

УДК 630*56:582.47:551.583.4(235.222)

Климатически обусловленная динамика радиального прироста кедра и пихты в горно-таежном поясе природного парка «Ергаки»

**О.В. Герасимова^а, З.Ю. Жарников^а,
А.А. Кнорре^{а,б*}, В.С. Мыглан^{а*}**

^а *Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

^б *Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок ¹*

Received 4.03.2010, received in revised form 11.03.2010, accepted 18.03.2010

В работе приводятся результаты дендроклиматических исследований, проведенных на верхней границе горно-таежного растительного пояса (1500-1600 м над уровнем моря) природного парка «Ергаки». Построено шесть древесно-кольцевых хронологий по кедру и пихте, перекрывающих временной интервал от 100 до 400 лет. Сравнительный анализ радиального прироста деревьев и основных климатических параметров среды (среднемесячной температуры воздуха и количества осадков) показал разный климатический отклик деревьев в зависимости от положения в рельефе. Для хронологий по кедру с участков I и II (Каменный город и Радужное) наиболее значимым фактором, определяющим прирост, являются температуры начала вегетационного периода ($R=0,27$, при $p<0,05$). Для кедра и пихты, произрастающих на склонах хребтов (Пик спасателей), наиболее значимо влияние температур июля ($R=0,22-0,25$, при $p<0,05$, соответственно). Использование хронологии по кедру для проведения адекватной реконструкции климата прошлого для исследуемого региона невозможно из-за низких значений регрессионного коэффициента ($r^2 = 0,07$, при $p<0,005$).

Ключевые слова: древесные кольца, хвойные виды, верхняя граница леса, регион, климат.

Введение

На сегодняшний день экологические последствия происходящих климатических изменений все еще далеки от понимания, а неопределенности, связанные с их прогнозом, в последние годы скорее возросли, чем уменьшились. Наиболее острые дискуссии вызывает вопрос о соотношении глобальных и региональных изменений, их одно- и разнонаправленности в крупных регионах

по данным климатических моделей, вкладе естественной и антропогенной составляющей в происходящие климатические изменения (Giorgi et al., 2001; Briffa, Osborn, 2002; Hughes, Ammann, 2009 и др.). Следует учесть, что прогнозирование и учет их последствий основывается на изучении климата прошлого и, в первую очередь, опирается на данные инструментальных наблюдений. Однако для территории Сибири ряды прямых метеороло-

* Corresponding author E-mail address: aknorre@ksc.krasn.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

гических наблюдений коротки и не выходят за пределы последнего столетия. Поэтому для анализа климатических изменений за длительные промежутки времени привлекаются косвенные показатели, такие как скорость седиментации озерных отложений, ширина колец деревьев, спорово-пыльцевой анализ и т.п. Особый интерес вызывает привлечение такого индикатора изменений условий природной среды, как древесно-кольцевые хронологии, которые позволяют получать надежную информацию (с разрешением – год, вегетационный сезон) об изменении основных климатических параметров в прошлом (Fritts, 1976; Methods ..., 1990; Ваганов и др., 1996). В то же время возможность применения метода к конкретной территории требует практического обоснования.

Наиболее чувствительными к изменениям климата являются высокоширотные и горные экосистемы. Изотермы в высокогорных районах находятся на очень близкой высотной дистанции друг от друга, измеряемой сотнями метров. Так, например, высотный градиент среднеиюльской температуры в Алтае-Саянском регионе составляет 0,5-0,7 градусов на 100 м (Поликарпов и др., 1986; Севастьянов, 1998). По расчетам, повышение температуры на 3 градуса вызывает смещение высотных границ климатических поясов, снеговой линии и верхней границы леса приблизительно на 500-600 м (The Science of Climate Change, 1995), что превышает среднюю ширину отдельного пояса растительности (Stone, 1996).

В ходе экспедиционных исследований по изучению природного парка «Ергаки», проводимых в 2008 г. Сибирским федеральным университетом, выполнены дендрохронологические исследования для верхней границы горно-таежного растительного пояса. Цель исследования была связана с оценкой влияния основных климатических факторов на

рост древостоев и динамику, выяснением перспектив использования полученных данных для реконструкции климата изучаемой территории.

