

УДК 551.583.16+551.583.4(571.1)

## ВЛИЯНИЕ ДОЛГОТНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ОСНОВНЫХ ЛЕСНЫХ ПОРОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ СИБИРИ<sup>1</sup>

© 2012 г. Л.И. Агафонов, М.А. Гурская

Институт экологии растений и животных УрО РАН

Поступила в редакцию 23.03.2011 г.

Исследовано влияние долголетнего градиента температур на радиальный прирост основных видов лесообразователей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в подзоне северной тайги Западной Сибири. Влияние оценивали по трем параметрам: изменения статистических характеристик древесно-кольцевых хронологий в долголетнем градиенте; теснота связи древесно-кольцевых хронологий по ширине годичных колец с температурой воздуха; аномальные изменения структуры годичных колец (формирование светлых колец). У хронологий по ели выявлена тенденция усиления отклика радиального прироста на температуру воздуха вдоль долголетнего градиента с запада на восток. Выявлено увеличение значений статистических характеристик хронологий по лиственнице вдоль долголетнего градиента температур с запада на восток, но явных изменений отклика радиального прироста в этом направлении не обнаружено. Интенсивность и частота формирования светлых годичных колец не связана с долголетним градиентом температур в районе исследования, но температурная разница между годами, когда формируются светлые кольца, и в годы без них, убывает вдоль долголетнего градиента. Полагаем, что на формирование светлых годичных колец наибольшее влияние оказывают особенности местных географо-климатических условий.

**Введение.** Известно, что в Субарктике температура воздуха является главным фактором, лимитирующим радиальный прирост деревьев [3, 13, 18, 19, 29, 30, 46]. Однако температурный режим здесь неоднороден и изменяется при продвижении в глубь континента. Изменение амплитуды колебаний климатических переменных, в частности температуры воздуха, зависит от географического положения и абсолютной высоты места [25]. Таким образом, когда речь идет о долголетнем градиенте температур воздуха, особенно на пространствах Евразии, это связано с изменением континентальности климата. Известно несколько вариантов расчета индекса континентальности, в которых используют суточные или годовые значения температуры воздуха и атмосферных осадков, а также могут быть учтены различия в широте места и абсолютных высотах [28]. Наиболее простым методом индекс континентальности вычисляется как разница между средними тем-

пературами самого жаркого и самого холодного месяца.

В исследованиях разных авторов показано, что пространственное распределение тепла оказывает влияние на рост и распространение видов деревьев [21, 31, 35], их жизненные формы [26], величину радиального прироста [37, 40], а так же на формирование и распределение аномальных клеточных и тканевых структур [5] не только на больших пространствах, но и на относительно небольших территориях, где эти изменения могут влиять на особенности почвенных условий, богатство и разнообразие растительности [22, 23].

В большей степени изучено влияние широтных изменений климата на прирост деревьев. Исследования связей радиальный прирост деревьев – климат вдоль широтного градиента в Европе [37, 40, 42,] и Канаде [38, 39, 43] показали, что эти связи могут быть хорошо выражены, однако чувствительность прироста деревьев к сезонным изменениям климата может значительно варьировать в зависимости от вида дерева и особенностей местных условий.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проектов №№ 08-04-00964, 05-04-48298, Программы КАР № 09-П-4-1004 и Программы УрО РАН № 12-С-4-1038.

Реже исследовали влияние долготного климатического градиента на прирост деревьев. Такая работа была выполнена на трансекте с запада на восток от океанического побережья к центральной Фенноскандии в пределах 62–64° с.ш. [40]. Авторами выявлена высокая изменчивость прироста и тесная связь с летними температурами в прибрежной части трансекты, по сравнению с континентальной частью, и при этом имел место постепенный градиент связей между западной и восточной частями трансекты.

Влияние на клеточную структуру годичного кольца деревьев частоты экстремальных климатических явлений в долготном градиенте исследовано недостаточно полно. Среди таких аномалий клеточной структуры наиболее распространены так называемые светлые кольца, для которых характерна светлая окраска слоя поздней древесины благодаря тонким клеточным стенкам, и которые формируются у деревьев независимо от их возраста [32]. В условиях Субарктики температура воздуха является главным фактором образования светлых колец, и они формируются, когда температура воздуха сезона вегетации опускается ниже определенного порогового значения [29, 33]. При этом температура начала сезона вегетации, как правило, не оказывает влияния на формирование светлых колец, а влияют, главным образом, температуры с последней декады июля по август, в случаях, когда температура воздуха этого периода опускается ниже многолетних средних значений [29, 45]. Таким образом, светлые кольца можно успешно использовать для реконструкции климата, особенно второй половины сезона вегетации.

Исследования влияния температурного градиента на радиальный прирост деревьев для территорий с резко континентальным климатом се-

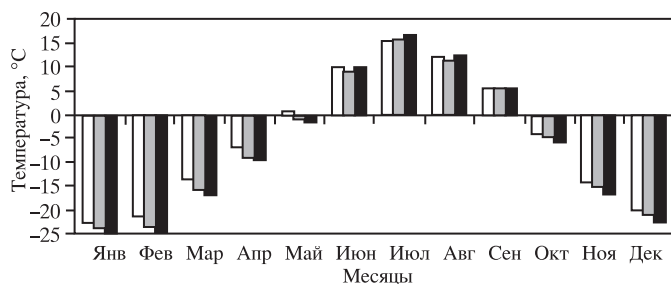
ра Сибири практически не выполнялись. По этой причине цель данного исследования состояла в том, чтобы на трансекте вдоль долготного градиента температур на севере Западной Сибири, для двух основных видов – лесообразователей в регионе (ель и лиственница) вблизи их северного предела произрастания: 1) проследить изменения статистических характеристик древесно-кольцевых хронологий; 2) оценить изменчивость связей радиальный прирост деревьев – климат; 3) исследовать частоту формирования светлых колец вдоль долготного градиента температур.

**Материал и методы.** *Район исследования.* Для того чтобы проследить влияние континентальности климата на радиальный прирост деревьев, использовали долготную трансекту в подзоне северной тайги вблизи Северного полярного круга на широте с. Мужи, г. Надым, пос. Тарко-Сале. На трансекте расположены 3 дендрохронологических тест-полигона (ТП), находящиеся недалеко от одноименных метеорологических станций (м/с). Все ТП находятся примерно на одной широте и в сходных геоморфологических условиях (табл. 1), при этом ТП2 и ТП3 располагаются на многолетнемерзлых почвах в зоне прерывистой мерзлоты [7], а ТП1 – в зоне островной многолетней мерзлоты, но на участке ТП1 многолетняя мерзлота отсутствует. Расстояние между ТП1 и ТП2 составляет 250 км, а между ТП1 и ТП3 – 625 км.

