

Экстремальные климатические события в Республике Тыва по дендрохронологическим данным

В. В. БАРИНОВ¹, В. С. МЫГЛАН¹, А. В. ТАЙНИК¹, О. Ч. ОЙДУПА², Е. А. ВАГАНОВ¹

¹ Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: v.mygla@gmail.com

² Тувинский государственный университет
667000, Кызыл, ул. Ленина, 36
E-mail: nalro@yandex.ru

Статья поступила 02.09.2014

Принята к печати 20.01.2015

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты пространственного распределения аномалий (нарушений анатомической структуры годичного кольца) и выпадающих колец лиственницы сибирской на верхней границе леса в Республике Тыва. Пространственный анализ древесно-кольцевых хронологий шести участков (Монгун, Колчан, Тан, Дерзик, Кунгур, Тарис) позволил выделить экстремальные события локального (1662, 1699, 1792, 1804, 1814, 1821, 1847, 1867, 1993 гг.), регионального (1698, 1754, 1775, 1779, 1785, 1788, 1789, 1797, 1813, 1819, 1843, 1854, 1869, 1870, 1882, 1911, 1923 гг.) и межрегионального (1783, 1784, 1812, 1884 гг.) масштабов, последние хорошо согласуются с датами крупных вулканических извержений (вулканы Grimsvotn и Lakagigar, Soufriere St. Vincent, Krakatau) и информацией исторических источников.

Ключевые слова: верхняя граница леса, аномалии структуры годичного кольца, морозобойные кольца, климатические экстремумы, Республика Тыва.

Древесные кольца являются косвенным источником палеоклиматической информации с высоким погодичным (сезонным) разрешением, позволяющим выполнять реконструкции климатических изменений за длительные временные интервалы [Fritts, 1976]. Использование ширины годичного кольца в качестве индикатора климатической информации общепринято [Шиятов и др., 2000], однако данный параметр не является исчерпывающим. Объем получаемой информации может

быть существенно пополнен путем изучения аномальных структур годичных колец и выпадающих, выступающих индикаторами экстремальных климатических событий, таких как летние заморозки, многодневные снижения температуры воздуха в течение вегетационного периода, его раннее окончание [Fritts, 1976; Schweingruber, 1996; Хантемиров и др., 2000, 2011; Гурская, Шиятов, 2006; Горланова, Хантемиров, 2007; Гурская, Агафонов, 2013; Гурская, Бенькова, 2013; и

др.]. Проведение такой работы для территории Тывы впервые позволило построить хронологию экстремальных климатических событий и оценить их территориальный охват.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили керны с живых деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb), собранные в Республике Тыва с шести участков (рис. 1): Колчан (абсолютная высота 2170 м), Тан (2130 м), Дерзик (2060 м), Кунгур (2254 м) и с двух ранее обследованных участков Монгун (2280 м) и Тарис (2100 м). Длина заложенного трансекта по прямой между крайними точками (Монгун и Тарис) составила 587 км, а расстояние между участками колеблется в пределах от 108 до 201 км.

Пробные площади закладывались на склонах разной экспозиции, разреженности и плотности древостоя (сомкнутость дана по И. С. Мелехову [1980], число отобранных кернов приведено в табл. 1). Участок Монгун расположен на склоне северо-восточной экспозиции, древесная растительность представлена лиственницей сибирской. Керны брались с одиночных и отдельно расположенных групп деревьев, сомкнутость древостоя минимальная (0,1). Участок Колчан заложен на склоне южной экспозиции. Верхняя граница леса на пробной площади представлена подростом лиственницы и кедра, по этой причине образцы отбирались ниже, со старых деревьев, сомкнутость древостоя средняя (0,5). Участок Тан находится на склоне западной экспозиции. Образцы отбирались в кедрово-лиственничном древостое средней