Материалы и методы

Климат исследуемого региона резко континентальный, с продолжительной и холодной зимой, коротким и прохладным (в горах) летом. Интенсивное таяние снега начинается в мае, когда среднесуточная температура поднимается выше нуля. Лето в горах, особенно в высокогорье, отличается неустойчивой погодой и низкими температурами (средняя температура июля 10-12 °С); в межгорных котловинах средняя температура июля поднимается до 20 °С. Осадки выпадают главным образом летом. Их количество сильно варьирует в зависимости от высоты местности и ориентации склонов. Так, в северных предгорьях выпадает от 400 до 500 мм в год; на северных склонах, открытых в сторону влажных воздушных потоков, до 1000–1500 мм; на южных склонах, находящихся в «дождевой тени» и в межгорных котловинах, количество осадков составляет 400–500 мм и 300–350 мм соответственно (по данным метеостанции Оленья Речка, 52°80' с.ш., 93°23' в.д., высота над уровнем моря – 1407 м).

В растительности характерно преобладание темнохвойных пихтовых, пихтово-кедровых и кедровых лесов, причем с нарастанием континентальности и сухости климата происходит замещение пихты кедром (Типы лесов..., 1980; Поликарпов и др., 1986). Основными типами ландшафтов являются: горно-таежный, на высотах от 800–900 м до 1500–1800 м над уровнем моря, занимающий почти все северные склоны и верхнюю часть южных склонов (имеющий, как правило, типичный среднегорный облик, господствует темнохвойная тайга из ке-

дра, пихты и ели); высокогорный, на высотах 2000-2400 м, приуроченный к вершинным частям хребтов и представленный высокогорными подгольцово-субальпийскими редколесьями из кедра и пихты, а выше – горными тундрами. Выше границы сомкнутых лесов распространены подгольцово-субальпийские редколесья из кедра и лиственницы на горных дерновых и торфянисто-перегнойных мерзлотных глееватых почвах. Наряду с различными вариантами горной тундры, господствующей на выровненных участках, развиты заросли кустарников, альпийские и субальпийские луга на горно-луговых почвах, чередующиеся с каменными россыпями, нередко почти полностью лишёнными растительности.

Основными объектами исследования стали наиболее представленные в данном районе виды деревьев – кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), произрастающие на участках горно-таежного пояса и формирующие здесь верхнюю границу леса. В ходе экспедиционных работ были заложены четыре пробных участка.

I участок – Каменный город (Kg) – 52° 52' с.ш. 93° 00' в.д. Облесенная вершина горы, высота 1600 м над уровнем моря. На участке древостой здоровый, не угнетенный, присутствует пихта и кедр.

II участок – озеро Радужное (Rad) – 52° 50' с.ш. 93° 20' в.д. Высота над уровнем моря 1500 м. Склон каменистый, с небольшим количеством почвы, южной экспозиции. На участке доминирует кедр.

III участок – пик Спасателей, северный склон. (Tbs1) – 52° 47' с.ш. 93° 16' в.д. Высота над уровнем моря 1574 м. Верхняя граница леса явно не выражена. Лес переходит в редколесье, доминирует кедр. На верхней границе леса с кедром произрастает только моло-

дой подрост пихты, основной массив пихты находится ниже по высоте на 30-40 м.

IV участок – пик Спасателей, склон юго-восточной экспозиции. (Tbs2) – 52° 47' с.ш. 93° 16' в.д. Высота 1592 м над уровнем моря. На верхней границе леса древесная растительность представлена исключительно кедром. Ввиду сильной увлажненности почв валежник сохраняется плохо.

Отбор образцов проводился с использованием стандартных методик (Methods ..., 1990). С каждого одиночно стоящего дерева на уровне груди (1,3 м) возрастным буром отобрано по два керна. Предпочтение отдавалось наиболее старым прямостоящим деревьям без видимых признаков повреждений от пожаров, насекомых, человека. Для того чтобы исключить возможность пропуска годичных колец, что особенно характерно для старых деревьев в периферической части ствола, отбор образцов проводили для разных возрастных классов. Керна упаковывали в специальные бумажные контейнеры для предотвращения возможных механических повреждений при транспортировке. С отмерших деревьев, сохранившихся на поверхности, поперечные спилов (диски) отбирали профессиональной бензопилой «Stihl». Всего в ходе экспедиционных работ на четырех пробных участках собрано более 100 кернов с живых деревьев и 60 спилов древесных остатков.

Обработку собранного материала проводили с использованием стандартной методики, включающей: измерение радиального прироста на установках LINTAB, датировку материала на основе проведения стандартной процедуры кросскорреляционного анализа в специализированном программном пакете для дендрохронологических исследований «DPL» (Holmes, 1992), графическую перекрестную датировку в программном пакете

«TSAP system V3.5» (Rinn, 1996) с визуальным сопоставлением кривых изменчивости абсолютных и индексированных значений радиального прироста. Дендроклиматический анализ был выполнен с использованием общепризнанных и хорошо зарекомендовавших себя методов общей статистики: корреляционный и регрессионный анализ, метод «климатических функций отклика» (позволяющий оценить относительный вклад каждой климатической переменной в изменчивость анализируемых рядов данных), факторный анализ (Fritts, 1976; Шиятов, 1986; Methods..., 1990; Ваганов и др., 1996; Schweingruber, 1996). Сила сигнала и качество хронологий оценивались путем расчетов показателей RBAR (среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями) и EPS (зависит от количества анализируемых образцов и показывает, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности) для окна в 50 и с шагом в 25 лет (Wigley et al., 1984).

