

УДК 574.23(571.121)+630*561.24

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОРОТКИХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ СЕЗОНОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ХРОНОЛОГИЯМ СВЕТЛЫХ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ¹

© 2013 г. М.А. Гурская, Л.И. Агафонов

Институт экологии растений и животных УрО РАН

Поступила в редакцию 27.09.2011 г.

Керны с деревьев лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) и ели (*Picea obovata* Ledeb.), произрастающие в долине нижнего течения р. Обь (65°15' с.ш. 65°29' в.д. – 66°38' с.ш. 66°20' в.д.), собраны на трех точках по направлению с севера на юг, для выявления светлых колец – годовичные слои прироста со светлой окраской, обусловленной нарушением процессов формирования поздней древесины, которые часто встречаются в экстремальных условиях произрастания. Получены видоспецифичные хронологии, которые использовали, чтобы изучить: 1) возможные причины, влияющие на образование светлых колец, и 2) реконструировать экстремальные климатические явления. Образование светлых колец в регионе нижней Оби в основном связано с необычно низкой средней температурой мая, июня и августа, но имеются различия между видами и по условиям местопроизрастания. Между 1880 и 2000 гг. было идентифицировано четыре года, когда формируются светлые кольца на всех местообитаниях у обоих видов, при этом у хронологий по лиственнице выявлено 11 общих лет, а у хронологий ели – пять. Множественный пошаговый линейный регрессионный анализ показал, что температуры мая и августа объясняют от 20 до 30% изменчивости количества светлых колец у ели, а мая или июня и августа 30–36% у лиственницы. Изучено влияние крупных извержений вулканов на формирование светлых колец в районе исследования.

Введение. Погодные экстремумы, такие как заморозки, засухи, короткое или холодное лето могут влиять на физиологические процессы, деревьев, на возобновление, рост и распространение деревьев, и, как следствие, на функционирование экосистем [19, 23]. Выявление следов таких неблагоприятных воздействий в прошлом – сложная задача из-за кратковременности таких явлений, недостатка климатических данных и небольшого количества письменных источников. Летние температуры могут быть реконструированы на основе древесно-кольцевых хронологий [4, 8, 12, 16, 31]. Однако краткосрочные экстремальные погодные явления могут наблюдаться и в благоприятные для роста деревьев годы. Известен один подход выявления интенсивных, но коротких по времени погодных явлений в годичных кольцах деревьев – это анализ изменений анатомического строения годичных колец, таких как морозобойные и светлые кольца. В высоких широтах и на верхних пределах распространения деревьев светлые кольца широко распространены и обычно формируются,

когда температура вегетационного сезона опускается ниже определенного порога [18, 36]. Кроме этого, светлые кольца формируются под влиянием сильных засух [27], дефолиации насекомыми [26], а также у очень старых и отмирающих деревьев [35]. Светлые кольца характеризуются либо слаболигнифицированной поздней древесиной, либо очень тонким слоем поздней древесины [15, 17, 27, 34].

На севере Западной Сибири заморозки и холодные вегетационные сезоны – наиболее частые экстремальные события, которые охватывают большие географические районы. В высоких широтах Сибири сеть метеорологических станций редка, а период наблюдений обычно начинается с 1930-х гг. и имеет много пропусков в наблюдениях, поэтому любые климатические реконструкции, основанные на других косвенных источниках информации о климате с разрешением сезон, месяц или одна-две недели, будут важным источником знаний об изменчивости климата в прошлом.

В настоящее время климатические реконструкции на основе ширины годичных колец в Западной Сибири были сделаны на верхней и

¹Работа выполнена при поддержке проектов Уральского отделения РАН № 12-С-4-1038, и № 12-П-4-1073.

полярной границе леса [10, 14, 21]. О погодных экстремумах в широтном градиенте температур в Западной Сибири нет достаточной информации. Поскольку эти явления могут значительно влиять на физиологические процессы в деревьях [19], то имеет смысл изучать их во всех районах, где мало данных по истории климата.

Цель работы состояла в том, чтобы 1) исследовать климатические условия образования светлых колец в широтном градиенте изменения климата на севере Западной Сибири; 2) выявить экстремальные годы, характерные для района исследования, когда происходило массовое образование светлых колец; 3) попытаться реконструировать короткие вегетационные сезоны на основе светлых колец.

Материалы и исследования. *Район исследования.* Район исследования расположен в долине нижнего течения р. Обь между $65^{\circ}15'$ с.ш. $65^{\circ}29'$ в.д. – $66^{\circ}38'$ с.ш. $66^{\circ}20'$ в.д. (рис. 1.) В течение 1996 и 2000 гг. керны хвойных деревьев ели сибирской и лиственницы сибирской возрастом от 60 до 300 лет были собраны на трех точках по долине реки в направлении с севера на юг. Точка 1 расположена на $66^{\circ}38'$ с.ш. $66^{\circ}20'$ в.д., 30 м высоты над у.м., в 10 км от русла реки, где собрано по 50 модельных деревьев каждого вида, произрастающих в смешанном елово-лиственничном редколесье. Точка 2 находится на $65^{\circ}41'$ с.ш. $64^{\circ}36'$ в.д., 10 м высоты над у.м., в 0.1 км от русла, где собрано 15 лиственниц и 14 елей, произрастающих в смешанном редкостойном лесу на песчаной косе. На точке 3 ($65^{\circ}15'$ с.ш. $65^{\circ}29'$ в.д., 30 м высота над у.м., 0.1 км от русла) собрано по 10 модельных деревьев каждого вида, произрастающих в смешанном лесу. Багульник, ольха, березка карликовая были отмечены в подлеске на всех точках, на точках 2 и 3 так же произрастал шиповник. Высота древостоя составила 15–17 м, средний диаметр варьировал в пределах от 25 см на точке 1 – до 46 см на точке 2.

Район исследования расположен в зоне распространения многолетней мерзлоты, глубина сезонно-талого слоя не превышает 50–150 см. Заморозки в прирусловой зоне р. Обь редки, но возможны в течение всего вегетационного сезона [1].

Климатические данные. Использовались данные по средней месячной температуре воздуха и суточные данные по минимальной температуре воздуха метеостанций Салехард (1882–2000) для точки 1 и Мужи (1932–2000) для точек 2 и 3 (рис. 1). Для периода 1901–2000 гг. данные взяты из климатической базы данных CRU TS 2.1 [37] для точек 2 и 3.

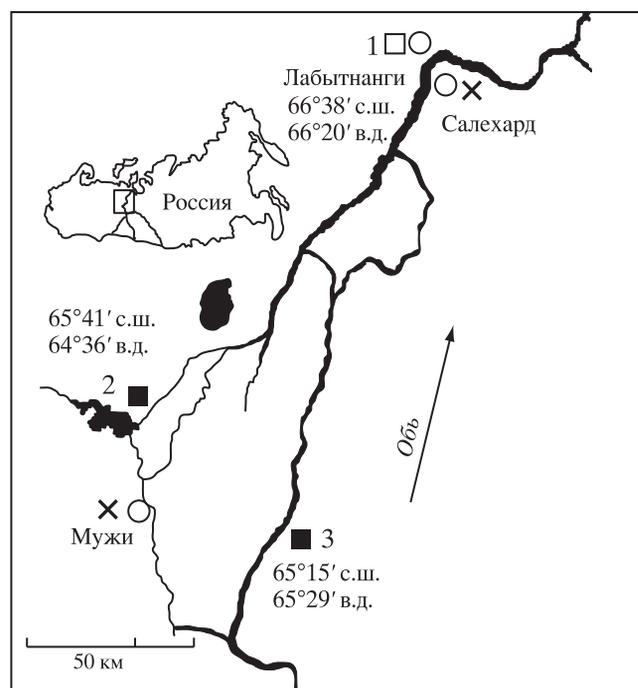


Рис. 1. Карта-схема района исследования. 1, 2, 3 и черные квадраты – точки сбора образцов, курсивом приведены координаты точек. X – метеостанции Салехард и Мужи.