Для исследования использовались данные м/с Мужи, Надым и Тарко-Сале, полученные как на самих м/с, так и с web-сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, г. Обнинск [47]. Климат района исследования резко континентальный и становится

**Таблица 1.** Расположение тест-полигонов (ТП) в районе исследования

Тест-полигон	Широта, долгота	Высота н.у.м. (м)	Почва и наличие мерзлоты	Ближайшая к тест-полигону метеостанция	Широта, долгота	Высота н.у.м. (м)	Период наблюдений
ТП1	65° 19' с.ш. 64° 39' в.д.	24	суглинистая, многолетней мерзлоты нет	Мужи	65° 23' с.ш. 64° 43' в.д.	18	1933–1990
ТП2	65° 21' с.ш. 71° 31' в.д.	35	песчаная, многолетняя мерзлота	Надым	65° 32' с.ш. 72° 31' в.д.	14	1955–2008
ТП3	64° 45' с.ш. 77° 38' в.д.	25	песчаная, многолетняя мерзлота	Тарко-Сале	64° 55' с.ш. 77° 49' в.д.	27	1937–2008



**Рис. 1.** Многолетние средние месячные температуры воздуха по м/с Муже (ТП1), Надым (ТП2) и Тарко-Сале (ТП3) обозначены светлыми, серыми и черными столбцами соответственно.

более суровым при движении вдоль трансекты в направлении с запада на восток. Средняя температура воздуха января понижается вдоль трансекты с запада на восток от  $-22.7^{\circ}\text{C}$  на м/с Муже, до  $-23.8^{\circ}\text{C}$  на м/с Надым и до  $-25.1^{\circ}\text{C}$  на м/с Тарко-Сале, тогда как температура июля в этом же направлении возрастает  $-14.9^{\circ}\text{C}$ ,  $15.8^{\circ}\text{C}$  и  $16.3^{\circ}\text{C}$  соответственно. Также хорошо с запада на восток выражен на трансекте долготный градиент средней годовой температуры:  $-4.8^{\circ}\text{C}$ ,  $-5.8^{\circ}\text{C}$ ,  $-6.5^{\circ}\text{C}$ . Наиболее сильное различие температур наблюдается в холодный период года с октября по март и менее выражено в период с апреля по сентябрь (рис. 1). Индекс континентальности изменяется с запада на восток от  $38.2^{\circ}\text{C}$  (для ТП1, м/с Муже) до  $39.6^{\circ}\text{C}$  (для ТП2, м/с Надым) и до  $41.4^{\circ}\text{C}$  (ТП3, м/с Тарко-Сале). При этом количество годовой суммы осадков на трансекте остается постоянным для всех метеостанций и полигонов: 488, 489 и 480 мм соответственно. Таким образом, в районе исследования хорошо выражен температурный градиент на фоне отсутствия различий в атмосферных осадках.

#### *Построение древесно-кольцевых хронологий*

Для построения древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) по ширине годичного кольца и хронологий по светлым кольцам использовали керны с живых деревьев ели и лиственницы. Керны были собраны на трех ТП в 5–15 км от метеостанций. Измерения ширины годичных колец выполнены на установке LINTAB с программным пакетом TSAP [41]. Перекрестная датировка хронологий выполнена в программах TSAP и COFESHA [38]. Стандартизация индивидуальных хронологий (устранение сигналов не климатического характера и вычисление индексов прироста) выполнена в программе ARSTAN [22], при этом из индивиду-

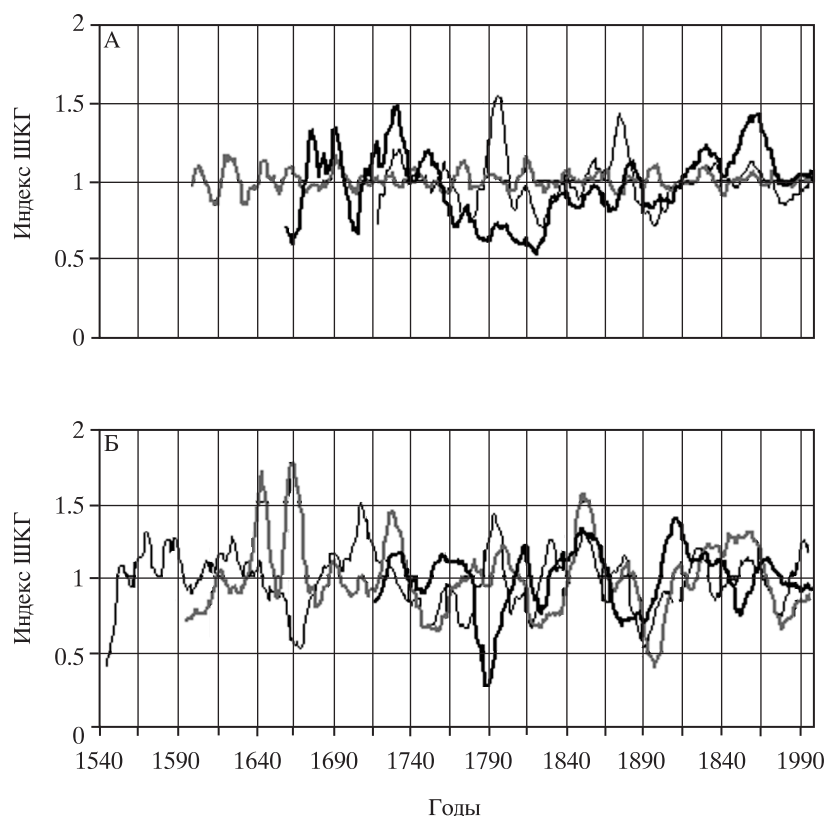
альных хронологий были получены обобщенные ДКХ по каждому виду деревьев для каждого ТП.

Обычно ДКХ по ширине годичного кольца хвойных видов деревьев имеют высокую связь прироста текущего года с климатическими условиями предшествующего года, на что указывают высокие значения коэффициента автокорреляции 1-го порядка [30]. Чтобы устранить это влияние в программе ARSTAN, наряду со стандартными, рассчитываются индексы прироста не связанные с условиями предыдущих лет, так называемые “residual indexes” [16]. В исследовании связей прироста с климатом использовались хронологии на основе “residual indexes”.

Для характеристики ДКХ использовали такие показатели как общий популяционный сигнал хронологии (expressed population signal, EPS), коэффициент связи между индивидуальными хронологиями ( $R_{\text{bar}}$ ), коэффициент чувствительности, соотношение “сигнал/шум”, вклад первой принципиальной компоненты. Общий популяционный сигнал хронологии (EPS) показывает, насколько достоверно соответствует полученная хронология теоретической генеральной хронологии. Это соответствие считается приемлемым на временном интервале, обеспеченном необходимым количеством индивидуальных хронологий, при  $\text{EPS} \geq 0.85$  [44]. Коэффициент  $R_{\text{bar}}$  характеризует изменчивость между индивидуальными хронологиями [44]. Коэффициент чувствительности показывает чувствительность хронологии по ширине годичных колец к изменениям климата. В дендроклиматических исследованиях при величине этого коэффициента 0.3 и выше считается, что ДКХ достаточно чувствительна к климатическим изменениям [43]. Соотношение “сигнал/шум” характеризует силу климатического сигнала в ДКХ, – чем больше это соотношение, тем сильнее климатический сигнал [3]. Вклад первой принципиальной компоненты указывает на величину изменчивости прироста, обусловленной климатом [23].

Отклик ДКХ на изменения температуры воздуха в течение года (с сентября предшествующего по август текущего года) оценивали по функциям отклика, полученным в результате бутстрап анализа (bootstrap analysis) в программе DENDROCLIM2002 [15], который позволяет оценить связи радиального прироста деревьев со средними месячными температурами на каждом из ТП.