Для выявления реакции прироста деревьев на климат использовали данные по среднемесячной температуре воздуха и осадкам метеостанции Оленья речка (рис. 1). К сожалению, ряд инструментальных наблюдений за данными погоды короток и прерывист, в этой связи для данной географической точки были использованы метеоданные, рассчитанные по гридам (<http://climexp.knmi.nl/start.cgi>). Расчетные метеоданные имеют более длительный ряд по температуре (1902-2005) и значительно короче по осадкам (1967-1993). Имеющиеся натурные данные наблюдений за температурным режимом на м/с Оленья речка за 1951-1965 гг. показали высокую согласованность в ходе температур с расчетными значениями ($R=0,84-0,98$, $p<0,05$), с более высокими связями для периода весна-лето-осень.

Анализ климатических данных м/с Оленья речка за весь период наблюдений показал явно выраженные (значимые при $p<0,05$) тренды увеличения среднемесячных температур зимнего и весеннего времени, а также снижение количества осадков летом (значимое только для мая). Летние температуры воздуха и осадки зимнего и весеннего периодов относительно стабильны за все время наблюдений и не показывают четкой направленности трендов.

Так как прирост деревьев зависит не только от условий текущего сезона вегетации, но и от условий предыдущего года (Fritts, 1976), то функции отклика рассчитывали за период с сентября предыдущего года по сентябрь текущего включительно.

Результаты

Для четырех обозначенных участков – Kg, Rad, Tbs1 и Tbs2 – были получены 6 древесно-кольцевых хронологий по ширине годичного кольца (ШГК) для двух видов хвойных – кедра *Pinus sibirica* и пихты *Abies sibirica*. Наиболее длительные хронологии построены по живым и мертвым деревьям кедра сибирского, произрастающего на верхней границе леса на участке Rad (Радужное) и Kg (Каменный город), хронологии по кедру и пихте для остальных участков не превысили возраст 115 лет (табл. 1). Средняя ширина кольца показала достаточно высокую вариабельность у всех деревьев в интервале от $(0,59\pm 0,25)$ до $(0,95\pm 0,37)$ мм. Стандартное отклонение и средняя чувствительность (не ниже 0,2), отражающая погодичную изменчивость ширины годичных колец, свидетельствуют о влиянии внешних факторов на рост деревьев в исследуемом районе.

Анализ закономерности изменения ширины годичного кольца от возраста деревьев показал, что динамика ШГК живых дере-

Таблица 1. Статистические характеристики обобщенных древесно-кольцевых хронологий

Участок	Вид	Период	Кол-во лет	Ширина кольца, мм		Станд. отклон.	Чувств.	Авто-корр.
				Сред.	Макс.			
I (Kg)	<i>Pinus sibirica</i>	1761-2008	248	0.85	3.51	0.46	0.23	0.84
	<i>Abies sibirica</i>	1898-2008	111	0.75	2.92	0.33	0.21	0.79
II (Rad)	<i>Pinus sibirica</i>	1544-2008	464	0.53	3.00	0.26	0.20	0.85
III (Tbs1)	<i>Pinus sibirica</i>	1894-2008	115	0.95	3.90	0.37	0.22	0.75
	<i>Abies sibirica</i>	1900-2008	109	0.59	2.32	0.25	0.21	0.80
IV (Tbs2)	<i>Pinus sibirica</i>	1928-2008	81	0.89	3.39	0.42	0.27	0.77

