0,16$, коэффициент чувствительности – $0,17$. У лиственницы – $0,16$ и $0,21$ соответственно.

Построенные обобщенные хронологии имеют достаточно высокую синхронность в изменчивости индексов прироста деревьев с разных местообитаний вдоль исследуемого высотного профиля. Несмотря на невысокую чувствительность остаточной хронологии к воздействию факторов окружающей среды, достаточная синхронность рядов показывает,

что изменчивость погодичного радиального прироста деревьев в сомкнутых древостоях верхней части лесного пояса также зависит от каких-то общих факторов. В хронологиях радиального прироста кедра, лиственницы и ели видны общие периоды увеличения и снижения роста. Но обнаруживаются и различная, а часто и противоположная реакция изучаемых пород, что, видимо, вызвано разными экологической и физиологической реакциями кедра, лиственницы и ели на одни и те же воздействия внешних факторов в условиях сомкнутых насаждений (Бочаров и др., 1998; Vorobjev et al., 1998).

При сравнении полученных хронологий с температурой и осадками с мая по сентябрь наибольшая связь радиального прироста и средних температур вегетационного периода обнаружена у лиственницы. Положительная зависимость со средней температурой июня $0,45$. У рядов кедра положительная зависимость прослеживается со средней температурой мая и июля – $0,26$ и $0,32$ соответственно,

у ели только с температурой мая – 0,44. Имеется отрицательная зависимость прироста кедра и ели с осадками августа ($r = -0,28$) и ($r = -0,33$) соответственно. Достоверных связей радиального прироста деревьев лиственницы в сомкнутых древостоях верхней части лесного пояса с осадками вегетационного периода не установлено.

На основании вышесказанного можно заключить, что динамика радиального прироста деревьев кедра, лиственницы и ели на верхнем пределе произрастания в подгольцовых редколесьях сходна. У кедра и лиственницы наблюдаются общие положительные связи со средними температурами с мая по июль и температурой сентября, отрицательные – с осадками мая. В сомкнутых же древостоях верхней части лесного пояса наблюдаются несколько различные реакции рассматриваемых пород на изменения температуры и осадков. Корреляция лиственницы наблюдается здесь не со средней температурой весенне-летних месяцев, а только с температурой июня. Прслеживаются общие зависимости реакции прироста на климат у кедра и ели.

Сходные реакции рассматриваемых пород в подгольцовых редколесьях, по нашему мнению, обусловлены жестким температурным режимом верхнего предела произрастания. Быстрое таяние снега и прогрев почв объясняет положительную связь кедра и лиственницы с температурой мая. От температурного режима первых месяцев теплого времени года, безотносительно породы, зависит то, насколько бурно начнут протекать процессы роста в июне и как активно они будут продолжены в основном месяце лета – июле. Положительную связь прироста кедра и лиственницы с температурой сентября, видимо, можно объяснить «подготовкой деревьев к зимнему периоду», т. е. основные процессы роста к этому времени года на границе леса уже завершены.

Различные реакции рассматриваемых пород в горно-лесном поясе объясняются более благоприятными условиями произрастания, чем в подгольцовых редколесьях. Как следствие – увеличение сомкнутости древостоев по мере продвижения вниз от границы леса, улучшение почвенных условий, повышение средних температур летних месяцев, увеличение продолжительности вегетационного периода. Все это делает менее значительным влияние температуры летних месяцев на радиальный прирост деревьев. Однако очень важным, в частности для кедра и ели, остается температурный режим мая. Это связано с тем, что в сомкнутых темнохвойных древостоях под пологом леса таяние снега и прогрев почв идет гораздо медленнее, чем в светлохвойных лиственничных. Возможно, вследствие этого положительная связь прироста лиственницы в сомкнутых древостоях наблюдается только с температурой июня, а с маем отсутствует. Кедр в этих условиях положительно реагирует увеличением радиального прироста только на температуру самого жаркого месяца – июля, корреляции с термическим режимом июня нет. Наблюдаемая отрицательная зависимость кедра и ели с осадками августа, на наш взгляд, достаточно очевидна. Дождливый конец лета, постоянная облачность и возможное выпадение осадков в виде мокрого снега в условиях гор уже к концу лета резко снижают рост деревьев, сокращают продолжительность вегетационного периода.

Выводы

При сравнении хронологий по кедру, лиственнице и ели, произрастающих на верхней границе леса в южной части Семинского хребта, обнаружено, что динамика радиальных приростов каждой из пород схожа, реакция радиального прироста кедра и листвен-

ницы на изменения температуры и осадков однотипна.