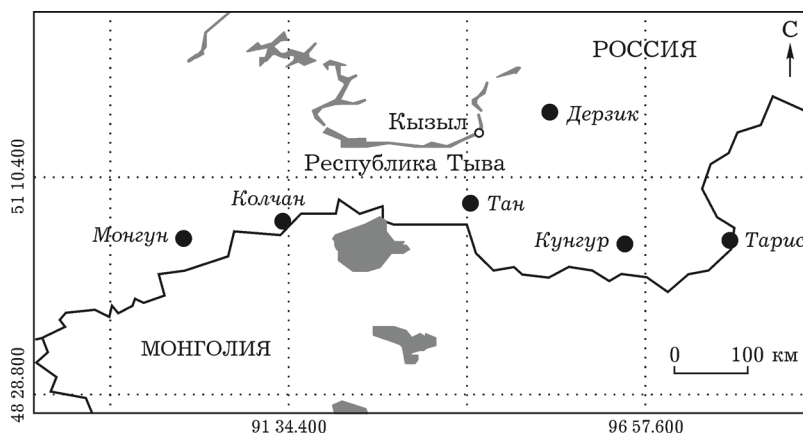


Рис. 1. Схема расположения участков сбора образцов

Т а б л и ц а 1
Данные по образцам участков

Участок	Протяженность дкх		Кол-во кернов	Аномальные структуры					Выпавшие кольца		
	длина	интервал		<i>f</i>	<i>l</i>	<i>fl</i>	<i>c</i>	всего	кол-во совпадений	всего	кол-во совпадений
Монгун	566	1447–2012	51	63	13	12	14	102	65	71	80
Колчан	440	1573–2012	29	21	1	5	6	33	61	27	48
Тан	600	1413–2012	19	12	3	3	2	20	70	36	11
Дерзик	482	1531–2012	16	37	3	2	2	44	30	36	67
Кунгур	601	1412–2012	15	11	0	3	3	17	12	24	67
Тарис	663	1345–2007	18	11	1	0	2	14	36	33	64

П р и м е ч а н и е. *f* – морозобойное кольцо, *fl* – флюктуация древесины, *l* – светлое кольцо, *c* – разлом.

сомкнутости (0,5). Участок Дерзик расположен на склоне северо-восточной экспозиции, образцы отбирались с одиночно стоящих деревьев и в разреженном кедрово-лиственничном древостое (сомкнутость 0,2). Участок Кунгур заложен на склоне северо-западной экспозиции. Верхнюю границу участка формирует подрост и молодые деревья возрастом до 150 лет, поэтому керны брались ниже в разреженном лиственничном древостое (сомкнутость 0,4). Участок Тарис расположен на склоне северо-западной экспозиции. Образцы отбирались в разреженном кедрово-лиственничном древостое (сомкнутость 0,4).

Отбор кернов производился по стандартной методике (на высоте 1,3 м от земной поверхности), образцы брались в разреженных древостоях и с отдельно растущих деревьев, где снижено фитоценоотическое влияние на формирование годичного кольца у деревьев [Шиятов и др., 2000]. Камеральная обработка и измерения ширины годичных колец выполнялись на полуавтоматической установке LINTAB (с точностью 0,01 мм). Серии датировались посредством сочетания графической перекрестной датировки [Douglass, 1919] и кросс-корреляционного анализа (в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL [Holmes, 1983] и TSAP V3.5 [Rinn, 1996]). Возрастной тренд удалялся классическим способом [Fritts, 1976] с использованием негативной экспоненты и сплайна в 2/3 длины от каждой серии в программе ARSTAN [Cook, Krusic, 2008]. В результате проведенной работы построено шесть древесно-кольцевых хронологий (дкх) для территории Республики Тыва: Монгун, Колчан, Тан, Дерзик, Кунгур, Тарис.

Для выявления нарушений структуры годичного кольца проведен визуальный осмотр кернов на микроскопе Stemi 2000-C (Carl Zeiss). Фиксация обнаруженной аномальной структуры (патологической структуры годичного кольца) достигалась нанесением отметки на поврежденное годичное кольцо. Для повышения надежности определения календарной даты и исключения ошибки выполнялось повторное измерение участка керна, содержащего это кольцо (20 лет до и 50 лет после), и последующая его перекрестная датировка. При поиске повреждений учитыва-

лись следующие типы аномальных структур [Шиятов и др., 2000]: морозобойное кольцо (*f*) – искаженная структура ксилемной ткани, поврежденной заморозком в сезон роста, когда формируются клетки ксилемы; флюктуация древесины (*fl*) – слой клеток в пределах годичного кольца, который выделяется из соседних слоев по форме, размеру, а также форме и толщине клеточной стенки; светлое кольцо (*l*) – зона поздней древесины годичного кольца с заметно слабой лигнификацией. Кроме того, нами выделен отдельный тип нарушения: разлом (*c*) – это, вероятно, морозобойное кольцо, слабые поврежденные клеточные стенки которого разрываются, не выдержав перепадов температур и механических деформаций ствола при жизни дерева (рис. 2, *в*, *г*). Рассмотрение дат образования, обнаруженных на образцах патологических смоляных ходов, не выявило закономерности в их распределении, вследствие чего они были исключены из дальнейшей работы. Выпавшие кольца (частично или полностью отсутствующие на радиальном срезе образца в связи с прекращением деятельности камбиального слоя) найдены при построении дкх по участкам исследования в процессе проведения графической перекрестной датировки и кросс-корреляционного анализа. Анализ выпавших колец проведен отдельно, поскольку в этих случаях отсутствует возможность оценить повреждения клеточной структуры.