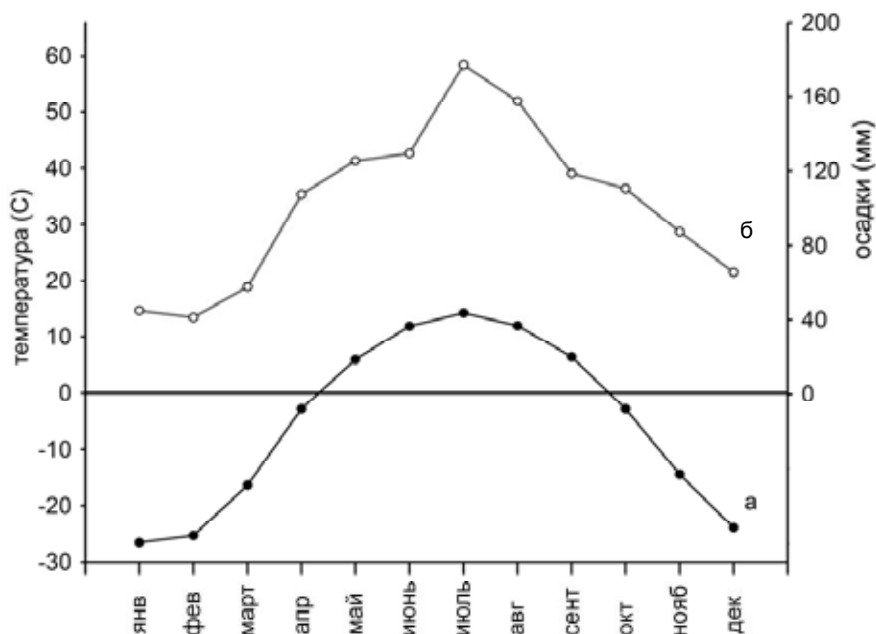


Рис. 1. Средние значения температуры воздуха (а) и количества осадков (б) по данным метеостанции Оленья речка

вьев для разных участков и видов хвойных несколько отличается. Так, для участка Kg возрастные кривые имеют классический вид (рис. 2) как для кедра, так и для пихты, когда максимальная ширина кольца характерна для начального периода роста. У кедра такой период составляет 80-100 лет, у пихты он несколько короче – около 50 лет. Наиболее длительная обобщенная хронология по кедру с участка Rad (рис. 2) не показала выраженного возрастного тренда, радиальный прирост деревьев с этого участка имеет относительно

ровный ход, с увеличением значений прироста в последние 100 лет. Постоянное увеличение ШГК у деревьев кедра на участках Tbs1 и Tbs2 (рис. 2) свидетельствует о незавершенности периода так называемого «большого роста». Динамика радиального прироста пихты на участке Tbs1 (рис. 2) показала, что снижение ШГК происходит, как и для участка Kg, примерно через 50 лет после начала роста.

Для анализа пространственной изменчивости статистик индивидуальных хронологий с использованием методов стандарти-