В древостоях верхней части лесного пояса прирост деревьев кедра с разных участков местопроизрастания имеет достаточно высокую синхронность. Синхронны ряды изменчивости прироста ели. Однако коэффициенты чувствительности хронологий кедра на верхней границе леса превышают таковые у деревьев, произрастающих в кедровых древостоях верхней части лесного пояса.

Высокая корреляция и синхронность радиального роста рассматриваемых пород на

границе леса свидетельствует о первостепенном значении климатических факторов, прежде всего температуры и осадков, в развитии данных древостоев.

В верхней части лесного пояса связи радиального прироста лиственницы и темнохвойных пород с изменением температурного режима и влажности различны и менее выражены, что вызвано улучшением лесорастительных условий, увеличением полноты и густоты, усилением конкурентных взаимоотношений среди основных лесообразующих пород Семинского хребта.

Список литературы

Богачкин Б.М. (1981) История тектонического развития Горного Алтая в кайнозое. М.: Наука, 132 с.

Бочаров А.Ю., Дутова Н.А, Воробьев В.Н. (1998) Дендрохронологическая реконструкция динамики роста кедра сибирского и лиственницы сибирской на Семинском перевале (Алтай) // Экология таежных лесов, Сыктывкар, с. 11-12.

Бочаров А.Ю. (1999) Возрастная структура кедрово-лиственничных древостоев на Семинском перевале (Центральный Алтай) // Исследование компонентов лесных экосистем Сибири, Красноярск, с.18-19.

Бочаров А.Ю., Воробьев В.Н., Зиганшин Р.А. (2002) Особенности таксационного строения кедровых древостоев по высотному профилю южной экспозиции на Семинском перевале Центрального Алтая // Исследование природы Таймыра, вып. 2 / Восточно-Сибирский филиал Международного института леса, Красноярск, с. 177-181.

Ваганов Е.А., Шашкин А.В. (2000) Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 232 с.

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. (1996) Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 246 с.

Воробьев В.Н., Хуторной О.В., Амяго Е.М., Бочаров А.Ю., Кособуцкая Е.Н., Пац Е.Н., Петрова Е.А., Савчук Д.А, Соболевская Ю.С. (2000) Комплексные экспедиционные исследования субальпик Алтая // Проблемы региональной экологии, вып. 6. Новосибирск: Изд-во СО РАН, с. 21-22.

Крылов А.Г., Речан С.П. (1967) Типы кедровых и лиственничных лесов Горного Алтая. М.: Наука, 224 с.

Рудский В.В. Алтай. (1996) Эколого-географические основы природопользования. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 240 с.

Шиятов С.Г. (1986) Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 136 с.

Luckman В. Н. (1990) Mountain areas and global change: a view from the Canadian Rockies. Mountain research and development, Vol. 10, No. 2. University of Western Press, Ontario, p. 183-195.

Briffa K., Cook E. (1990) Method of response function analysis. *Methods of dendrochronology*. Dordrecht-Boston-London, p. 240-247.

Fritts H.S. (1976) *Tree rings and climate*. London: Acad. Press, 245 p.

Holmes R.L. (1992a) Program COFECHA: Version 3. Tuscon: Laboratory of tree-ring research, University of Arizona.

Holmes R.L. (1992b) Program CRONOL. – Tuscon: Laboratory of tree-ring research, University of Arizona.

Vorobjev V., Savchuk D., Dutova N., Bocharov A. (1998) Dendrochronological study of interrelationships between Siberian stone pine and Siberian larch in subalpine forests of Altai mountains. *Forest ecosystems and land use in the mountain areas*. Seoul, p. 556-561.

Climatogenetic Radial Growth of Conifers in the Upper Forest Belt of the Seminsky Range (the Central Altai Mountains)

Anatoly Yu. Bocharov

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS
10/3 Academicheskyy, Tomsk, 634055 Russia*

Tree-ring width chronologies were built for Siberian stone pine, Siberian larch and Siberian spruce in the forest limit and the upper forest belt of the Seminsky Range. The chronologies were compared, their synchrony and statistics were estimated, and correlation with temperatures and precipitations were received. In the forest limit the growth responses to temperature and precipitations are similar in pine and larch. Tree ring width correlates positively with May, June and July temperatures and negatively with May precipitations. In the upper forest belt the responses of the trees are different because of degree of density, crown closure, and phytocoenological conditions are increased from the forest limit to the upper forest belt. The ring width and June temperatures are positively correlated in larch. In pine and spruce the correlation is positive with May and July temperatures and negative with August precipitation. The results are evidence of paramount importance of temperature and precipitation in forest trees of Seminsky Range.

Key words: dendrochronology, dendroclimatology, Siberian stone pine, Siberian larch, Siberian spruce, Altai Mountains.