Для уменьшения “шума”, связанного с учетом аномалий структуры годичного кольца, образовавшихся под действием локальных условий произрастания модельных деревьев, в работе не учитывались аномалии, приходящиеся на первые 20 лет жизни дерева, когда из-за тонкого теплоизоляционного слоя коры они получают повреждения даже при наступлении незначительных заморозков в вегетационный период [Быков, 2000]. Согласно исследованиям М. А. Гурской, С. Г. Шиятова [2006], основная часть морозобойных повреждений фиксируется на высоте ствола до 1 м. По этой причине для выделения наиболее сильных заморозков, при которых высота приземного слоя воздуха с отрицательными температурами достигает 4–7 м, керны желателно отбирать на высоте более 1 м от дневной поверхности. За крите-

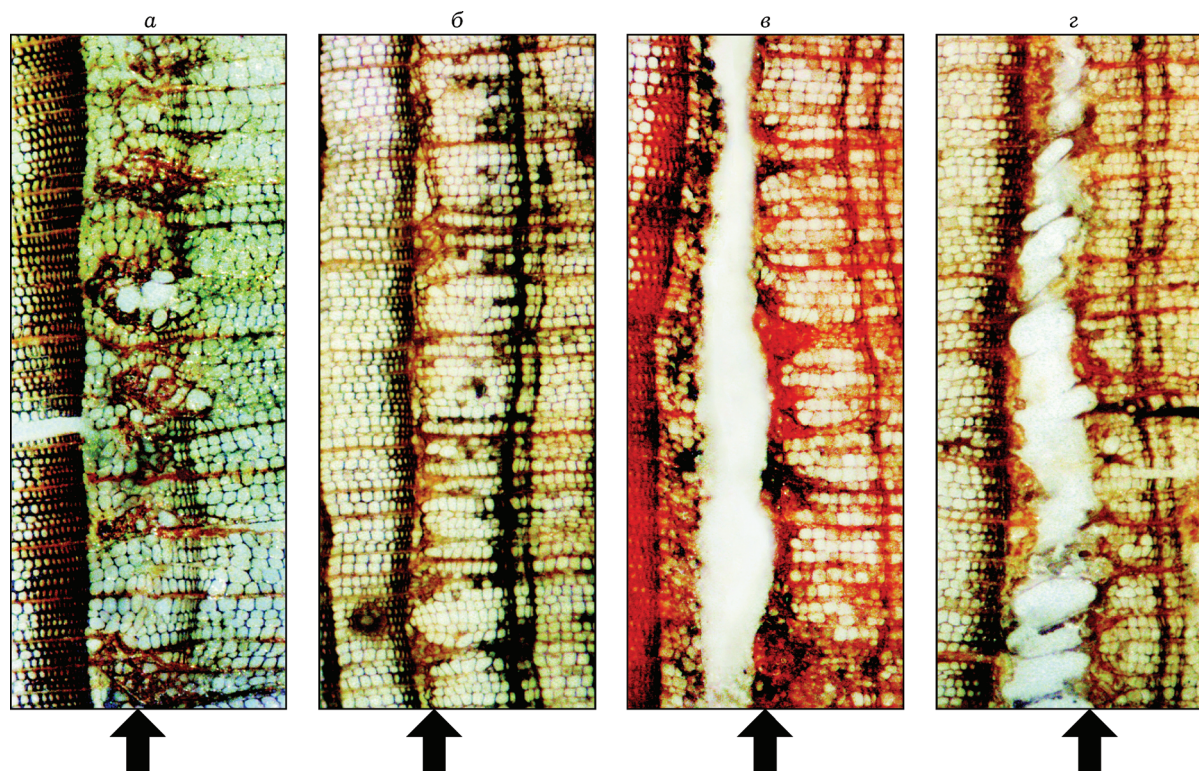


Рис. 2. Фотографии морозобойных колец, вызванных экстремальным событием 1783 г. Стрелочками обозначены морозобойные повреждения внутри годичного кольца: а – 35-е годичное кольцо образца тап 17; б – 90-е годичное кольцо образца тог 05; в – 153-е годичное кольцо образца тог 1; г – 197-е годичное кольцо образца кол 17. На в и г присутствуют разломы, проходящие по зоне нарушения клеточной структуры годичного кольца