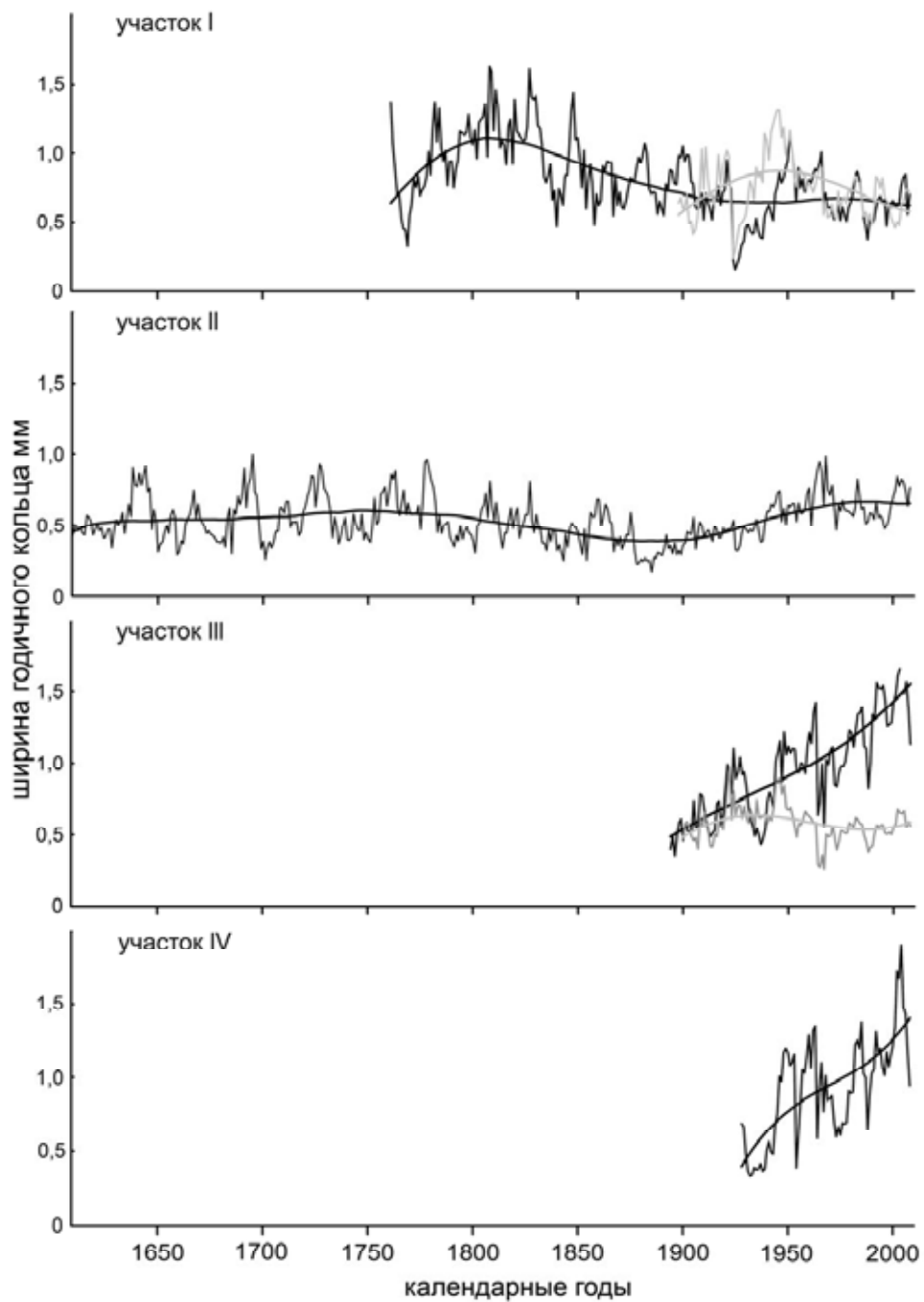


Рис. 2. Динамика ширины годичных колец древесно-кольцевых хронологий для четырех участков: I (Kg), II (Rad), III (Tbs1) и IV (Tbs2). Древесно-кольцевые хронологии по кедру – черные линии, по пихте – серые линии, сглаженные линии – возрастной тренд

Таблица 2. Значимые корреляционные связи между построенными древесно-кольцевыми хронологиями, при $p < 0,05$; кедр *Pinus sibirica* указан как PISI, пихта *Abies sibirica* – ABSI, четыре участка I (Kg), II (Rad), III (Tbs1) и IV (Tbs2)

	Rad-PISI	Tbs2-PISI	Tbs1-PISI	Tbs1-ABSI	Kg-PISI	Kg-ABSI
Rad-PISI	1,00					
Tbs2-PISI	0,27	1,00				
Tbs1-PISI	0,26	0,75	1,00			
Tbs1-ABSI	-	0,38	0,56	1,00		
Kg-PISI	0,60	0,44	0,55	0,22	1,00	
Kg-ABSI	0,29	-	0,25	0,37	0,55	1,00

зации и авторегрессионного моделирования индивидуальных древесно-кольцевых серий были получены обобщенные стандартные хронологии. Связи между полученными стандартизированными хронологиями показаны в табл. 2. Из таблицы видно, что коэффициенты корреляции для разных участков по кедру сибирскому значимы. Наиболее высокие коэффициенты характерны для хронологий кедр с участков Kg и Rad ($R=0,60$, $p < 0,05$) и с участков Tbs1 и Tbs2 ($R=0,75$, $p < 0,05$). Хронологии по пихте с участков Tbs1 и Kg имеют более низкую корреляционную связь ($R=0,37$, $p < 0,05$), чем хронологии по кедру.

Объединение хронологий в пределах выделенных групп позволило увеличить их качество за счет вовлечения большего числа деревьев, что одновременно повысило чувствительность к внешним факторам среды (климату). Стандартизированные значения индексов ширины годичного кольца не показывают значимых изменений в динамике прироста кедр за весь период жизни деревьев старой генерации. Таким образом, при исключении возрастного тренда и факторов неклиматической природы, определяющих основные периоды увеличения (снижения) ширины кольца, деревья показали стабильную динамику прироста за весь период роста.

Для выявления основных климатических факторов, определяющих прирост хвойных

исследуемого района, анализировали коэффициенты корреляции между метеорологическими данными и стандартизированными древесно-кольцевыми хронологиями. Анализ функции отклика для обобщенных древесно-кольцевых хронологий по кедру и пихте выявил, что значимыми для роста деревьев кедр на участках Rad и Kg являются температуры начального периода вегетации. Коэффициенты корреляции составляют 0,20 и 0,22 для мая и июня соответственно (при $p < 0,05$) (рис. 3), сумма температур мая и июня дает более высокую корреляционную связь с приростом кедр ($R=0,27$, при $p > 0,05$). Для кедр, произрастающего на склоновых поверхностях, и пихты наиболее значимо влияние температур июля ($R=0,22-0,25$, при $p < 0,05$ для участка Tbs1).