Условия формирования светлых колец деревьев исследовали с целью изучения влияния долготного градиента температур на анатомическую



**Рис. 2.** Сглаженные 11-летним кубическим сплайном хронологии по ширине годичных колец ели (А) и лиственницы (Б) на ТП1, ТП2 и ТП3. Цветовые обозначения как на рис. 1; EPS > 0.85.

структуру годичных колец у ели и лиственницы. Светлые кольца определялись визуально под бинокляром МБС-10 при увеличении 40×. При построении хронологий по светлым кольцам использовали процентное представительство таких колец из каждой индивидуальной ДКХ на каждом ТП. Частоту образования светлых колец оценивали на общем для всех ДКХ временном интервале с 1797 по 1992 г. Различия в температурных условиях в годы формирования светлых колец исследовали на общем интервале метеонаблюдений за 1955–1990 гг. Температурные отклонения в годы формирования светлых колец оценивали ежемесячно в период с апреля по сентябрь текущего года как разницу между  $t_{\text{бск}} - t_{\text{ск}}$ , где  $t_{\text{бск}}$  – средняя месячная температура воздуха за годы без формирования светлых колец, а  $t_{\text{ск}}$  – средняя месячная температура воздуха за годы, в которые формировались светлые кольца.

**Результаты.** *Статистические характеристики ДКХ.* Все хронологии по ели и лиственнице показывают синхронную динамику изменений радиального прироста независимо от положения на трансекте (рис. 2). Однако амплитуда флуктуаций радиального прироста у ДКХ по лиственнице выражена более отчетливо, по сравнению с ДКХ

по ели. Коэффициенты корреляции между индексами ширины годичных колец еловых ДКХ на всех ТП ниже, чем у лиственничных. Для ели эти коэффициенты изменяются от 0.25 до 0.35, тогда как у лиственницы они варьируют в пределах 0.45–0.65 (табл. 2). При сравнении между собой еловые и лиственничные ДКХ имеют наиболее тесную связь на ТП1, и коэффициент корреляции постепенно снижается в восточном направлении вдоль трансекты от 0.46 до 0.23.

Корреляция между индивидуальными хронологиями ( $R_{\text{бар}}$ ) по каждому виду деревьев для каждого ТП постепенно возрастает при движении по трансекте с запада на восток от 0.33 до 0.41 для ДКХ по ели и от 0.40 до 0.59 для ДКХ по лиственнице (табл. 3). Наибольшее значение коэффициента чувствительности у ели выявлено на ТП1 (0.28) и он снижается до 0.20 на ТП2 и ТП3. Лиственничные хронологии напротив, показали увеличение коэффициента чувствительности от 0.17 до 0.32 при продвижении с запада на восток от ТП1 к ТП3 (табл. 3).

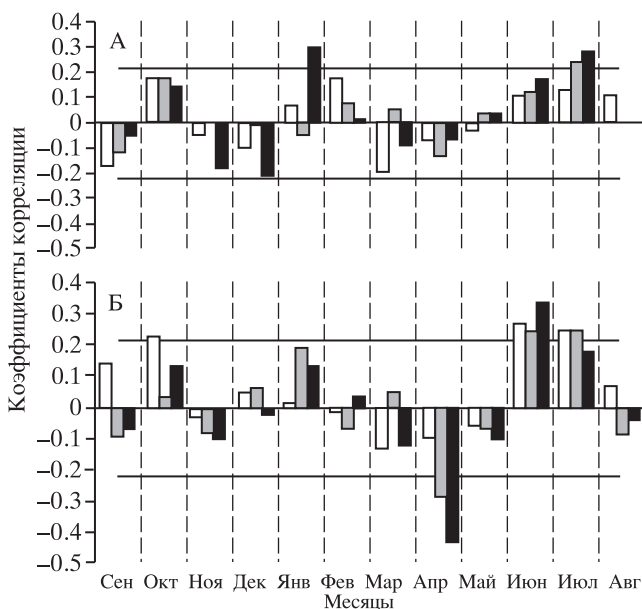
Изменения значений стандартного отклонения для ширины годичных колец выражены во всех еловых и лиственничных ДКХ (табл. 3). Еловые хронологии показывают уменьшение этого

**Таблица 2.** Матрица коэффициентов корреляций между обобщенными хронологиями по ширине годичных колец ели и лиственницы

	ель ТП1	ель ТП2	ель ТП3	лиственница ТП1	лиственница ТП2
ель ТП1	1				
ель ТП2	0.31	1			
ель ТП3	0.35	0.25	1		
лиственница ТП1	0.46	0.21	0.18	1	
лиственница ТП2	0.28	0.28	0.23	0.65	1
лиственница ТП3	0.15	0.40	0.23	0.45	0.53

**Таблица 3.** Статистические характеристики еловых и лиственничных древесно-кольцевых хронологий

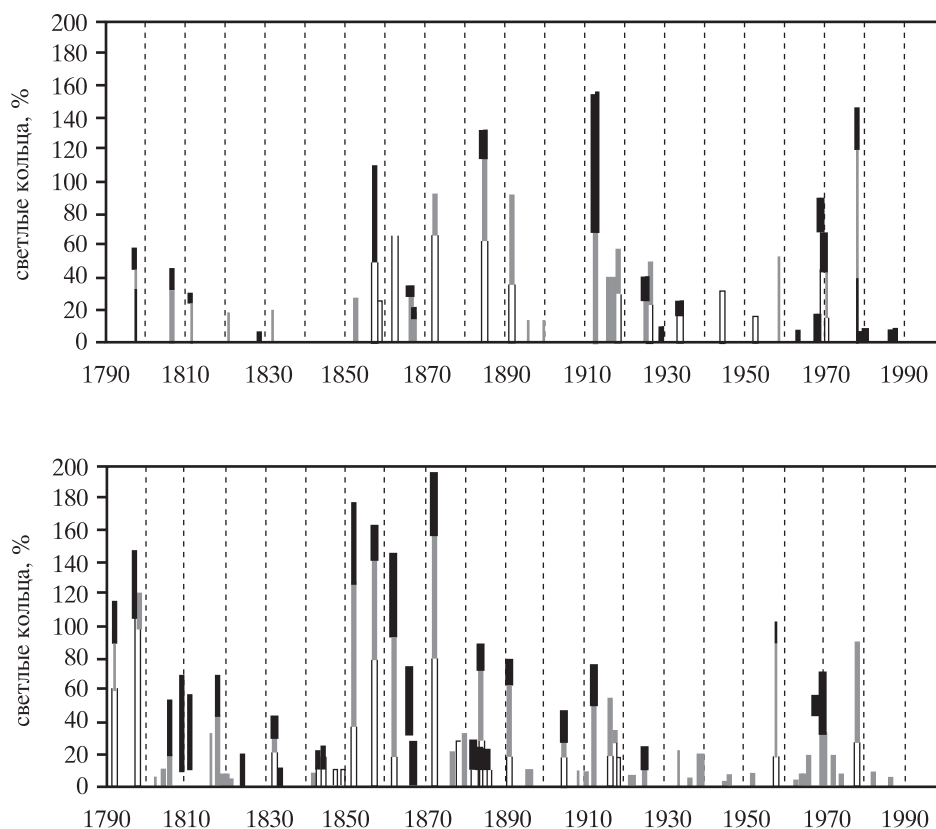
Тест-полигон	Вид дерева	Число деревьев	Общий интервал (EPS>0.85)	Автокорреляция 1-го порядка для остаточной хронологии	$R_{\text{bar}}$	Коэффициент чувствительности хронологии	Стандартное отклонение для средней ширины годичного кольца	Отношение сигнал/шум	Изменчивость первой принципиальной компоненты, %
ТП1	Ель	18	1797–1996	-0.07	0.33	0.28	0.23	7.9	56
ТП2	Ель	42	1650–1992	-0.004	0.40	0.20	0.18	10.8	47
ТП3	Ель	32	1735–1994	-0.01	0.41	0.20	0.17	9.5	42
ТП1	Лиственница	38	1748–1999	0.01	0.40	0.17	0.16	19.9	50
ТП2	Лиственница	38	1660–1992	-0.04	0.52	0.30	0.25	20.6	53
ТП3	Лиственница	24	1640–1994	-0.04	0.59	0.32	0.26	21.3	60