рий выделения экстремальных событий на участке принято совпадение дат образования двух и более аномальных структур или выпавших колец в образцах на участке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенной работы на 148 древесных ядрах с шести участков выявлено 230 аномалий структуры (155f, 21l, 25fl, 29c) и 227 выпавших колец (см. табл. 1). Проведенные расчеты относительной встречаемости обнаруженных аномалий на исследуемых участках показали, что наблюдается тенденция, когда с понижением сомкнутости древостоя их количество на один образец повышается. Например, на участках Монгун и Дерзик с сомкнутостью древостоя 0,1 и 0,2 относительная встречаемость аномалий составляет 2 и 2,7 на образец, в то время как на остальных участках не превышает 1,1 (рис. 3). Анализ возраста образования ано-

малий показал, что 59 % повреждений появляется в первые 100 лет жизни дерева (цифра дана без учета аномалий, сформировавшихся в 20 первых кольцах образцов), 24 % повреждений фиксируется со 101 по 200, 9 % – с 201 по 300 кольцо и 8 % – в более позднем возрасте. Так, событие 1783 г. представлено морозобойными повреждениями, которые фиксируются в годичных кольцах деревьев в возрасте до 260 лет (см. рис. 2).

Наблюдаются расхождения по количеству совпадающих аномалий и выпадающих колец между западной и восточной частями Тывы. Если на участках Монгун, Колчан, Тан (Западная Тыва) 65 % обнаруженных аномалий имеют совпадения, то на участках Дерзик, Кунгур, Тарис (Восточная Тыва) количество совпадений составляет всего 26 % (см. табл. 1). По выпавшим кольцам прослеживается обратная закономерность. Наибольший процент совпадений (около 66 %) наблюдается в восточной части Тывы, в западной происходит умень-