Многолетняя средняя годовая температура по данным метеостанции Салехард составляет -6.3°C , температура июля $+14.1^{\circ}\text{C}$, и температура января -23.8°C . По метеостанции Мужи средняя годовая температура составляет -4.7°C , температура июля $+14.9^{\circ}\text{C}$ и температура января -22.1°C .

Светлые годовичные кольца деревьев. С каждого модельного дерева было взято по два противоположно ориентированных керна. Ширину годовичных колец измеряли с точностью 0.01 мм на измерительном комплексе Lintab III, календарный год формирования светлых колец определяли с помощью перекрестной датировки в программе TSAP 3.0 [28].

Светлые годовичные кольца (СК) идентифицировали под световым микроскопом по цвету, форме клеток и ширине поздней древесины, которые явно отличались от соседних годовичных слоев. У ели и лиственницы анализировали СК, как с узкой поздней древесиной, так и с широкой зоной поздней древесины и тонкостенными трахеидами (рис. 2.). Узкие кольца, состоящие из 1–2 рядов трахеид, были исключены из анализа СК, как сомнительные. Так же из анализа были исключены светлые кольца, которые формировались более десяти лет подряд на внешней периферии обрза у очень старых деревьев [35]. Хронологии

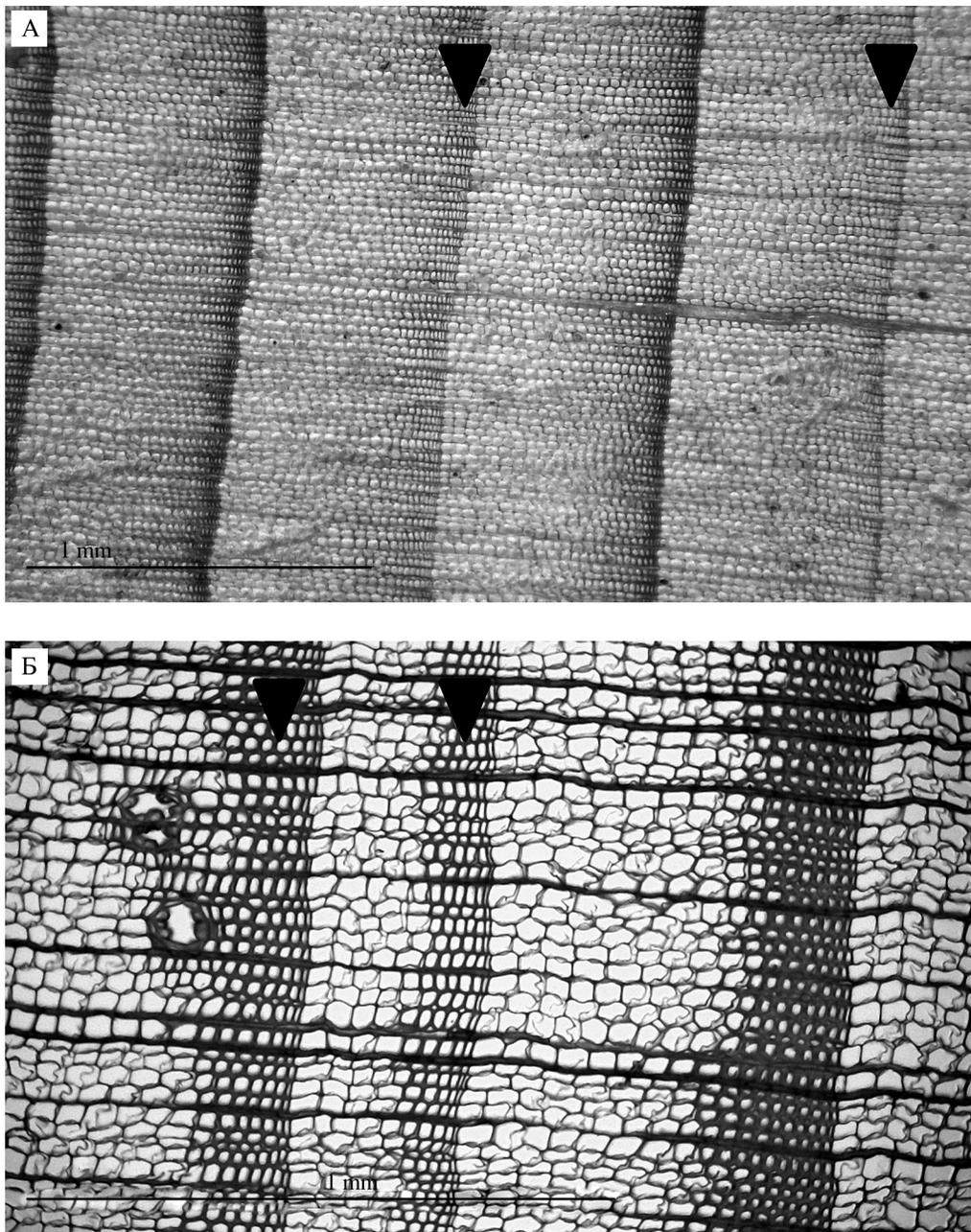


Рис. 2. Светлые кольца у ели и лиственницы. а – ель, увеличение $\times 80$, б – лиственница, увеличение $\times 150$.

СК были построены для каждого вида по каждой точке и выражены в процентах от общего количества колец у всех деревьев в данный год. С использованием пошаговой множественной линейной регрессии были выявлены связи с месячной температурой воздуха и осадками, чтобы определить климатический сигнал, содержащийся в светлых кольцах деревьев. Результаты анализа использовали, чтобы реконструировать условия, ведущие к образованию СК. Для верификации реконструированных данных использовали графическое сравнение инструментальных наблюдений

и реконструированных значений. Для выявления связи между образованием СК и крупными извержениями вулканов проведена оценка синхронности лет со светлыми кольцами, образовавшимися в год извержения и в период одного–трех лет, следующих после извержений с индексом вулканического извержения (VEI) ≥ 4 [5, 25, 30].