**Рис. 3.** Коэффициенты корреляции между средней месячной температурой воздуха и индексами ширины годичных колец за период с сентября предшествующего по август текущего года (А – для ели, Б – для лиственницы). Значимые уровни корреляции обозначены прямыми горизонтальными линиями. Цветовые обозначения как на рис. 1.

показателя с 0.23 до 0.17 в направлении от ТП1 к ТП3, а лиственничные хронологии – его увеличение в этом же направлении от 0.16 до 0.26. Для еловых ДКХ характерны более низкие значения отношения сигнал/шум, чем у лиственничных ДКХ. Изменчивость прироста, объясняемая первой принципиальной компонентой сильнее выражена у лиственничных ДКХ (50–60%), чем у еловых (42–56%).

#### *Связи радиального прироста ели и лиственницы с температурой воздуха*

Для ДКХ по ели и лиственнице выявлены различия в связи радиального прироста с температурой воздуха вдоль долготного градиента. В первую очередь это проявляется в тесноте связей. На протяжении всей трансекты радиальный прирост ели менее зависим от температуры (рис. 3А). У еловых хронологий значимые положительные связи прироста выявлены только с температурой июля, и только на ТП2 и ТП3, а также с температурой января на ТП3. Следует отметить тенденцию увеличения тесноты связи прироста ели с температурой воздуха вдоль трансекты с запа-



**Рис. 4.** Частота формирования светлых колец (накопленные проценты) на всех тест-полигонах у ели (А) и лиственницы (Б). Цветовые обозначения как на рис. 1.

да на восток от полигона к полигону в течение июня и июля. Как было отмечено выше, в этом же направлении наблюдается повышение летних температур воздуха и усиливается континентальность климата.

Хронологии по лиственнице показали более тесные связи прироста с температурой, чем у ели, что выражается в более высоких значениях коэффициентов корреляции (рис. 3Б). На прирост лиственницы значимое положительное влияние оказывают температуры июня на всех полигонах и температуры июля на ТП1 и ТП2, а также температура октября предшествующего года на ТП1. Наряду с положительной, выявлена значимая отрицательная связь прироста с температурой апреля на ТП2 и ТП3. Для лиственницы наибольшее значение имеют температуры июня, тогда как для ели значимыми являются температуры июля.

#### *Частота формирования светлых годичных колец*

Выявлены различия в частоте формирования светлых колец у ели и лиственницы на всех ТП на общем для всех хронологий интервале (1797–1992 гг.). У ели частота образования светлых ко-

лец составила до 23% лет, тогда как для лиственницы этот показатель составил 44% лет за общий для всех хронологий период в 260 лет (рис. 4). При рассмотрении вдоль трансекты, у всех индивидуальных ДКХ по ели на ТП1, ТП2 и ТП3 выявлено 19, 24 и 18 общих лет, когда происходило формирование светлых колец, тогда как для хронологий по лиственнице в тех же условиях частота формирования светлых колец составила 23, 67 и 26 лет соответственно (табл. 4), т.е. у лиственницы светлые кольца формировались чаще.

Поскольку в XVIII столетии общий интервал для всех хронологий пришелся на последнее десятилетие, то здесь выявлен только один 1797 г., когда светлые кольца сформировались у всех индивидуальных ДКХ обоих видов на всех ТП. Для последующих двух столетий важно отметить, что частота формирования светлых колец у обоих видов наиболее высока в XIX столетии. Выявлено общих 32 года и 29 лет формирования светлых колец у ели в XIX и XX столетиях и 73 года и 43 года соответственно у лиственницы.

Общими годами за период с 1797 по 1992 г., когда сформировались светлые кольца у обоих видов на всех ТП вдоль трансекты, стали только

**Таблица 4.** Общие годы формирования светлых колец у индивидуальных ДКХ ели и лиственницы на тест-полигонах вдоль долготной трансекты в течение XIX и XX столетий

Вид и тест-полигон	Годы				Всего за 2 столетия
	XIX столетие	Всего	XX столетие	Всего	
Ель, ТП1	1831, 1857, 1858, <b>1862*</b> , 1872, 1878, 1879, 1882, <b>1884</b> , 1891	10	1918, 1926, 1933, 1944, 1952, 1958, <i>1969, 1970, 1978</i>	9	19
Ель, ТП2	1806, 1811, 1820, 1852, 1857, <b>1862</b> , 1866, 1867, 1872, 1879, 1882, <b>1884</b> , 1891, 1895, 1899	15	1912, 1916–1918, 1925, 1926, <i>1969</i> , <i>1970, 1978</i>	9	24
Ель, ТП3	1806, 1811, 1828, <b>1862</b> , 1866, 1867, <b>1884</b>	7	1912, 1925, 1929, 1933, 1963, 1968, <i>1969, 1970, 1978</i> , 1980, 1988	11	18
Всего по ели		32		29	61
Лиственница, ТП1	<u>1832</u> , 1843, 1844, 1847, 1849, <u>1852</u> , <u>1857</u> , 1858, <b>1862</b> , <u>1866</u> , 1872, 1878, 1882, <b>1884</b> , 1886, <u>1891</u>	17	<u>1905</u> , 1916–1918, <u>1958</u> , 1978	6	23
Лиственница, ТП2	1802, 1804–1822, 1824, 1831, <u>1832</u> , 1841, 1842, 1846, <u>1852</u> , <u>1857</u> , <b>1862</b> , <u>1866</u> , <u>1872</u> , 1876, 1879, <b>1884</b> , 1890, <u>1891</u> , 1896	37	<u>1905</u> , 1908, 1910, 1912, 1916, 1917, 1921, 1922, 1925, 1933, 1936, 1939, 1945–1947, 1952, <u>1958</u> , 1962, 1964– 1966, 1968–1970, 1972, 1974, 1978, 1982, 1986, 1990	30	67
Лиственница, ТП3	1806, 1809, 1811, 1818, 1824, <u>1832</u> , 1834, 1844, <u>1852</u> , <u>1857</u> , <b>1862</b> , <u>1866</u> , <u>1867</u> , <u>1872</u> , 1880, 1882, 1884, 1885, <u>1891</u>	19	<u>1905</u> , 1912, 1925, <u>1958</u> , 1968–1970	7	26
Всего по лиственнице		73		43	116

\* Жирным шрифтом выделены годы, когда светлые кольца формировались на всех тест-полигонах у обоих видов, подчеркиванием – только у лиственницы, курсивом – только у ели.