Значимое влияние осадков конца сезона роста на прирост кедр, по всей видимости, относится к случайным связям, так как к этому периоду (август-сентябрь) структура кольца полностью сформирована, включая клетки поздней древесины, поэтому зафиксированный метеонаблюдениями недостаток влаги в конце сезона роста не может значимо сказываться на значениях ШГК.

Результаты работы показали, что климатическая функция отклика для обобщенных хронологий несколько отличается от отклика хронологий, построенных для отдельных

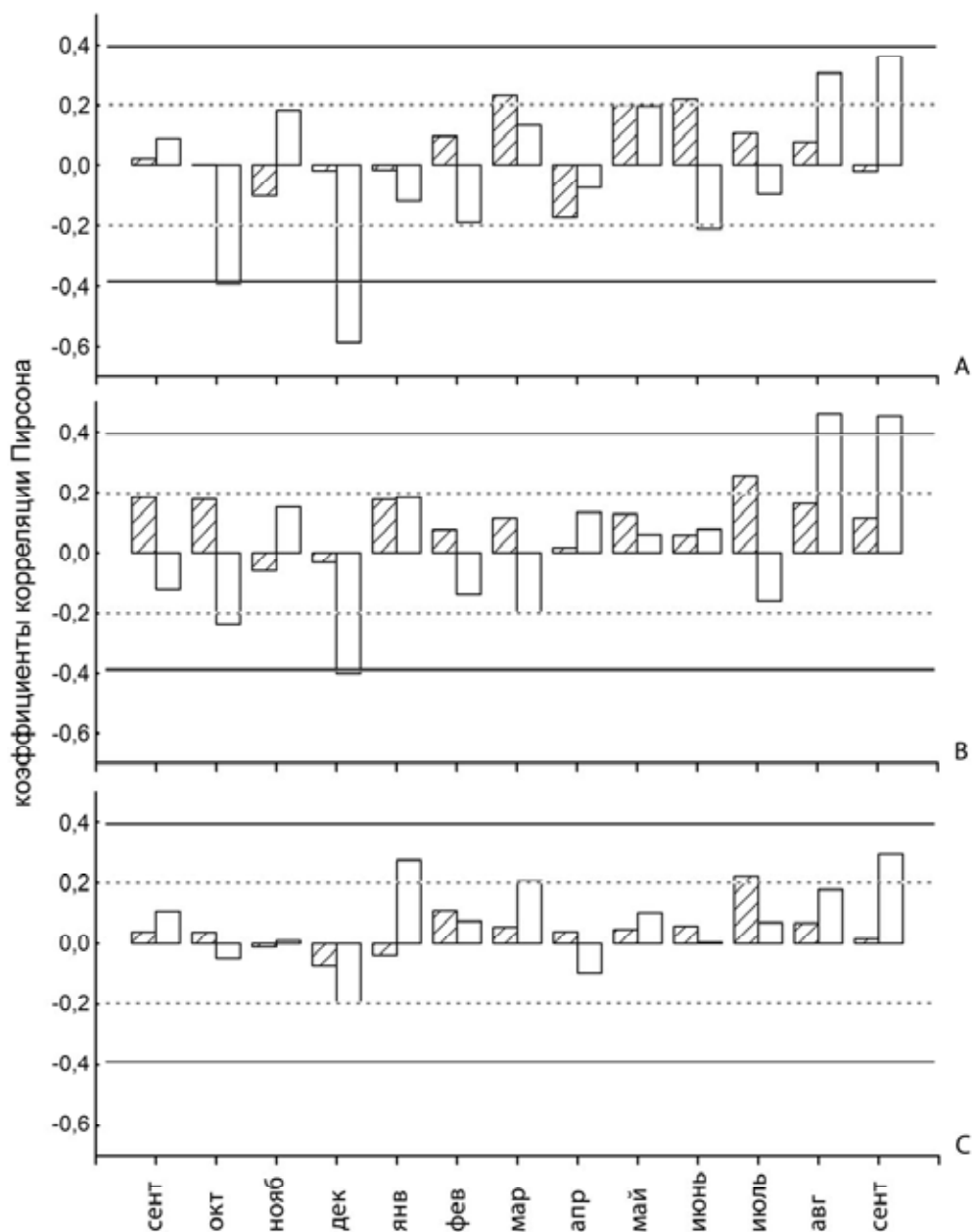


Рис. 3. Коэффициенты корреляции обобщенных древесно-кольцевых хронологий (под А – кедр, участки I (Kg) и II (Rad); В – кедр, участки III (Tbs1) и IV (Tbs2); С – пихта, участки I (Kg) и IV (Tbs2) с расчетными методанными. Температура воздуха – заштрихованные колонки (уровень значимости – сплошная линия), осадки – пустые колонки (уровень значимости – пунктирная линия)

участков, и более полно отражает общую реакцию прироста разных видов на изменения погодных условий района исследований.