Результаты исследования. *Хронологии светлых колец.* Частота образования СК у ели снижается с севера на юг (в XX столетии 29, 14 и 11 лет со СК соответственно), а у лиственницы 24, 14 и 22 года со СК в XX в. соответственно. В целом

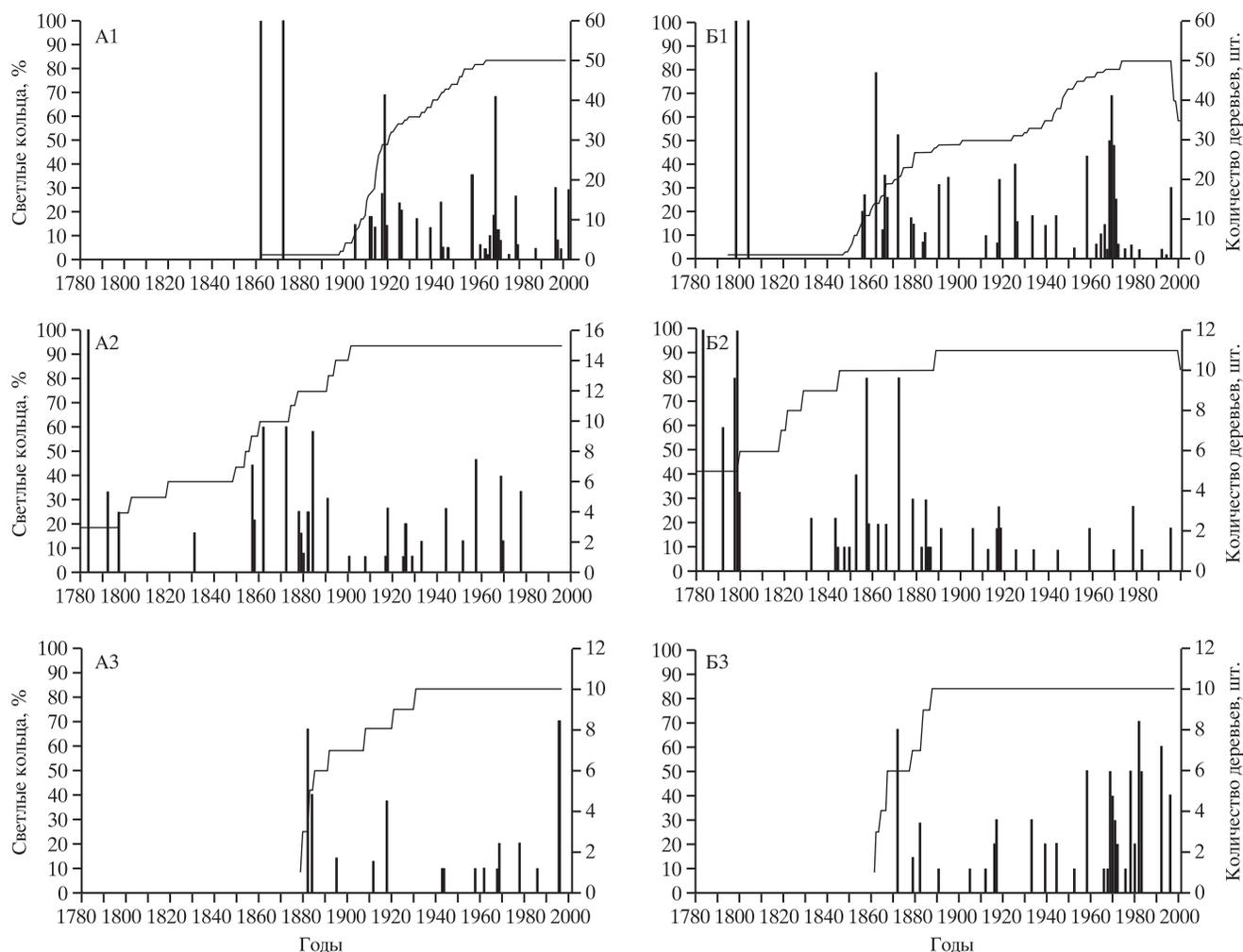


Рис. 3. Встречаемость светлых колец. а – ель, б – лиственница. 1, 2, 3 – точки сбора образцов.

СК формировались неравномерно на всех точках на протяжении XX столетия (рис. 3, табл. 1).

На точке 1 общие годы со СК у ели и лиственницы выявлены в: 1862, 1872, 1912, 1917, 1918, 1925, 1926, 1933, 1939, 1944, 1958, 1962, 1964, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1975, 1978, 1996 гг. На точке 2 общие годы выявлены в 1783, 1792, 1797, 1857, 1858, 1862, 1872, 1878, 1882, 1884, 1891, 1917, 1918, 1925, 1933, 1944, 1958, 1969, 1978 гг. На точке 3 – в 1882, 1912, 1944, 1958, 1968, 1969, 1978, 1996 (табл. 1).

Общий период для анализа образования СК на трех точках по еловым хронологиям составил 115 лет (1880–1996 гг.), и за это время выявлено пять общих лет с формированием СК – 1918, 1944, 1958, 1969 и 1978 гг. Эти годы характеризуются наибольшим процентом встречаемости СК в древесине ели. По лиственничным хронологиям за общий период 1860–2000 гг. выявлено 11 лет, когда светлые кольца образуются на всех трех

точках (1872, 1891, 1912, 1917, 1925, 1933, 1944, 1958, 1969, 1978 и 1982 гг.). Но только три года: 1872, 1891 и 1958 характеризуются массовым формированием СК в районе исследования.

Четыре года (1944, 1958, 1969 и 1978), когда формируются СК были общими на всех точках за период, охватываемый всеми хронологиями (1880–1996 гг.).

Ширина светлых и обычно окрашенных годовичных колец статистически не отличается на всех точках. У ели средняя ширина СК на точке 1 составила 0.67 ± 0.2 против 0.67 ± 0.2 мм у обычно окрашенных; на точке 2 – 0.70 ± 0.2 против 0.69 ± 0.2 мм; и на точке 3 – 0.90 ± 0.2 против 0.95 ± 0.2 мм. У лиственницы эти значения соответственно равны 0.52 ± 0.2 против 0.51 ± 0.2 мм на точке 1; 0.66 ± 0.2 против 0.60 ± 0.2 мм на точке 2; и 0.89 ± 0.2 против 1.13 ± 0.2 мм на точке 3.

Температурные условия формирования светлых колец за период 1901–2000 гг. У ели

Таблица 1. Годы формирования СК и крупных извержений вулканов: + – менее 15% проявлений СК, ++ – более 15% проявлений СК. Курсивом – формирование СК у 70% хронологий, серой заливкой – 100% присутствие СК на всех точках. * – данные по Hantemirov et al., 2004, Хантемиров и др., 2011. Используются принятые международные названия вулканов на английском языке [34]. В скобках указан VEI.