три года: 1797, 1862, 1884 (табл. 4), причем в XX столетии таких лет не выявлено. Проявились видовые различия в формировании светлых колец у ели и лиственницы, как во времени, так и в пространстве. В XIX веке общие годы формирования светлых колец у ели и лиственницы на всех ТП

пришлись на 1862 и 1884 гг., при этом другие общие для всех ТП годы в хронологиях по ели не выявлены. В хронологиях по лиственнице, помимо 1862 и 1884 гг., выявлено еще несколько общих лет, когда на всех ТП сформировались светлые кольца: 1832, 1852, 1857, 1866, 1872, 1891 гг.



В XX веке общих лет для обоих видов не выявлено, при этом у еловых ДКХ общими для всех ТП стали 1969, 1970 и 1978 гг., а для лиственничных ДКХ – 1905 и 1958 гг. (табл. 4).

Светлые годовые кольца у ели и лиственницы формировались в годы, когда средняя температура апреля, мая, июня и августа была на 1.5–4.9 °C ниже, по сравнению с годами, когда светлые кольца не образовывались (рис. 5). Наибольшие температурные различия выявлены на ТП1, здесь разница температур в апреле–июне достигает от 3.3 °C до 4.6 °C в годы, когда формировались светлые кольца у ели, и от 3.1 °C до 4.9 °C у лиственницы.

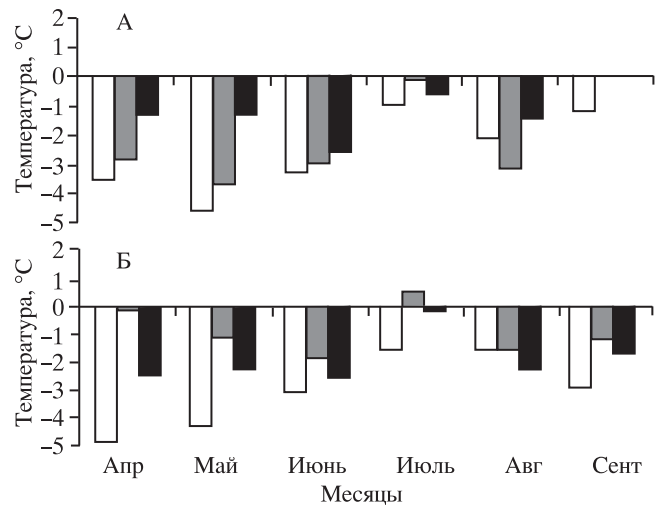
Различия в температуре апреля, мая и июня, в годы формирования светлых колец у ели, постепенно снижаются от ТП1 к ТП3 вдоль температурного градиента (рис. 5А). У лиственницы такое снижение наблюдается только на ТП1 (рис. 5Б), на ТП3 разница температур сохраняется примерно на одном уровне в апреле, мае, июне и августе, а на ТП2 наоборот, идет увеличение различий от апреля к июню.

Различия в июльских температурах самые минимальные. Различия в температурах августа и сентября не имеют каких-либо явных закономерностей в долготном градиенте. Следует лишь отметить наиболее высокую разницу (3.2 °C) температуры августа при формировании светлых колец у ели на ТП2, и в этот же месяц разницу в 2.3 °C при формировании светлых колец у лиственницы на ТП3.

**Обсуждение результатов.** Радиальный прирост деревьев есть продукт фотосинтеза, в результате которого синтезированные органические вещества участвуют в заложении новых клеток и тканей. Поскольку температура воздуха в значительной степени контролирует процесс фотосинтеза и другие физиологические процессы деревьев [6], а также влияет на процессы и компоненты природной среды, в связи с этим и обсуждаются полученные результаты.

#### *Температурный градиент и статистические характеристики хронологий*

По статистическим характеристикам ДКХ по лиственнице оказались более чувствительными к градиентным изменениям температуры воздуха, чем ДКХ по ели. Об этом свидетельствуют более высокие значения всех статистических параметров лиственничных ДКХ, по сравнению с еловыми, и направленность тенденций этих изме-



**Рис. 5.** Отклонения температуры воздуха в годы формирования светлых колец по сравнению с обычными годами за общий период метеорологических наблюдений (1955–1990) на всех метеостанциях. А – для ели, Б – для лиственницы. Цветовые обозначения как на рис. 1.

нений (табл. 3). В целом оба вида показали противоположные тенденции изменения в долготном градиенте температур. Исключение составляет коэффициент связи между индивидуальными хронологиями ( $R_{bar}$ ), который возрастает у еловых ДКХ с 0.33 до 0.41 и в еще большей степени у лиственничных ДКХ, – с 0.40 до 0.59 при продвижении с запада на восток, что указывает на усиливающуюся корреляцию между индивидуальными хронологиями у обоих видов под влиянием температурного градиента. При этом коэффициент чувствительности ДКХ по ширине годовых колец к изменениям температуры у ДКХ по ели достаточно низкий (что, в целом, характерно для этого вида), и имеет слабую тенденцию к снижению вдоль температурного градиента (0.28, 0.20, 0.20). Хронологии по лиственнице, наоборот, показали увеличение коэффициента чувствительности вдоль долготного градиента (0.17, 0.30, 0.32). Такую же направленность тенденций показали значения стандартного отклонения от средней ширины годового кольца – снижение значений у ДКХ по ели (0.23, 0.18, 0.17) и увеличение у ДКХ по лиственнице (0.16, 0.25, 0.26) в направлении усиления континентальности климата. Климатический сигнал, описываемый отношением сигнал/шум, достаточно выражен во всех хронологиях и не имеет явных тенденций изменения у еловых ДКХ (7.9, 10.8, 9.5), но несколько усиливается в лиственничных ДКХ с запада на восток (19.9, 20.6, 21.3).

Наиболее явные различия, у обоих видов деревьев, выявлены в тенденциях изменчивости



вклада первой принципиальной компоненты в радиальный прирост деревьев (табл. 3), которые также имеют противоположные направленности. Наибольший вклад климата (56%) в изменчивость прироста ели выявлен на ТП1, и он постепенно снижается с запада на восток (47% и 42%), тогда как для лиственницы выявлено увеличение изменчивости от ТП1 (50%) к ТП2 (53%) и ТП3 (60%) в направлении возрастания температурного градиента с запада на восток. Таким образом, у еловых хронологий изменчивость прироста, объясняемая климатом, снижается, а у лиственничных хронологий – возрастает вдоль трансекты.

Исходя из полученных результатов, можно констатировать, что обсуждаемые изменения статистических характеристик ДКХ обоих видов деревьев имеют разнонаправленные тенденции вдоль долготной трансекты.