Говоря о возможности выполнения климатической реконструкции, необходимо отметить, что ее суть состоит в том, чтобы, используя индексы радиального прироста деревьев как независимую переменную, попытаться восстановить климатический параметр как зависимую переменную через адекватную статистическую модель. В нашем случае наиболее значимые коэффициенты корреляции прироста деревьев с климатом были выявлены между хронологией по кедру и температурами воздуха. Проведенный регрессионный анализ связи между полученной хронологией и суммой весенне-летних температур установил низкое значение r^2 (0,07, при $p < 0,005$), что соответствует менее 10 % объясненной дисперсии. Такой показатель не позволяет корректно использовать полученную хронологию для реконструкции климата исследуемого региона.

Обсуждение результатов

Цель исследования была связана с выявлением основных климатических факторов, влияющих на рост древостоев и динамику их развития в горно-таежном поясе Западного Саяна, по данным дендроклиматического анализа и определением перспективы использования полученных данных для проведения реконструкции климата региона. Растительность, произрастающая на пределах своего распространения, наиболее чувствительна к изменениям условий климатической и антропогенной составляющих (Горчаковский, Шиятов, 1985), а изучение растительных сообществ горно-таежных и высокогорных районов, слабо или совсем не подвергнутых антропогенному влиянию, вызывает особый интерес. Согласно данным Buentgen et al.

(2008), в Альпах для реконструкции летних температур успешно используются древесно-кольцевые хронологии, построенные по годичным кольцам деревьев лиственницы (собранных на высотах от 1400 м над уровнем моря и выше) и ели (собранных на высотах от <1400 до >1900 м над уровнем моря). Средний максимум отклика (коэффициент корреляции между климатическими параметрами и ШГК) этих хронологий составляет 0,44 для лиственницы и 0,33 для ели. Однако в нашем случае на абсолютных отметках высот > 1500 м, т.е. на границе высотного пояса, отклик радиального прироста кедр на температуру не превышает 0,25, а деревья кедр и пихты, произрастающие на склонах, показывают еще более низкие значения корреляции.

Для Центрального Алтая наблюдается схожая с нашими исследованиями картина (Воробьев и др., 1998). Анализ древесно-кольцевых хронологий по кедр с Семинского перевала в пределах горно-таежного и субальпийского поясов на абсолютных высотах 1500 – 1700 м показал невысокую отрицательную связь прироста с температурой июня (максимальное значение 0,31) и отсутствие связи с суммой осадков за вегетационный период. Кроме того, отмечается слабая взаимосвязь между генерализованными хронологиями (максимальное значение 0,29). Вероятно, это объясняется тем, что на прирост кедр помимо орографических условий территории существенное влияние оказывают репродуктивные процессы. Так, например, ширина годичного кольца ели в европейской части России снижается в неурожайный год на 40 %, а в последующий – на 25 % (Данилов, 1953).

Причиной таких низких значений корреляций между хронологиями и их чувствительности к климату могут служить незначительные абсолютные отметки высот (высота над уровнем моря) для верхней границы рас-

пространения древесной растительности. Так, например, если для участков исследуемого горно-таежного лесорастительного пояса Западного Саяна характерна высота верхней границы леса 1500-1600 м над уровнем моря, то для Центрального и Юго-Восточного Алтая – 2100-2200 м. Эту особенность хорошо демонстрирует работа А.Ю. Бочарова (2009) по Семинскому перевалу, в которой в отличие от более ранних работ, проводившихся для высот 1500-1700 м над уровнем моря (Воробьев и др., 1998), генерализированные хронологии построены для пробных участков на высоте 2000 м и, как следствие, хронологии имеют хорошие показатели коэффициентов детерминации ($r^2=0,50$), позволяющие проводить климатические реконструкции.