	Точка 1		Точка 2		Точка 3		Другие источники*	Извержение с VEI ≥ 4
	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е		
1783			++	++			+	1783 г. 8 июня, Grimsvotn 64°25'0" с.ш. 17°20'0" в.д.; (4+)
1792			++	++				1790 г. Ноябрь, Kilauea 19°25'16" с.ш. 155°17'12" з.д.; (4)
1797			++	++			+	1795 г., Westdahl 54°31'6" с.ш. 164°39'0" з.д.; (4)
1798	+		+					1795 г., Westdahl (4)
1799			++				+	1795 г., Westdahl (4)
1804	++							
1831				++				1831 г., Babuyan Claro 19°31'24" с.ш. 121°56'24" з.д.; (4?)
1832			++					1831 г., Babuyan Claro (4?)
1843			++					
1844			+					
1847			+					
1849			+					
1852			++					
1856	++							1854 г. 18 февраля, Shiveluch 56°39'12" с.ш. 161°21'36" в.д.; (4)
1857	++		++	++			+	1857 г. 15 января, Fuego 14°28'22" с.ш. 90°52'49" з.д.; (4?)
1858			++	++				1857 г. 15 января, Fuego (4?)
1862	++	++	++	++			+	1861 г. 28 декабря, Makian 0°19'0" с.ш. 127°24'0" в.д.; (4?)
1865	+							1861 г. 28 декабря, Makian (4?)
1866	++		++					
1867	++						+	
1872	++	++	++	++	++		+	1872 г. 15 апреля, Merapi 7°32'30" ю.ш. 110°26'30" в.д.; (4)
1878	++		++	++				1875 г. 29 марта, Askja 65°2'0" с.ш. 16°45'0 з.д.; (5)
								1877 г. 26 июня, Cotopaxi 0°40'38" ю.ш. 78°26'10" з.д.; (4)
1879	+			++	+		+	1877 г. 26 июня, Cotopaxi (4)
1880				+				1880 г. 28 июня, Fuego (4?)
1882			+	++	++	++	+	1880 г. 28 июня, Fuego (4?)
1883	+							
1884	+		++	++		++	+	1883 г. 27 августа, Krakatau 6°6'6" ю.ш. 105°25'22" в.д.; (6)
1885			+				+	1883 г. 27 августа, Krakatau (6)
1886			+					1883 г. 27 августа, Krakatau (6)
1891	++		++	++	+		+	1890 г. 16 февраля, Colima 19°30'50" с.ш. 103°37'0" з.д.; (4)
1895	++					+		
1901				+				
1905		+	++		+			1902 г. 24 октября, Santa Maria 14°45'21" с.ш. 91°33'6" з.д.; (6)
1908				+				
1912	+	++	+		+	+	+	1912 г. 6 июня, Novarupta 58°16'0" с.ш. 155°9'24" з.д.; (6)
1914		+						1912 г. 6 июня, Novarupta (6)
1916			++		++		+	1912 г. 6 июня, Novarupta (6)
1917	+	+	++	+	++		+	1917 г. 9 апреля, Agrigan 18°46'0" с.ш. 145°40'0" в.д.; (4)
1918	++	++	++	++		++		1918 г. 5 апреля, Tungurahua 1°28'1" ю.ш. 78°26'30" з.д.; (4+)
1919		+						1918 г. 5 апреля, Tungurahua (4 +)
1925	++	++	+	+	+			1924 г. 15 апреля, Raikoke 48°17'30" с.ш. 153°15'0" в.д.; (4); 1924 г. 31 октября, Iriomote-Jima 24°33'30" с.ш. 124°0'0" в.д.;(4?)

Таблица 1 (окончание)

	Точка 1		Точка 2		Точка 3		Другие источ- ники*	Извержение с VEI \geq 4
	Лц	Е	Лц	Е	Лц	Е		
1926	++	++		++				1924 г. 15 апреля, Raikoke (4); 1924 г. 31 октября, Iriomote-Jima (4?)
1929				+				
1933	++	++	+	+	++			1932 г. 10 апреля, Cerro Azul 35°39'12" ю.ш. 70°45'39" з.д.;(5+) 1933 г. 8 января, Kharimkotan 49°7'0" с.ш.154°30'30" в.д.; (5)
1939	+	+			++			1937 г. 29 мая, Rabaul 4°16'15" ю.ш. 152°12'10" в.д.; (4?)
1943						+		
1944	++	++	+	++	++	+		1943 г. 20 февраля, Michoacan-Guanajuato 19°51'0" с.ш. 101°45'0"з.д. (4)
1945		+						1943 г. 20 февраля, Michoacan-Guanajuato (4)
1947		+						
1952	+			+	+			1952 г. 29 февраля, Bagana 6°8'24"ю.ш. 155°11'42" в.д.; (4)
1958	++	++	++	++	++	+	+	1956 г. 30 марта, Bezumianny 55°58'42" с.ш. 160°35'12" в.д. (5)
1962	+	+				+		
1964	+	+						1963 г. 17 марта, Agung 8°20'30" ю.ш. 115°30'30" в.д.; (5)
1965		+						1963 г. 17 марта, Agung (5)
1966	+	+			+			1966 г. 26 апреля, Kelut 7°56'0"ю.ш. 112°18'30" в.д.; (4)
1967	+							1966 г. 26 апреля, Kelut (4)
1968	++	++			+	+	+	1968 г. 11 июня, Fernandina 0°22'0"ю.ш. 91°33'0" з.д.; (4)
1969	++	++	+	++	++	++		1968 г. 11 июня, Fernandina (4)
1970	++	+		+	++		+	1968 г. 11 июня, Fernandina (4)
1971	++	+			++			1968 г. 11 июня, Fernandina (4)
1972	+				++			1968 г. 11 июня, Fernandina (4)
1975	+	+						1973 г. 14 июля, Tiatia 44°21'3" с.ш. 146°15'23" в.д.; (4)
1976					+			
1978	+	++	++	++	++	++	+	1975 г. 6 июля, Tolbachik 55°49'48" с.ш. 160°19'48" в.д. (4+); 1976 г. 22 января, Augustine 59°21'48" с.ш. 153°26'0" з.д.; (4)
1979		+						1975 г. 6 июля, Tolbachik (4+); 1976 г. 22 января, Augustine (4)
1980					+		+	1980 г. 18 мая, St. Helens 46°12'0" с.ш. 122°11'0" з.д.; (5)
1982	+		+		++			1982 г. 3 апреля, El Chichon 17°21'36 с.ш. 93°13'40" з.д.; (5)
1983					++			1982 г. 28 марта, 3 апреля, El Chichon (5)
1986						+		
1987		+						
1992	+				++		+	1991 г. 15 июня, Pinatubo 15°8'0" с.ш. 120°21'0" в.д.; (6)
1994	+							1991 г. 15 июня, Pinatubo (6)
1995			++					
1996	++	++			++	++	+	1994 г. 19 сентября, Rabaul 4°16'15" ю.ш. 152°12'10" в.д.; (4?)
1997		+					+	1994 г. 19 сентября, Rabaul (4?)
1999		+						

результаты множественной линейной пошаговой регрессии показывают значимую отрицательную связь между средней температурой воздуха мая и августа и образованием СК. В направлении с севера на юг влияние майских температур на образование светлых колец

уменьшается, а на точке 3 оно статистически не значимо, но возрастает влияние августовских температур (рис. 4). В годы образования СК температура воздуха мая и августа в среднем ниже на 1.1–2.8 °С многолетних средних значений (табл. 2).