*Отклик радиального прироста  
на изменения температурного градиента*

Наибольший интерес вызывают различия в откликах радиального прироста ели и лиственницы на температуру июня и июля (рис. 3). Объяснение этих различий связано с эколого-физиологическими особенностями этих видов. Ель – дерево, у которого хвоя держится на протяжении нескольких лет, тогда как лиственница сбрасывает хвою после каждого вегетационного сезона, поэтому длительность фотосинтетической активности ели в сезоне продолжительнее, чем у лиственницы. Для района исследования данные о продолжительности фотосинтетической активности хвои ели и лиственницы отсутствуют, но известно, что период вегетации ели в условиях Прибайкалья длится 210–220 дней, а лиственницы 130–140 дней [9, 10], поэтому можно предположить, что подобное соотношение в длительности фотосинтетической активности хвои возможно и в условиях севера Западной Сибири.

Исследованиями Щербатюк и др. [13, 14], Суворовой и др. [8, 9, 10, 11] показано, что в Прибайкалье у ели связь интенсивности фотосинтеза с температурой воздуха в течение сезона вегетации выражена слабее, чем у лиственницы. При этом оптимальный диапазон температур воздуха для фотосинтеза у ели более широкий и наступает при меньших значениях температуры на 5–6 °С, по сравнению с лиственницей [9]. Однако, продуктивность фотосинтеза у ели более тесно, чем у лиственницы, связана с доступным влагозапасом и температурой почвы [14, 9]. Такая же зави-

симость выявлена и для сосны обыкновенной в Средней Сибири [12].

В условиях многолетней мерзлоты почвенная влага находится в виде кристаллов льда до тех пор, пока температура почвы не превысит 0 °С. Ель, чувствительная к обеспеченности почвенной влагой, может испытывать ее дефицит в начале сезона вегетации, что снижает продуктивность фотосинтеза, количество синтезируемого органического вещества и, в конечном итоге, величину радиального прироста. Активное оттаивание верхних горизонтов многолетнемерзлых пород на глубине 10 см в районе исследования начинается в конце июня – начале июля (собственные инструментальные наблюдения авторов), когда температура воздуха наиболее высокая, и оттаивание ведет к увеличению доступной влаги в почве. Вероятно, с этого момента продуктивность фотосинтеза у ели возрастает, увеличивается количество продуктов фотосинтеза, и это стимулирует новообразование и рост клеток стволовой паренхимы дерева. Такой алгоритм логично объясняет постепенное увеличение тесноты связи прироста ели с температурами июня и июля вдоль градиента температур, особенно на ТП2 и ТП3. Этим же можно объяснить значимую связь радиального прироста ели на ТП2 и ТП3, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, именно с температурой воздуха июля и зависимой от нее температурой сезонно-талого слоя почвы. Незначимые связи прироста ели с температурой в июне и июле на ТП1, вероятно, объясняются доступностью почвенной влаги в эти месяцы из-за отсутствия многолетней мерзлоты и более раннего сезонного оттаивания почвы. В этом случае фотосинтетический процесс и образование новых тканей древесины (радиальный прирост) не лимитируются влажностью и температурой воздуха и почвы, что и не проявляется в значимости связей прироста с температурой воздуха. Что касается выявленной значимой связи прироста ели с температурой января на ТП3, в настоящее время мы не можем дать объяснения этому явлению.

Обобщая сказанное выше, следует отметить тенденцию увеличения тесноты связи прироста ели с температурой воздуха вдоль трансекты с запада на восток от полигона к полигону в течение июня и июля, с максимумом значений в июле. В этом же направлении наблюдается повышение летних температур воздуха вдоль трансекты и усиливается континентальность климата. Таким образом, выявлена слабая тенденция связи радиального прироста ели с долготным градиентом температур в июне и июле.

Значимую положительную связь прироста лиственницы с температурой воздуха июня на всех ТП можно объяснить следующим образом. Как уже отмечалось выше, у лиственницы интенсивность фотосинтеза в значительной степени зависит от температуры воздуха [13, 14, 8, 9, 10, 11]. Наиболее высокая интенсивность фотосинтеза у лиственницы характерна для молодой хвои, распускающейся из брахибластов [9], а в условиях района исследования этот период приходится на июнь. Синтезированный органический материал поступает в ствол дерева и в камбиальном слое начинается формирование и рост новых клеток паренхимы. Таким образом, алгоритм процесса следующий – чем благоприятнее условия (температура воздуха) для роста хвои в июне, тем выше продуктивность фотосинтеза, тем больше синтезируется органических веществ, тем больше величина радиального прироста. Процесс формирования нового годичного слоя прироста (годичного кольца) сложен и состоит из нескольких стадий: деление клеток камбия, их растяжение, формирование ранней и поздней древесины в годичном слое [4]. В июне этот процесс у лиственницы не заканчивается, клетки нового слоя прироста продолжают формироваться и в июле, когда происходит их растяжение. В связи с этим, температура этого месяца также может оказывать влияние на величину радиального прироста, что и выражается в тесноте связи между приростом и температурой. Вероятно, если процесс формирования нового слоя прироста успеет пройти основные стадии (исключая стадию формирования поздней древесины) в июне, то температура июля не оказывает существенного влияния на этот процесс. Если стадии процесса формирования нового слоя прироста по каким-либо причинам выходят за пределы июня, тогда условия июля также значимо будут влиять на этот процесс.

На ТП1, ТП2 и ТП3 многолетняя средняя температура воздуха в июне 9.9 °С, 9.9 °С и 10.9 °С соответственно, т.е. на ТП3 она на 1 градус выше чем на ТП1 и ТП2. Возможно, что температурных условий июня на ТП3 достаточно, чтобы новый слой клеток успел пройти основные стадии формирования годичного кольца (за исключением формирования поздней древесины) и температура июля уже не оказывает значимого влияния на величину прироста. В более прохладных условиях июня на ТП1 и ТП2 процесс формирования нового слоя прироста у лиственницы, вероятно, не успеет завершиться в этом месяце и продолжается в июле, что и обуславливает значимую связь прироста с температурой воздуха этого месяца.

Следует отметить значимую отрицательную связь прироста лиственницы с температурой апреля (рис. 3Б). Многолетняя средняя температура воздуха этого месяца на ТП1 –6.2 °С, на ТП2 –8.5 °С и на ТП3 –7.8 °С, т.е. наиболее низкие температуры на ТП2 и ТП3, где и выявлены значимые связи. Для апреля характерна большая амплитуда суточных температур, когда в отдельные дни наблюдаются слабые положительные температуры днем и резкие снижения (до –20– –25 °С) ночью. Такие перепады температуры могут негативно влиять на физиологическое состояние брахибластов лиственницы и отражаться, в последующем, на процессе распускания хвои, фотосинтезе и величине радиального прироста. Влияние этого фактора на прирост лиственницы возрастает вдоль трансекты и может быть связано с усилением континентальности.

Значимая положительная связь прироста лиственницы на ТП1 с температурой октября предшествующего года обусловлена тепляющим эффектом стока Оби [1], поскольку керны лиственницы были собраны вблизи от берега реки. Положительное влияние тепляющего эффекта стока Оби в октябре предшествующего года на радиальный прирост лиственницы, ели и кедра в последующий год было исследовано нами ранее [2].

В отличие от ели, лиственница не проявила каких-либо явных тенденций к изменениям отклика радиального прироста вдоль долготного градиента температур. Можно полагать, что различия в отклике радиального прироста ели и лиственницы на температуру воздуха в течение сезона вегетации обусловлены видоспецифическими особенностями фотосинтеза и других физиологических процессов этих видов.