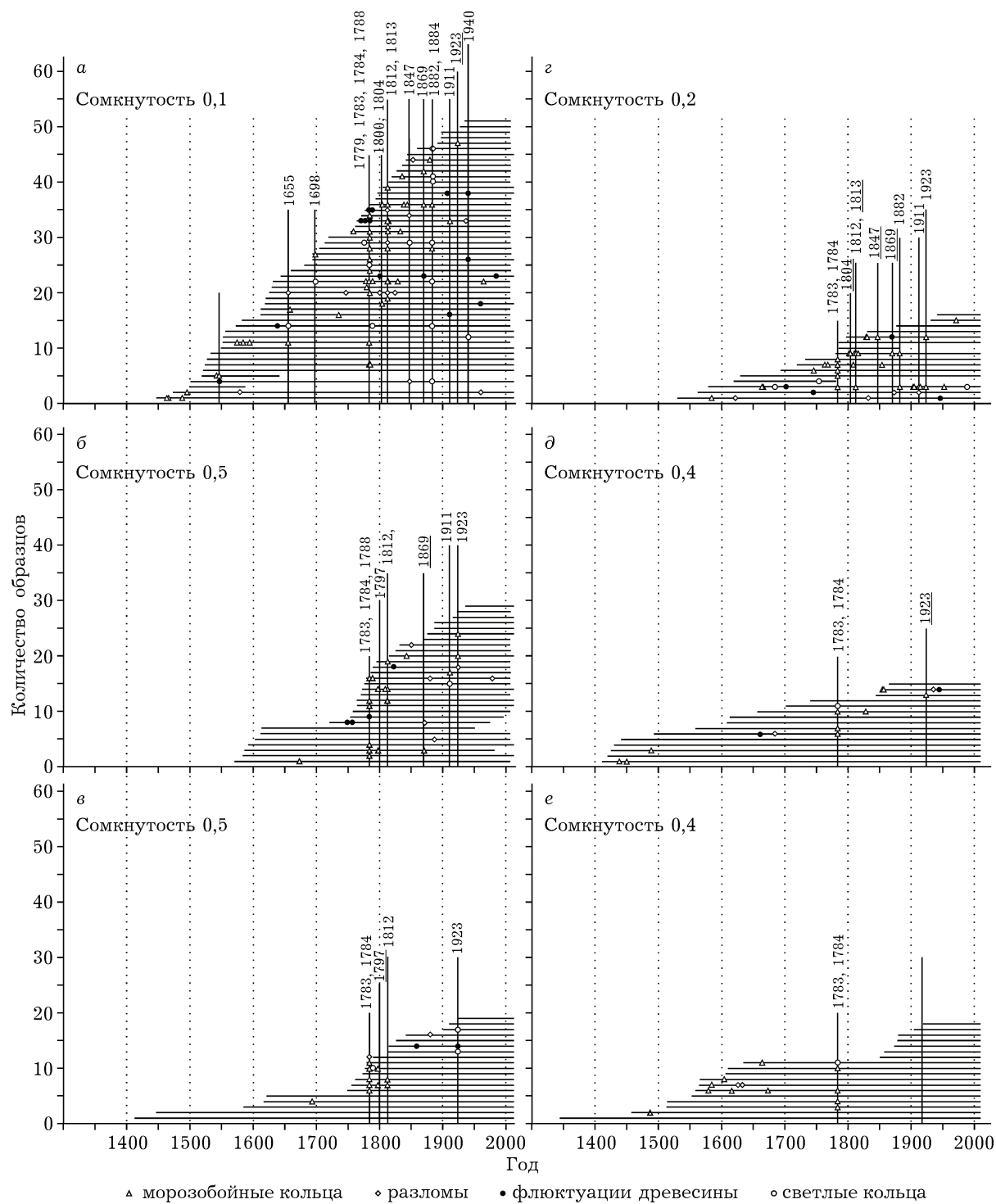


Рис. 3. График распределения аномальных структур древесины в хронологиях: а – Монгун; б – Колчан; в – Тан; г – Дерзиг; д – Кунгур; е – Тарис

шение числа совпадений, за исключением участка Монгун (80%). Пробная площадь Монгун является наиболее репрезентативной для территории Тывы, а наличие значительной коллекции образцов палеодревесины [Мыглан

и др., 2012] закладывает практическую основу для построения хронологии экстремальных климатических событий за последние 2000 лет.

Поиск двух и более совпадений внутри каждого участка позволил выявить даты,

обозначенные нами как экстремальные события (см. рис. 2). На участке Монгун выявлено 17 дат совпадений: 1546 (1f, 1fl), 1655 (1f, 1l, 1c), 1698 (1f, 1l), 1779 (1f, 1c), 1783 (6f, 2fl, 1l), 1784 (5f, 1fl), 1788 (1f, 1fl, 1l), 1800 (1fl, 1c), 1804 (2f), 1812 (7f, 3c), 1813 (3f), 1847 (1fl, 1l, 2c), 1869 (2f, 1l), 1882 (3f, 3l), 1884 (1f, 3l), 1911 (1f, 1fl), 1940 (2fl, 1l) гг. Из них 53 % составляют морозобойные и 20 % светлые кольца, 15 % – флюктуации древесины, 12 % – разломы. Морозобойные кольца фиксируются в 14 датах из 17. На участке Колчан определено восемь дат: 1783 (5f, 1fl), 1784 (2f), 1788 (2f), 1797 (2f), 1812 (3f), 1911 (1f, 1l), 1923 (2f, 1c) гг. Среди совпадающих аномалий структуры 85 % составляют морозобойные и 5 % светлые кольца, 5 % – флюктуации, 5 % – разломы. Морозобойные кольца присутствуют во всех датах совпадений. На участке Тан определено четыре даты: 1783 (4f), 1784 (4f, 1c), 1812 (2f), 1923 (2l, 1fl) гг. Среди совпадающих аномалий 71 % составляют морозобойные и 14 % светлые кольца, 7,5 % – флюктуации, 7,5 % – разломы, морозобойные кольца присутствуют в трех датах из четырех. На участке Дерзик обнаружено пять дат: 1783 (5f), 1812 (2f), 1882 (2f), 1911 (2f), 1923 (2f) гг. Все совпадающие аномалии представлены морозобойными кольцами. На участке Кунгур выявлен 1783 г., на который приходится два морозобойных кольца. На участке Тарис выявлено две даты: 1783 (2f, 1l) и 1784 (2f) гг. Таким образом, можно предположить, что именно резкие падения температуры воздуха, сопровождающиеся образованием морозобойных колец, приводят к появлению светлых колец, флюктуаций и разломов.