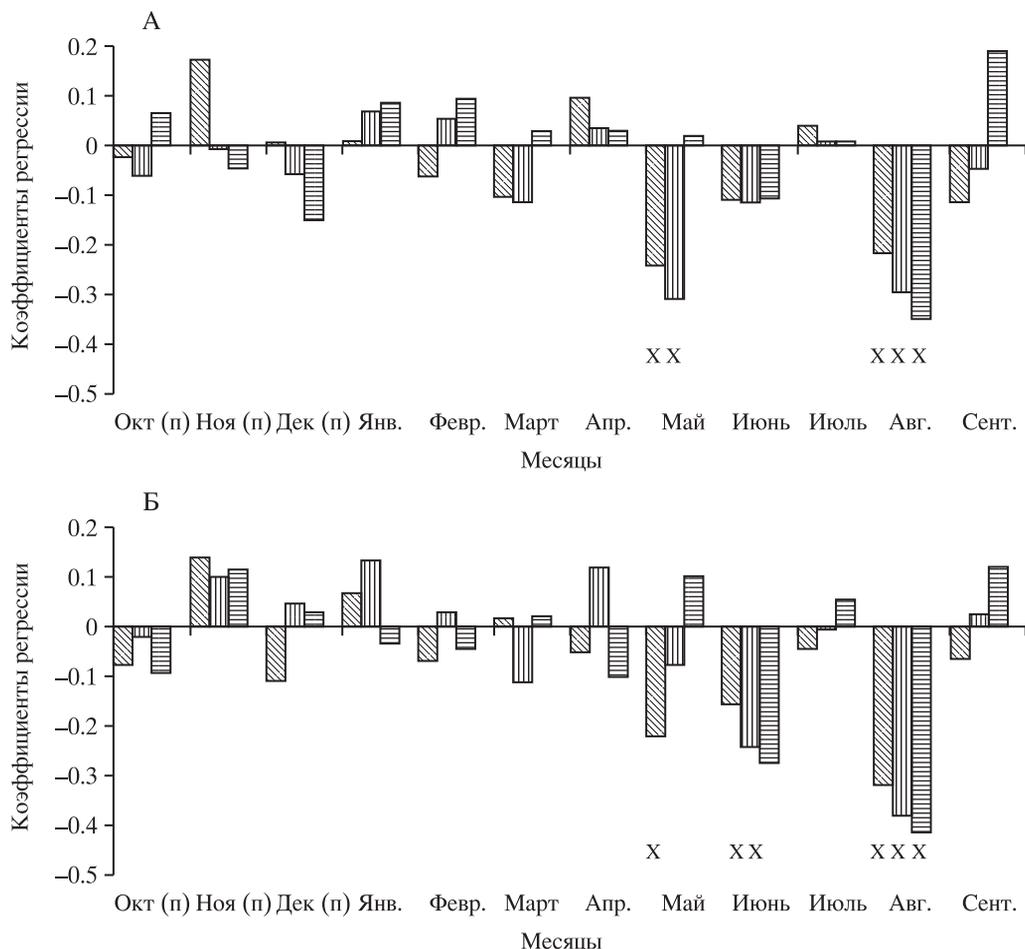


Рис. 4. Пошаговый линейный регрессионный анализ между долей светлых колец (%) и температурой воздуха. Знаком *x* отмечен уровень значимости $p < 0.05$. *a* – ель, *b* – лиственница. Косая штриховка – точка 1, вертикальная штриховка – точка 2, горизонтальная штриховка – точка 3. (п) – месяцы предыдущего года.

На точке 1 у лиственницы выявлена отрицательная связь с температурой мая и августа, а на точке 2 и 3 – с температурами июня и августа (рис. 4). Температура воздуха этих месяцев в годы формирования СК ниже средних многолетних значений на 1.7–2.2 °С (табл. 2).

Средняя месячная температура общих для ели и лиственницы четырех лет, когда формировались

СК, ниже средних многолетних на 2.7 °С в мае, на 2.3 °С в июне и на 2.0 °С в августе.

Особенности суточного хода минимальной температуры воздуха с мая по август рассмотрены на примере выделенных общих четырех лет. Данные суточных наблюдений за минимальной температурой мая–августа оказались полными только для двух лет: 1969 и 1978 гг. Для 1944 г.

Таблица 2. Средняя температура в годы (1) без формирования СК и (2) в годы формирования СК (1944, 1958, 1969, 1978 гг.) в районе исследования

	Ель						Лиственница					
	Точка 1		Точка 2		Точка 3		Точка 1		Точка 2		Точка 3	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Май	-1.3	-2.4	1.6	0.1	1.6	0.9	-1.0	-3.2	1.8	-1.0	1.9	0.8
Июнь	8.5	6.7	10.4	8.6	10.5	9.3	8.6	6.4	10.4	8.7	10.8	9.0
Июль	14.2	13.5	14.7	14.3	14.9	14.5	14.2	13.7	14.8	14.2	15.0	14.4
Август	15.5	10.4	11.8	9.8	11.9	10.1	11.8	9.5	11.9	9.7	12.2	10.3

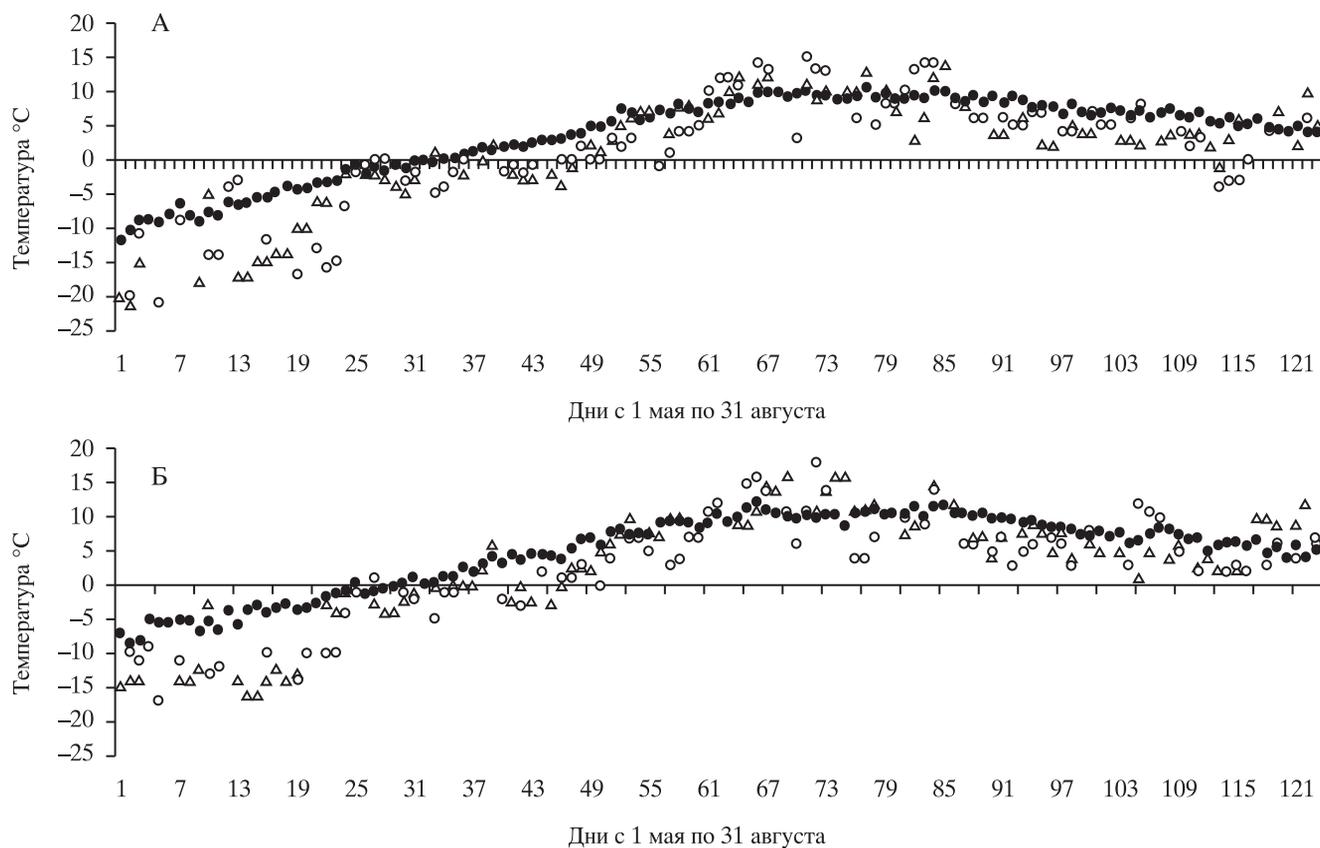


Рис. 5. Минимальные суточные температуры мая–августа. а – Салехард, б – Мужи. Черные кружки – средние многолетние значения; треугольники – 1969 г., кружки – 1978 г.