#### *Формирование светлых годичных колец в градиенте температур*

В формировании светлых годичных колец у обоих видов не выявлено выраженной пространственной закономерности вдоль трансекты, т.е. частота формирования светлых колец у ели и лиственницы не связана с долготным градиентом температур. Наибольшее число случаев формирования светлых колец происходило на ТП2 (особенно у лиственницы), тогда как на ТП1 и ТП3 соотношение случаев близкое как у ели, так и у лиственницы. Можно полагать, частота формирования светлых колец в большей мере зависит от особенностей местных условий, в частности рельефа, а не от градиентных изменений температуры воздуха вдоль трансекты.

В исследовании находит подтверждение известный факт, что светлые годичные кольца формируются в более холодные сезоны вегетации, особенно в августе и сентябре [29, 45, 33]. Поскольку светлая окраска связана со слоем поздней древесины, который формируется во второй половине периода формирования годичного кольца, и толщиной клеточных стенок этого слоя [4], то наибольшее влияние на его формирование оказывают условия августа и сентября.

Как следует из наших результатов, сентябрьские условия не влияли на формирование светлых колец у ели, но могли быть значимы для лиственницы. В сентябре у лиственницы начинается разрушение фотосинтетического аппарата, которое происходит интенсивно при понижении температуры воздуха. Продуктивность фотосинтеза этого вида в сентябре может составлять в Сибири от 8% до 15% от общей сезонной продуктивности [8, 11], т.е. температура этого месяца влияет на синтез органических веществ, которые используются в клеточных структурах на конечном этапе формирования годичного слоя прироста.

Значительный диапазон изменений температуры воздуха в первой половине сезона на ТП1, по сравнению с ТП2 и ТП3, связан с охлаждающим и обогревающим влиянием стока Оби на температуру [1]. Охлаждающее влияние проявляется в течение летних месяцев, а обогревающее – в сентябре–октябре, поэтому температурные различия на ТП1 проявляются сильнее, чем на ТП2 и ТП3, особенно в холодные годы, когда происходит формирование светлых годичных колец. Однако по причине более мягкого общего температурного режима на ТП1 (амплитуда колебаний суточных и месячных температур здесь меньше, чем на ТП2 и ТП3), частота формирования светлых колец на ТП1 не отличается какими-либо особенностями.

Нередко образование аномалий клеточной структуры годичных колец связывают с влиянием на климат извержений вулканов [18, 31]. В период с 1790 по 1992 г. произошло несколько сильных вулканических извержений, которые могли повлиять на климат северного полушария: 1815 г. – вулкан Тамбора (Индонезия); 1835 г. – вулкан Косигуина (Никарагуа); 1875 г. – вулкан Аскья (Исландия); 1883 г. – вулкан Кракатау; 1886 г. – вулкан Таравера (Новая Зеландия); 1902 г. – вулкан Мон-Пеле (Антильские о-ва) и вулкан Санта-Мария (Гватемала); 1907 г. – вулкан Ксудач (Камчатка, Россия); 1912 г. – вулкан Катмай (Аляска, США); 1963 г. – вулкан Агунг (Индонезия); 1980 г. – вулкан Святой Елены (США); 1982 г. – вулкан Эль Чичон (Мексика); 1985 г. – вулкан Руис [42]. За общий

период всех хронологий только извержение вулкана Кракатау можно связать с формированием светлых колец у ели и лиственницы в 1884 г. В остальных случаях отсутствуют совпадения формирования светлых колец и извержений вулканов.

Результаты исследования показали, что за весь исследованный период формирование светлых колец у лиственницы происходило чаще, чем у ели (116 и 61 случай соответственно) на всем протяжении жизни деревьев (рис. 4). Полагаем, что влияние на клеточную структуру осуществлялось через ассимиляционный аппарат деревьев. Сезонный прирост (формирование клеточной структуры и рост новых клеток древесины) связан с фотосинтезом, поэтому различия в формировании светлых колец у ели и лиственницы обусловлены влиянием погодных условий (температуры воздуха в частности) на внутрисезонную фотосинтетическую продуктивность и протекание биохимических процессов у каждого вида. Поскольку фотосинтетический аппарат лиственницы, по сравнению с елью, более чувствителен к сезонным изменениям погоды, это и обуславливает более высокую частоту формирования светлых колец у этого вида.

**Заключение.** Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

– Влияние температурного градиента на радиальный прирост ели и лиственницы на севере Западной Сибири проявляется на уровне тенденций в статистических характеристиках ДКХ и в тесноте связей хронологий по ширине годичных колец с температурой воздуха.

– Вдоль градиента температур с запада на восток хронологии по ели оказались более чувствительными к изменениям температуры июля, а хронологии по лиственнице – к изменениям температуры июня.

– В период сезонного роста анатомическая структура годичного кольца лиственницы более подвержена влиянию температуры воздуха по сравнению с елью. В связи с этим у лиственницы чаще формируются светлые кольца, чем у ели.

– У обоих видов деревьев интенсивность и частота формирования светлых годичных колец не связана с долготным градиентом температур. Вероятно, на формирование светлых годичных колец наибольшее влияние оказывают особенности местных географо-климатических условий, нежели пространственные изменения температуры воздуха.