Анализ соотношения типов совпадающих аномалий на участках выявил, что 67 % составляют морозобойные кольца, 13,5 % – светлые кольца, 11 % – флюктуации древесины, 8,5 % – разломы. Из 36 выделенных дат совпадений только в четырех случаях не отмечено морозобойных колец. Детальный анализ этих дат показал, что в трех из них экстремальные события 1847 (1fl, 1l, 2c) и 1940 (2fl, 1l) гг. на участке Монгун и 1923 (2l, 1fl) г. на участке Тан прослеживаются на других пробных площадях, где они представлены морозобойными кольцами. Четвертый случай в 1800 (1fl, 1c) г. на участ-

ке Монгун, вероятно, имеет локальный характер.

Для получения картины территориального охвата Тывы экстремальными событиями по аномалиям структуры годичных колец выделены события, отмечающиеся на двух и более участках (табл. 2). Для уточнения границ пространственного распределения экстремальных событий привлекались сведения о единичных морозобойных кольцах. Примером может являться 1923 г., когда на каждом из трех участков (Колчан, Тан, Дерзик) обнаружено по три аномалии, а на участке Кунгур присутствует единичное морозобойное кольцо, это позволяет говорить, что сильный заморозок охватил не только центральную, но и юго-восточную часть Тывы. Всего в ходе проведенной работы выделено 13 событий, отмечающихся на двух и более пробных площадях: 1698, 1779, 1783, 1784, 1788, 1804, 1812, 1813, 1847, 1869, 1882, 1911, 1923 гг. (см. рис. 2; табл. 2).

Анализ выпадающих колец выполнялся по аналогичной схеме. За даты экстремальных событий приняты совпадения двух и более выпавших колец на одном участке (количество совпадений дается в круглых скобках после года экстремального события). На участке Монгун выявлено 15 дат: 1656 (2), 1662 (2), 1699 (5), 1736 (5), 1775 (2), 1784 (6), 1785 (4), 1788 (6), 1792 (2), 1813 (7), 1814 (3), 1819 (3), 1883 (2), 1884 (8), 1911 (2) гг. На участке Колчан – пять дат: 1843 (2), 1882 (3), 1884 (3), 1911 (2), 1993 (3) гг. На участке Тан – две даты: 1870 (2) и 1963 (2) гг. На участке Дерзик выявлено 15 дат: 1789 (2), 1797 (2), 1800 (2), 1807 (2), 1843 (2), 1854 (2), 1867 (2), 1882 (2), 1884 (2) гг. На участке Кунгур – семь дат: 1684 (2), 1747 (2), 1750 (3), 1754 (3), 1821 (2), 1870 (2), 1884 (2) гг. На участке Тарис определено восемь дат: 1785 (2), 1788 (2), 1789 (2), 1854 (3), 1867 (3), 1870 (4), 1884 (3), 1987 (2) гг.

Для получения картины охвата территории Тывы экстремальными событиями по выпавшим кольцам годы, которые характеризуются наличием совпадения двух и более выпадающих колец внутри участков, сведены в табл. 2. В результате выделен 1884 г., проявившийся на большем числе участков. По аналогии с анализом аномалий для восполнения полной картины территориального охвата таблица дополнена информацией о еди-

Даты совпадения аномалий структуры годичного кольца и выпавших колец на исследуемых участках в Республике Тыва

Аномальные структуры					Выпавшие кольца								
Монгун	Колчан	Тан	Дерзик	Кунгур	Тарис	Год	ЗЭС	Монгун	Колчан	Тан	Дерзик	Кунгур	Тарис
2	1		1			1662	•	2	1				
						1698	••						
						1699	•	5	1				
						1754	••	1	1			3	
						1775	••	2		1	1		
2	1	1				1779	••						
9	6	4	5	2	3	1783	•••						
6	2	5		1	2	1784	•••						
						1785	••	4	1		1		
3	1					1788	••	6		1	1		2
						1789	••	1			2		2
						1792	•	2		1			
						1797	••	1		1	2		
2			1			1804	•						
10	3	2	2			1812	•••						
3			1			1813	••	7			1	1	
						1814	•	3			1		
						1819	••	3			1		1
						1821	•				1	2	
						1843	••		2		2	1	1
4			1			1847	•						
						1854	••	1		1	2		3
						1867	••			1	2		3
3	1		1			1869	••						
						1870	••			2	1		4
6			2			1882	••	1	3	1	2		
						1884	•••	8	3	1	2	2	3
2			2			1911	••	2	2	1			
						1923	••						
	3	3	3	1		1993	•		3				1

П р и м е ч а н и е. Цифрами в колонках указано количество аномальных структур и выпавших колец (шт.): ЗЭС – значимость экстремального события; ••• – межрегиональное значение (совпадения отмечены на четырех и более участках без учета единичных случаев); •• – региональное значение (на трех и более участках с учетом единичных случаев); • – локальное значение (на двух участках с учетом единичных случаев).