суточные данные отсутствуют, а для 1958 г. пропуски составили 90% от общего числа измерений на станции Мужи. В связи с этим проанализированы суточные минимальные температуры только 1969 и 1978 гг.

Начало вегетационного сезона, определяемого как устойчивый переход минимальной суточной температуры воздуха выше 0°C , по многолетним данным метеостанции Салехард наступает с 4-го июня. В 1969 г. переход минимальной суточной температуры выше 0°C наблюдался 12 июня, а в 1978 – 15. По данным метеостанции Мужи устойчивый переход минимальной температуры через 0°C приходится на 30 мая. В 1969 г. такой переход наблюдался 17 июня, а в 1978 г. – 14 июня. Таким образом, начало вегетационного сезона в эти годы произошло на 1–2 нед. позже средних многолетних значений.

Кроме позднего начала вегетационного сезона, минимальная суточная температура этих лет в мае, июне и августе была ниже средних многолетних значений, а в июле, наоборот, была выше средних многолетних значений (рис. 5). К тому же в июле 1969 и 1978 гг. отмечены кратковременные понижения температуры на 1–2 дня. Наиболее

сильные снижения температуры (около $+4^{\circ}\text{C}$) отмечены 22-го июля 1969 г. и 12-го июля 1978 г. на метеостанции Салехард и 15–16-го июля 1978 г. на метеостанции Мужи. При этом отрицательных значений минимальных температур или близких к 0°C , указывающих на заморозки в течение сезона вегетации, не наблюдалось. Однако не исключено, что эти экстремально низкие минимальные температуры также могли повлиять на образование светлых колец в районе исследования.

На основе коэффициентов пошагового линейного регрессионного анализа была выполнена реконструкция коротких вегетационных сезонов (рис. 6). На точке 1 количественная реконструкция низких температур мая и августа выполнена по ели и лиственнице, так как для этих месяцев получены значимые коэффициенты регрессии у обоих видов. Для точек 2 и 3 в реконструкции использованы температуры июня и августа. Хронология по ели с точки 2 была использована самостоятельно для реконструкции средней температуры мая, июня и августа. На точке 3 температурный сигнал августа, содержащийся в еловой хронологии, оказался слабым и, согласно коэффициенту детерминации полученного ли-

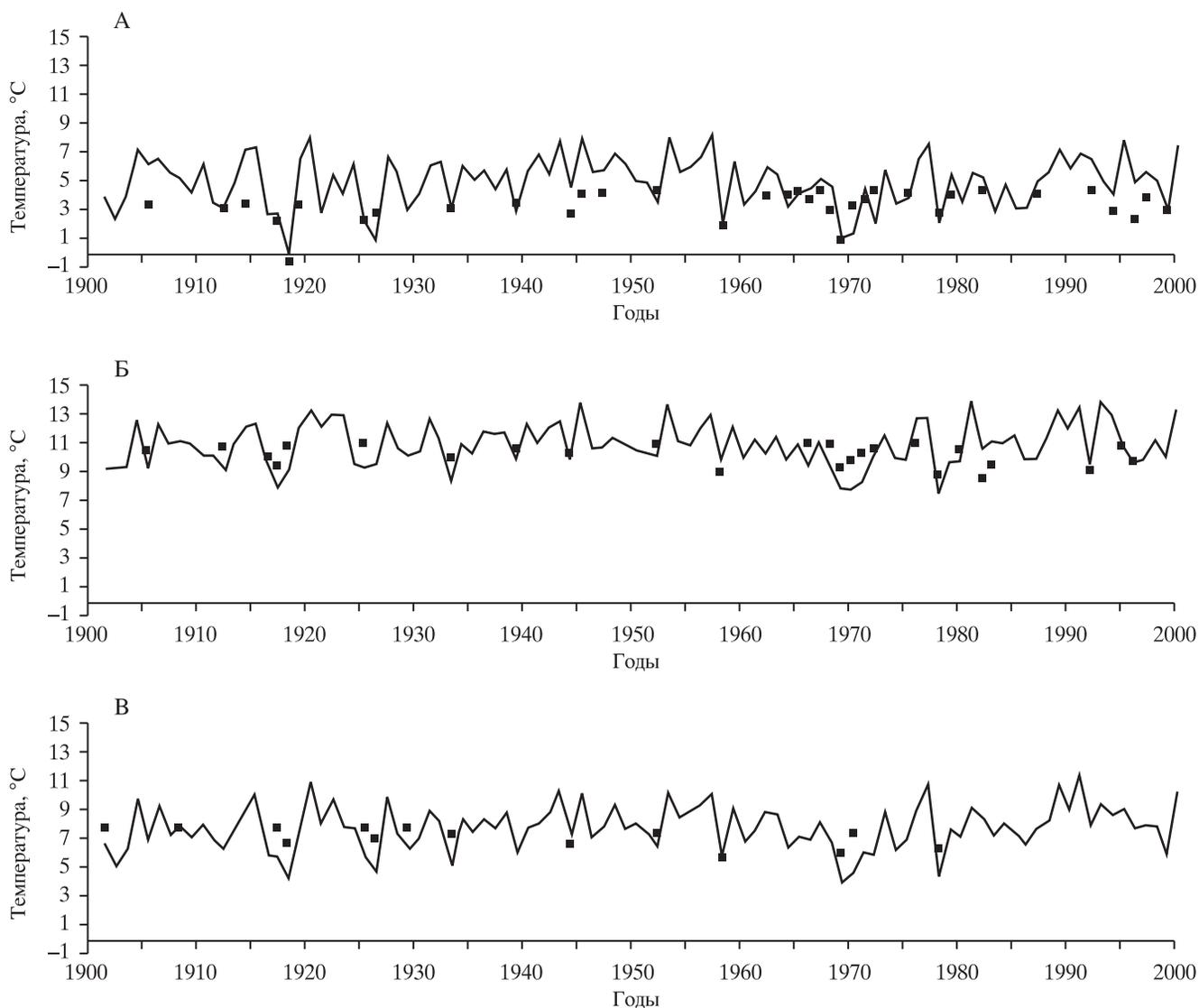


Рис. 6. Верификация реконструкции температуры по светлым кольцам. ($p < 0.05$). *a* – реконструкция по ели и лиственнице средней температуры мая и августа (метеостанция Салехард), $T = 44.3 - 0.11 * SK_{ли} - 0.6 * SK_{е}$, $R^2 = 0.45$; *b* – реконструкция по лиственнице средней температуры июня и августа (усредненные температурные данные по координатам $65^{\circ}25'$ с.ш. $64^{\circ}75'$ в.д. и $65^{\circ}25'$ с.ш. $65^{\circ}25'$ в.д.), $T = 112.9 - 0.28 * SK_2 - 0.36 * SK_3$, $R^2 = 0.30$; *В* – реконструкция по ели средней температуры мая, июня и августа (данные по координатам $65^{\circ}25'$ с.ш. $64^{\circ}75'$ в.д.), $T = 79.8 - 0.51 * SK_e$, $R^2 = 0.26$.

нейного уравнения, вариабельность количества СК объясняет здесь только 10% изменчивости температуры августа. Поэтому ель на точке 3 была исключена из дальнейшего количественного анализа температуры коротких вегетационных сезонов.

Короткие вегетационные сезоны Нижней Оби периода 1780–2000 гг., реконструированные по светлым кольцам. Согласно полученным в работе результатам в годы образования СК продолжительность вегетационного сезона становится экстремально короткой – меньше 4–5 нед. Следовательно, образование СК указывает на короткие вегетационные сезоны.