– В целом лиственница как вид показала себя более чувствительной к изменениям температуры воздуха, чем ель.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Л.И., Мазена В.С. Сток Оби и летняя температура воздуха на севере Западной Сибири // Изв. Академии наук. Сер.геогр. 2001. № 1. С. 80–92.
2. Агафонов Л.И., Гурская М.А. Влияние стока нижнего течения Оби на радиальный прирост деревьев // Лесоведение. 2010. № 4. С. 9–18.
3. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
4. Ваганов Е.А., Шапкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 227 с.
5. Гурская М.А., Шиятов С.Г. Распределение морозобойных колец в древесине хвойных деревьев // Экология. 2006. № 1. С. 1–8.
6. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.
7. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России (Альбом мелкомасштабных карт). Новосибирск: Академическое изд-во "ГЕО", 2005. 54 с.
8. Суворова Г.Г., Щербатюк А.С., Янькова Л.С., Копытова Л.Д. Фотосинтетическая продуктивность *Pinus sylvestris*, *Picea obovata* и *Larix sibirica* // Ботанический журн. 2002. Т. 87. № 9. С. 99–109.
9. Суворова Г.Г., Щербатюк А.С., Янькова Л.С., Копытова Л.Д. Максимальная интенсивность фотосинтеза ели сибирской и лиственницы сибирской в Прибайкалье // Лесоведение. 2003. № 6. С. 58–65.
10. Суворова Г.Г., Янькова Л.С., Копытова Л.Д., Филиппова А.К. Сезонные оптимумы фотосинтеза хвойных Байкальской Сибири // Сибир. эколог. журн. 2007. № 2. С. 289–296.
11. Суворова Г.Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во "ГЕО", 2009. 195 с.
12. Судацкова Н.Е., Милютин И.Л., Романова Л.И. Влияние стрессовых воздействий на ксилогенез сосны обыкновенной в условиях Сибири // Лесоведение. 2007. № 6. С. 101–106.
13. Щербатюк А.С., Русакова Л.В., Суворова Г.Г., Янькова Л.С. Углекислотный газообмен хвойных Предбайкалья. Новосибирск: Наука, 1991. 135 с.
14. Щербатюк А.С., Суворова Г.Г., Янькова Л.С., Русакова Л.В., Копытова Л.Д. Видовая специфичность реакции фотосинтеза хвойных на факторы среды // Лесоведение. 1999. № 5. С. 41–49.
15. Biondi F., Waikul K. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies // Computers and Geosciences. 2004. V. 30. № 3. P. 303–311.
16. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time series analysis: forecasting and control. 1976. Holden-Day, San Francisco. 575 p.
17. Briffa K.R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees // Quat. Sci. Rev. 2000. V. 19. P. 87–105.
18. Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H., Osborn T.J. Influence of volcanic eruption on Northern Hemisphere over the past 600 years // Nature. 1998. V. 393. P. 450–455.
19. Caccianiga M., Andreis C., Armiraglio S., Leonelli G., Pelfini M., Sala D. Climate continentality and treeline species distribution in the Alps // Plant Biosystems. 2008. V. 142. № 1. P. 66–78.
20. Chytrý M., Danihelka J., Ermakov N., Hájek M., Hájková P., Kočí M., Kubešová S., Lustyk P., Otýpková Z., Popov D., Roleček J., Řezníčková M., Šmarda P., Valachovič M. Plant species richness in continental southern Siberia: effects of pH and climate in the context of the species pool hypothesis // Glob. Ecol. Biogeogr. 2007. V. 16. № 5. P. 668–678.
21. Chytrý M., Danihelka J., Kubešová S., Lustyk P., Ermakov N., Hájek M., Hájková P., Kočí M., Otýpková Z., Roleček J., Řezníčková M., Šmarda P., Valachovič M., Popov D., Pišut I. Diversity of forest vegetation across a strong gradient of climatic continentality: Western Sayan Mountains, southern Siberia // Plant Ecology. V. 196. P. 61–83.
22. Cook E.R., Holmes R.L. ARSTAN: chronology development. In Grissino-Mayer HD, Holmes RL and Fritts HC (Eds.) Documentation to the International Tree ring Data Bank Program Library – Version 2.1. 1997.
23. Cook E., Kairiukstis L. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1990. 394 p.
24. Devi N., Hagedorn F., Moiseev P., Bugman H., Shiyatov S., Mazepa V., Rigling A. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century // Glob. Change Biol. 2008. V. 14. P. 1581–1591.
25. Driscoll D.M., Fong J.M.Y. Continentality: a basic climatic parameter re-examined // Int. J. Climatol. 1992. V. 12. P. 185–192.
26. Encyclopedia of World Climatology / Ed., John E. Oliver. Springer Dordrecht, Berlin, Heidelberg, New York 2005. 854 p. (Continentality indices – pp. 303–304).
27. Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability // Science. 2002. V. 295. P. 2250–2253.

28. Fang J., Lechowicz M.J. Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world // *Journal of Biogeography*. 2006. V. 33. P. 1804–1819.
29. Fillion L., Payette S., Gauthier L., Boutin Y. Light rings in subarctic conifers as a dendrochronological tool // *Quaternary Research*. 1986. V. 26. P. 272–279.
30. Fritts H.C. *Tree rings and climate*. Academic Press, New York, 1976. 567 p.
31. Gervais B.R., MacDonald G.M. Tree-ring and summer-temperature response to volcanic aerosol forcing at the northern tree-line, Kola Peninsula, Russia // *The Holocene*. 2001. V. 11. P. 499–505.
32. Giesecke T., Bjune A.E., Chiverrell R.C., Seppä H., Ojala A.E.K., Birks H.J.B. Exploring Holocene continentality changes in Fennoscandia using present and past tree distributions // *Quat. Sci. Rev.* 2008. V. 27. P. 1296–1308.
33. Girardin M.P., Tardif J.C., Epp B., Conciatori F. Frequency of cool summers in interior North America over the past three centuries // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. L07705.
34. Helama S., Lindholm M., Meriläinen J., Timonen M., Eronen M. Multicentennial ring-width chronologies of Scots pine along a north–south gradient across Finland // *Tree-Ring Research*. 2005. V. 61. P. 21–32.
35. Hofgaard A., Tardif J., Bergeron Y. Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest // *Can. J. Forest Res.* 1999. V. 29. P. 1333–1346.
36. Huang J., Tardif J.C., Bergeron Y., Denneler B., Berninger F., Girardin M.P. Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest // *Glob. Change Biol.* 2010. V. 16. P. 711–731.
37. Linderholm H. W., Solberg B. Ø., Lindholm M. Tree-ring records from central Fennoscandia: the relationship between tree growth and climate along a west–east transect // *The Holocene*. 2003. V. 13. № 6. P. 887–895.
38. Lough J.M., Holmes R.L. *Dendrochronology Program Library – Users Manual* Laboratory of Tree ring Research University of Arizona. Tucson, Arizona, USA. 1994. P. 41–42.
39. Mäkinen H., Nöjd P., Kahle H.P., Neumann U., Tveite B., Mielikäinen K., Röhle H., Spiecker H. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe // *For. Ecol. Manage.* 2002. V. 171. № 3. P. 243–259.
40. Miyamoto Y., Griesbauer H.P., Green D.S. Growth responses of three coexisting conifer species to climate across wide geographic and climate ranges in Yukon and British Columbia // *For. Ecol. Manage.* 2010. V. 259. P. 514–523.
41. Rinn F. *TSAP – Time Series Analysis and Precipitation*, Version 3. 1996. Heidelberg. 264 p.
42. Robock A. Volcanic eruptions and climate // *Reviews of Geophysics*. V. 38. №. 2. P. 191–219.
43. Vaganov E.A., Briffa K.R., Naurzbaev M.M., Schweingruber F.H., Shiyatov S.G., Shishov V.V. Long-term climatic changes in the Arctic region of the Northern Hemisphere // *Doklady Earth Sci.* 2000. V. 375. P. 1314–1317.
44. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // *J. Clim. Appl. Meteorol.* 1984. V. 23. P. 201–213.
45. Yamaguchi D. K., Fillion L., Savage M. Relationship of temperature and light ring formation at subarctic treeline and implications for climate reconstruction // *Quaternary Research*. 1993. V. 39. P. 256–262.
46. [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (последнее обращение – январь 2011).

## **Effect of the longitudinal temperature gradient on the Main Radial Growth of Forest Trees North-West Siberia**

**L.I. Agafonov, M.A. Gurskaya**

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences*

Influence of temperature longitudinal gradient on radial growth and light ring formation of spruce (*Picea obovata* Ledeb.) and larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in the north subzone of taiga forest in Western Siberia was studied. The influence was estimated by three parameters: statistical characteristics of tree-ring chronologies along the longitudinal gradient; relationship between tree-ring chronologies and air temperature; abnormal tree-ring structures (light rings). Spruce tree-ring chronologies show increasing response to air temperature along the longitudinal gradient from west to east. For larch tree-ring chronologies, increasing statistical values was found along the longitudinal gradient from west to east, but obvious changes of radial growth response in this direction were not found. Frequency and intensity of light ring formation do not depend on the longitudinal gradient in area under study. However, temperature difference between light ring years and non-light ring years decreases along the longitudinal gradient. We believe that the formation of light rings depends on local geographic and climatic conditions.