ничных выпадающих колец (например, 1870 г.). Всего выделено 21 событие, отмечающееся больше чем на одном участке: 1662, 1699, 1754, 1775, 1785, 1788, 1789, 1792, 1797, 1813, 1814, 1819, 1821, 1843, 1854, 1867, 1870, 1882, 1884, 1911, 1993 гг.

При дальнейшем анализе полученные даты разделяли на события межрегионального, регионального и локального характера (критерии их выделения даны в примечании к табл. 2). Выделяются четыре экстремальных климатических события межрегионального значения, пришедшиеся на 1783, 1784, 1812, 1884 гг. Кроме того, выявлено 17 событий регионального масштаба (1698, 1754, 1775, 1779, 1785, 1788, 1789, 1797, 1813, 1819, 1843, 1854, 1869, 1870, 1882, 1911, 1923 гг.) и девять событий местного значения (1662, 1699, 1792, 1804, 1814, 1821, 1847, 1867, 1993 гг.) (см. табл. 2). В Алтае-Саянской горной стране на годы экстремальных событий межрегионального характера приходятся выраженные депрессии прироста. Часто крупные депрессии прироста объясняют реакцией древесных растений на снижение средней годовой температуры вследствие сильных вулканических извержений [LaMarche, Hirschboeck, 1984; Gervais, MacDonald, 2001; Ваганов, Шиятов, 2005; Salzer, Hughes, 2007; Anchukaitis et al., 2012; D'Arrigo et al., 2013; и др.]. Проведенное сопоставление выделенных событий регионального масштаба и данных Global Volcanism Program (<http://www.volcano.si.edu/>) об извержениях вулканов с индексом VEI 4 и выше выявило их совпадение. В 1783 г. произошло мощное извержение вулканов Grimsvotn и Lakagigar (VEI 4) на юге Исландии. По историческим данным, сухой туман покрыл территорию от Англии до Алтая [Stothers, 1996]. Объективным доказательством воздействия этого извержения на территорию южной Сибири является сообщение из Бийской слободы Алтайского округа о сильных заморозках, отмечавшихся в 1783 г.: "...в летнее время инеями хлеб позяб, и затем в урожае примолоту было мало, а другие десятины по неимению в колосьях ядра нежатые бросили. А семена конопляные, льняные и горох вовсе вымерзли". Время существования сульфатно-аэрозольного слоя в стратосфере после

мощных вулканических извержений составляет не менее 1–2 лет [Oman et al., 2006], что согласуется с датами возникновения аномалий структуры годичных колец на территории Тывы не только в 1783 г., но и в следующем 1784 г. По исторической информации за 1784–1785 гг. в Алтайском округе зафиксирован неурожай: "...в июле месяце, в последних числах, когда уже посеянный хлеб был в колосу, от выпавшего в поларшина снега, кой лежал трои сутки... от неумеренных холодов в разных местах хлеба позябли..." [Мамсик, 1975, с. 58]. В апреле 1812 г. произошло извержение вулкана Soufriere St. Vincent (VEI 4) в Вест-Индии, на Алтае этот год отмечен многочисленными сообщениями о неурожае хлебов и массовых голодовках: "...дошло до того, что крестьяне ряда деревень вынуждены были употреблять в пищу гнилое талое и березовое дерево, глину" [Миненко, 1991, с. 13]. В августе 1883 г. произошло извержение вулкана Krakatau (VEI 6), что привело в следующем 1884 г. к образованию выпавших колец на всех шести построенных дкх. В этом году неурожаи отмечались в Тобольской, Томской губерниях и на севере Казахстана [Кауфман, 1897, с. 6].

Сопоставление распределения аномалий и выпавших колец показало, что в большинстве случаев они находятся в противоходе между собой, за исключением событий 1788, 1813, 1882, 1911 гг. (см. табл. 1). Кроме того, проведенный анализ показал, что участки Монгун и Дерзик, на которые приходятся 24 и 22 экстремальных события из 30 обнаруженных (см. табл. 2), являются наиболее чувствительными индикаторами происходивших в прошлом на территории Тывы экстремальных климатических событий.