По полученным хронологиям выявляются годы, когда формирование СК наблюдается у большинства деревьев почти на всех точках. Реконструкции коротких вегетационных периодов были сделаны для лет, когда СК были выявлены у 70–100% хронологий (табл. 1).

Вероятно, в 1783, 1792, 1797, 1857, 1862, 1872, 1878, 1879, 1882, 1884, 1891, 1912, 1917, 1918, 1925, 1926, 1933 гг. начало вегетационного сезона задерживалось на 1–2 нед., при этом средняя температура мая была ниже средних многолетних на 2–5 °С, а в июне – ниже на 0.5–2 °С. Июль, вероятно, был достаточно теплым и погодные условия позволили сформироваться годичному кольцу.

Процесс созревания поздней древесины заканчивался в августе, когда температура опускалась ниже средних многолетних значений. Возможно, что в конце июля наблюдались кратковременные (на 1–2 дня) понижения минимальной температуры воздуха ниже +4 °С и случались ранние осенние заморозки.

В последующие годы с массовым образованием СК, а именно 1944, 1958, 1968, 1969, 1970 и 1978, имеются инструментальные наблюдения на метеостанциях Салехард и Мужы. Усредненные значения средних температур мая, июня, июля и августа этих лет приведены в табл. 2. Данные показывают, что средняя температура мая и июня в годы, когда формируются СК у лиственницы, ниже на 1–2 °С и на 2 °С в годы, когда формируются СК у ели. Август холоднее на 2 °С, а на точке 1 – на 5 °С в годы, когда формируются СК у лиственницы. Средняя температура июля ниже на 0.5 °С в годы, когда формируются СК независимо от видовой принадлежности и точки сбора образцов.

Обсуждение. Образование СК типично для лесотундровых экосистем [6, 15, 18], но в данном исследовании показано, что СК формируются и южнее, в зоне северной тайги, и даже в интразональных условиях речных долин. При движении с севера на юг до 65 °с.ш. частота температурных условий, ведущих к формированию СК, снижается. К югу от 65 °с.ш. температурный сигнал в СК становится менее выраженным.

Формирование СК согласуется с моделью роста годовых колец хвойных Ваганова–Шашкина [3]. Существуют температурные условия и пороги температур воздуха в течение вегетационного периода, которые ведут к образованию СК в древесине хвойных деревьев в районе исследования. Основными погодными условиями, влияющими на формирование СК, являются холодные май и июнь, задержка начала вегетационного сезона на 1–2 нед., а также холодное окончание вегетационного сезона. Температура воздуха мая и августа должна быть ниже средних многолетних на 2° и более градусов, а июня на 1 °С и более. При этом середина сезона вегетации, приходящаяся на июль, остается достаточно теплой, что позволяет сформировать нормальной ширины годовое кольцо.

Одной из причин, влияющих на формирование СК в районе исследования, могло быть влияние высокой или низкой водности р. Обь в начале вегетационного сезона. Известны данные о годах с высокой и низкой водностью в XX в. [2, 7]. Годы с высокой водностью в долине средней и Нижней

Оби были в 1902, 1903, 1914, 1925, 1937, 1941, 1948, 1960, 1966, 1969–1971, 1979, 1984 и 1985 гг. Годы с низкой водностью отмечены в 1945, 1963, 1964, 1967, 1968, 1976, 1981, 1982 и 1989 гг.

Можно отметить совпадение высокой водности и образования СК у лиственницы в 1925 и 1969 гг., но это совпадение скорее было случайным, так как в остальные годы влияние низкой или высокой водности на формирование СК не подтвердилось. Таким образом, можно утверждать, что образование СК в долине Нижней Оби не связано с годами, характеризующимися высокой или низкой водностью.

Образование СК в районе исследования может быть сопряжено с такими явлениями, как крупные извержения вулканов, которые могли оказать влияние на погодные условия и климат. Извержения вулканов с $VEI \geq 4$ характеризуются несколькими параметрами, из которых основными будут объем выбросов больше 1×10^8 м³, высота столба пепла выше 10 км над уровнем моря и длительность извержения более 12 ч [33, 38]. В XX в. 8 крупных извержений с $VEI \geq 5$ и 11 извержений с $VEI \geq 4$ в 35 случаях (с учетом 1–3 лет, следующих после извержения вулкана) могли привести к формированию СК в районе исследования, а 10 случаев с небольшим количеством проявлений светлых колец остаются без связи с вулканической активностью. В XIX в. 8 извержений с $VEI \geq 4$, могли вероятно, повлиять на образование СК в древесине хвойных деревьев в 12 случаях, а после двух извержений с $VEI \geq 5$ наблюдалось массовое формирование СК в последующие три года (табл. 1).

Следует заметить, что за период, представленный в данной работе хронологиями СК, было отмечено еще девять случаев сильных извержений вулканов с $VEI \geq 5$: Тамбора (1815), Галунгунг (1822), Косигуина (1835), Окатаина (1886), Ксудач (1907), Колима (1913), Агунг (1963), Святой Елены (1980) и Пинатубо (1992) [33]. Эти извержения оказали сильное влияние на погодные условия Северного полушария [29], но не привели к массовому образованию СК в регионе Нижней Оби. Вероятно, это связано с тем, что в эти годы в районе исследования наблюдались экстремально холодные вегетационные сезоны, когда происходило формирование очень узких колец, состоящих из 1–3 рядов трахеид, которые были исключены из анализа. Большинство работ по реконструкциям температуры лета северного полушария показали, что в годы, следующие за этими сильными извержениями (например, в 1815, 1816, 1818 гг.), наблюдается снижение годового прироста [5, 9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Отсутствие СК в годы, следующие за крупными извержениями вулканов, предполагает существование температурного порога, когда образование СК прекращается в экстремально холодные сезоны, а вместо СК могут формироваться очень узкие и выпадающие кольца [5, 18, 31].

Другой причиной отсутствия СК в районе исследования после сильных извержений может быть то, что циркуляция атмосферы в районе исследования характеризовалась вторжением более теплых воздушных масс с юга по долине русла р. Обь, что благоприятно сказывалось на условиях вегетационного сезона и процессе формирования годовых колец.

Реконструкции погодных условий (начало вегетации, отклонения температуры, продолжительность вегетационного сезона) лет с СК соответствуют выполненным реконструкциям температуры по ширине годовых колец и по максимальной плотности поздней древесины в Фенноскандии [11], Северной Евразии [24, 31, 32], Уральских гор и полуострова Ямал [20]. Большинство температурных экстремумов, характерных для высоких широт Евразии, синхронны с годами, когда происходило образование светлых колец в древесине лиственницы и ели, произрастающих в районе исследования.

Заключение. По результатам выполненного исследования можно констатировать, что использование хронологий по светлым годовым кольцам дает возможность определения экстремальных погодных и климатических событий, таких как холодное начало и окончание вегетационного периода не только на полярном и верхнем пределе распространения деревьев, но и в условиях северной тайги.

С продвижением с севера на юг снижается частота лет с СК и интенсивность проявления СК у деревьев, а также изменяется влияние температуры воздуха летних месяцев, обуславливающих формирование СК. На $66^{\circ}38'$ с.ш. на образование СК у лиственницы и ели влияют температуры воздуха мая, июня и августа. На $65^{\circ}15'$ с.ш. СК лиственницы содержат сигнал температуры воздуха июня и августа. Для хронологий ели выявлен слабый температурный сигнал августа.