Заключение

Дендроклиматические исследования, проведенные в горно-таежном поясе Западных Саян, показали, что, несмотря на существующий тренд повышения температуры приземного слоя, наблюдаемый в последние

десятилетия и фиксируемый по данным метеонаблюдений, динамика радиального прироста деревьев кедра и пихты, произрастающих на границе горно-таежного высотного пояса, слабо отражает эти изменения. Выявленные основные закономерности влияния отдельных климатических параметров (температура, осадки) на формирование древесных колец хвойных имеют слабый характер связей. Отклик радиального прироста деревьев, произрастающих на границе горно-таежного пояса растительности (1500-1600 м над уровнем моря), не может быть достоверным источником и основанием для проведения реконструкции климатических изменений в пределах исследуемого региона в прошлом. Рассмотренный в работе высотный растительный пояс Западного Саяна не является репрезентативным для дендрохронологических исследований. При дальнейших работах рекомендуется проводить исследования только в высокогорной области (2000-2400 м над уровнем моря) с привлечением пород кедра и лиственницы.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы АБЦ «Развитие научного потенциала высшей школы» (№ 2.1.1/6131), грантов РФФИ 08-06-00253а и РФФИ 09-04-01380а, НШ-65610.2010.4

Список литературы

- Бочаров А.Ю. (2009) Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай). Журнал Сибирского федерального университета, Биология. 1: 30-37.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. (1996) Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 244 с.
- Воробьев В.Н., Савчук Д.А., Дутов Н.А., Бочаров А.Ю. (1998) Дендрохронологическое изучение динамики роста и генеративного развития деревьев кедра сибирского и лиственницы сибирской на границе леса в Алтае. Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Института археологии и этнографии, с. 64-70.
- Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. (1985) Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 208 с.

Данилов Д.Н. (1953) Влияние плодоношения на структуру годичного кольца у ели (*Picea excelsa*). Ботанический журн. Т. 38. 3: 367-377.

Панюшкина И.П., Овчинников Д.В. (1999) Климатически обусловленная динамика радиального прироста лиственницы в Горном Алтае. Лесоведение 6: 22-32.

Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. (1986) Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 226 с.

Севастьянов В.В. (1998) Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Из-во ТПУ, 202 с.

Типы лесов гор Южной Сибири (1980). Новосибирск: Наука, 335 с.

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

Briffa K. R., Osborn T. (2002) Blowing hot and cold. *Science* 295: 2227-2228.

Buntgen U., Franc D., Wilson R., Carrer M., Urbinati C., Esper J. (2008) Testing for tree-ring divergence in the European Alps. *Global Change Biology* 14: 2443-2453.

Fritts H.C. (1976) *Tree-rings and climate*. London: Academic Press, 567p.

Giorgi F., Hewitson B., Christensen J. et al. (2001) Regional climate information: Evaluation and projections. In: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. New York: Cambridge Univ. Press, p. 583-638.

Holmes R.L. (1992) Program COFECHA: Version 3. The University of Arizona, Tucson.

Hughes M.K., Ammann C.M. (2009) The future of the past – an earth framework for high resolution paleoclimatology, editorial essay. *Climatic Change*: DOI 10.1007/s10584-009-9588-0.

Methods of Dendrochronology (1990) Applications in the Environmental Sciences. Cook E.R., Kairiukstis L.A. (Eds.) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 408 p.

Rinn F. (1996) TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg, 263 p.

Schweingruber F.H. (1996) *Tree Rings and environment*. Dendrochronology. Berne, Stuttgart, Vienna: Paul Haupt: Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 609 p.

Stone D. (1996) Impacts of climate change on selected ecosystems in Europe. *Parks* 6: 25-38.

The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on the climate change (1995). IPCC, WGI. Houghton J.T. et al. (Eds.) Cambridge: Cambridge University Press.

Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology, *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213.

Climatically Induced Dynamic of Radial Growth of Siberian Stone Pine and Siberian Fir in the Mountain-Taiga Belt in “Ergaki” National Park

**Oksana V. Gerasimova, Zahar Yu Zharnikov,
Anastasia A. Knorre and Vladimir C. Myglan**

The results of dendroclimatic study were carrying out on the timber-line of mountain-taiga vegetation belt (1500-1600 m a.s.l.) in the ‘Ergaki’ Natural Park. Six tree-ring chronologies for Siberian stone pine and Siberian fir were established. They covered the time period from 100 to 400 years. The comparison analysis between tree radial growth and the main climatic parameters of environment (monthly air temperature and amount of precipitation) showed the different climatic responses of trees depending on position in relief. The most significant factor determining the tree-ring growth for Siberian stone pine chronologies from site I and site II (Kamenniy gorod and Raduzhnoe) were the temperatures of the beginning of vegetation period ($R=0,27$, $p<0,05$). The temperatures of July were significantly correlated with tree-ring width of stone pine and fir ($R=0,22 - 0,25$, $p<0,05$, respectively) from the slopes (Peak Spasateley). Stone pine tree-ring chronology can not be used for the procedure of climatic reconstruction in the studied region because of low value of the regression coefficient ($r^2 = 0,07$, $p<0,005$).

Keywords: tree rings, conifers, timberline, region, climate.