Светлые годовые кольца хвойных деревьев имеют большой потенциал для исследования экстремальных климатических явлений. Необходимы дальнейшие исследования причин и пороговых температур, влияющих на образование СК.

1. Агафонов Л.И., Гурская М.А. Влияние стока Нижней Оби на радиальный прирост деревьев // Лесоведение. 2010. № 4. С. 9–18.
2. Агафонов Л.И., Мазена В.С. Сток Оби и летняя температура воздуха на севере Западной Сибири // Изв. АН. Сер. геогр. 2001. № 1. С. 80–92.
3. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 245 с.
4. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годовых колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
5. Сидорова О.В., Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А. Отклик древесно-кольцевых хронологий Севера Евразии на мощные вулканические извержения // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. Т. 20. С. 59–72.
6. Хантемиров Р.М., Горланова Л.А., Сурков А.Ю., Шиятов С.Г. Экстремальные климатические события на Ямале за последние 4100 лет по дендрохронологическим данным // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 2. С. 89–102.
7. Хромых В.С. Динамика ландшафтов поймы Средней Оби // Вест. Том. Гос. ун-та. 2007. № 300. С. 223–229.
8. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса. М.: Наука, 1986. 136 с.
9. Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горланова Л.А. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской // Археология, этнография и антропология Евразии. 2002. № 9. С. 2–5.
10. Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H., Osborn T.J. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years // Nature. 1998. № 393. P. 450–455.
11. Briffa K.R., Bartholin T.S., Eckstein D., Jones P.D. et al. / A 1400-Year Tree-Ring Record of Summer Temperatures in Fennoscandia // Nature. 1990. № 346. P. 434–439.
12. Cook E.R., Briffa, K.R., Shiyatov, S.G., Mazepa, V.S. Tree-ring standardization and growth-trend estimation // Methods of dendrochronology – applications in the environmental science / Eds. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Kluwer, Dordrecht. 1990. P. 104–123.
13. Delwaide A., Filion L., Payette S. Spatiotemporal distribution of light rings in subarctic black spruce, Quebec // Canad. J. Forest Res. 1991. № 21. P. 1828–1832.
14. Esper J., Frank D., Büntgen U., Verstege A., Hantemirov R.M., Kirilyanov A.V. Trends and uncertainties in Siberian indicators of 20th century warming // Global Change Biology. 2010. № 16. P. 386–398.

15. *Filion L., Payette S., Gauthier L., Boutin Y.* Light rings in sub-arctic conifers as a dendrochronological tool // *Quaternary Res.* 1986. № 26. P. 272–279.
16. *Fritts H.C.* Tree rings and climate. The Blackburn Press, Caldwell. 2001. 567 p.
17. *Gindl W.* Climatic significance of light rings in timberline spruce, *Picea abies*, Austrian Alps // *Arctic Alpine Res.* 1999. № 31. P. 242–246.
18. *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. № 36. P. 5–11.
19. *Gu L., Hanson P.J., Mac Post W., Kaiser D.P., et al.* The 2007 eastern US spring freezes: Increased cold damage in a warming world? // *Biosci.* 2008. № 58. P. 253–262.
20. *Hantemirov R.M., Shiyatov S.G.* A continuous multi-millennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia // *Holocene.* 2002. № 12. P. 717–726.
21. *Hantemirov R.M., Gorlanova L.A., Shiyatov S.G.* Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since AD 742 inferred from tree rings // *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology.* 2004. № 209. P. 155–164.
22. *Jacoby G.C., Workman S.G., D'Arrigo R.D.* Laki eruption of 1783, tree rings, and disaster for northwest Alaska Inuit // *Quaternary Sci. Rev.* 1999. № 18. P. 1365–1371.
23. *Jentsch A., Kreyling J., Beierkuhnlein C.* A new generation of climate-change experiments: events, not trends // *Front. Ecol. Environment.* 2007. № 5. P. 365–374.
24. *Jones P.D., Moberg A.* Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 // *J. Climate.* 2003. № 16. P. 206–223.
25. *LaMarche Jr. V. C., Hirschboeck K. K.* Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions // *Nature.* 1984. № 307. P. 121–128.
26. *Liang C., Filion L. and Cournoyer L.* Wood structure of biotically and climatically induced light rings in eastern larch (*Larix laricina*) // *Canad. J. Forest Res.* 1997. № 27. P. 1538–1547
27. *Liang E.Y., Eckstein D.* Light rings in Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) in semiarid areas of north China and their palaeo-climatological potential // *New Phytolog.* 2006. № 171. P. 783–791.
28. *Rinn F.*, TSAP Time Series Analysis and Presentation Version 3.0 Reference Manual. 1996. 262 p.
29. *Robock A.* Volcanic eruptions and climate // *Rev. Geophys.* 2000. № 38. P. 191–219.
30. *Salzer M.W., Hughes M.K.* Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 years // *Quaternary Res.* 2007. № 67. P. 57–68.
31. *Shiyatov S.G., Mazepa V.S., Vaganov E.A., Schweingruber F.H.* Summer temperature variations reconstructed by tree-ring data at the polar timberline in Siberia // *Tree Rings, Environment Human.* / Eds. Dean J.S., Meko D.M., Swetnam T.W. Radiocarbon. Tucson. 1996. P. 61–70.
32. *Sidorova O.V., Vaganov E.A., Naurzbaev M.M., Shishov V.V. et al.* Regional features of the radial growth of larch in North Central Siberia according to millennial Tree-Ring chronologies // *Rus. J. Ecol.* 2007. № 38. P. 90–93.
33. *Simkin T., Siebert L.* Volcanoes of the World. Geoscience Press, Tucson. 1994. 349 p.
34. *Szeicz J.M.* White spruce light rings in northwestern Canada // *Arctic Alpine Res.* 1996. № 28. C. 184–189.
35. *Volney W.J.A., Mallett K.I.* Light rings and the age of jack pine trees // *Canad. J. Forest Res.* 1992. № 22. P. 2011–2013.
36. *Yamaguchi D.K., Filion L., Savage M.* Relationship of temperature and light ring formation at subarctic treeline and implications for climate reconstruction // *Quaternary Res.* 1993. № 3. P. 252–262.
37. Climatic Research Unit URL: <http://www.cru.uea.ac.uk>
38. Global Volcanism Program URL: <http://www.volcano.si.edu>

Reconstruction of short vegetation Seasons at the north of western Siberia on chronology of circannual rings

M.A. Gurskaya, L.I. Agafonov

Institute of Plant and Animal Ecology, Urals Branch, Russian Academy of Sciences

Cores of larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and spruce (*Picea obovata* Ledeb.) were collected on three sites in Western Siberia along the Ob river (65°15' N 65°29' E – 66°38' N 66°20' E) to reveal light rings with purpose (1) to learn possible reasons to light ring formation along the Ob river and (2) to reconstruct extreme climatic events. In the study area the light-ring formation is connected with unusual low temperature of May, June, August, but conditions of light-ring formation are different between species and sites. The period 1880–2000 has 4 years with light rings in coniferous wood at all three sites. Larch light-ring chronologies have 11 common years and spruce chronologies have 5 years. Results of a multiple linear stepwise regression showed that May and June temperatures explain 20–30% of light ring variance in spruce, and May, June and August temperatures explain 30–36% of light ring variance in larch. Influence of big volcanic eruption to light-ring formation in the study area was investigated.