Чтобы выяснить, к каким периодам (увеличения или снижения прироста) дкх относятся аномалии и выпавшие кольца, полученные даты экстремальных событий были наложены на кривые прироста (рис. 4). При рассмотрении погодичной изменчивости прироста на рисунке видно, что большинство случаев возникновения аномалий и выпавших колец приходится на падения прироста. Анализ внутривековой изменчивости прироста показал, что годы образования аномалий приходятся на начало и конец, а вы-

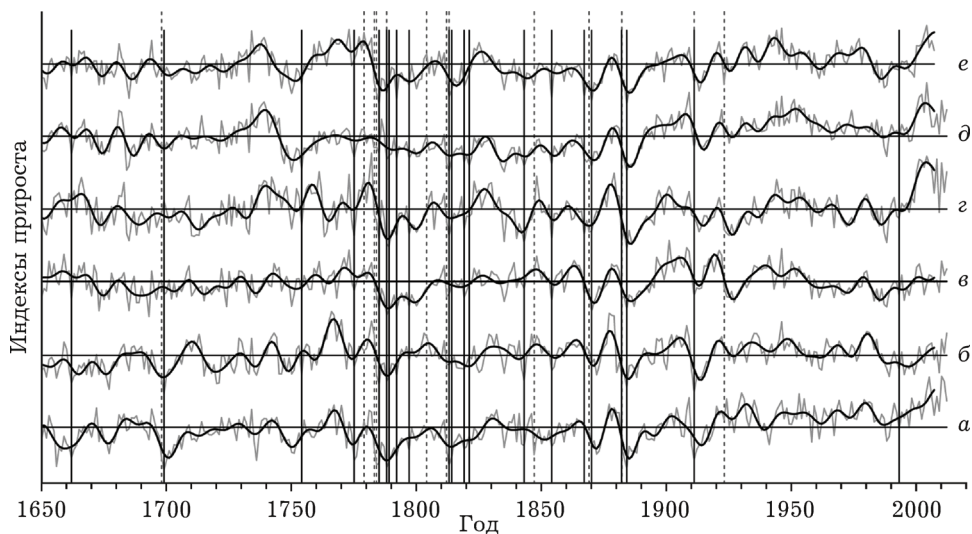


Рис. 4. Изменчивость радиального прироста древесно-кольцевых хронологий Республики Тыва (а – Монгун, б – Колчан, в – Тан, г – Дерзик, д – Кунгур, е – Тарис). Горизонтальной линией обозначено арифметическое среднее значение, тонкой кривой – погодичная изменчивость, жирной кривой – 22-летняя низкочастотная фильтрация. Вертикальными линиями отмечены годы экстремальных событий по аномалиям структуры (пунктирные) и выпавшим кольцам (сплошные) согласно табл. 2

павшие кольца – на середину периодов снижения прироста. На общем фоне хорошо прослеживаются два интервала с большой частотой экстремальных событий с 1775 по 1821 г. и с 1843 по 1884 г. В последнее столетие, начиная с 1923 г. экстремальные события практически не проявляются (см. рис 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования выявлены аномальные структуры (морозобойные и светлые кольца, флюктуации древесины, разломы) и выпавшие кольца на образцах с шести участков: Монгун, Колчан, Тан, Дерзик, Кунгур, Тарис, что позволило построить хронологию экстремальных климатических событий для территории Республики Тыва за последние 300 лет. Анализ возраста образования колец, содержащих аномалии структуры, показал, что в 59 % случаев они образуются в возрасте до 100 лет жизни дерева (без учета аномалий в 20 первых кольцах образцов), 24 % аномалий фиксируется со 101 по 200, 9 % – с 201 по 300 кольцо и 8 % – в более позднем возрасте. Анализ соотношения типов совпадающих аномалий показал, что 67 % составляют морозобойные кольца, 13,5 % – светлые коль-

ца, 11 % – флюктуации древесины, 8,5 % – разломы. Из 36 выделенных дат совпадений только в четырех случаях не отмечено морозобойных колец. Это позволяет предположить, что именно резкие падения температуры воздуха, сопровождающиеся образованием морозобойных колец, приводят к появлению светлых колец, флюктуаций и разломов у деревьев. Отмечается наличие расхождений по количеству совпадающих аномалий и выпадающих колец между западной и восточной частями Тывы. Наибольшее количество совпадающих аномалий (65 %) характерно для Западной Тывы (Монгун, Колчан, Тан), наибольший процент совпадений (около 66 %) выпавших колец наблюдается в Восточной Тыве (Дерзик, Кунгур, Тарис). Сопоставление дат экстремальных событий на разных участках выявило, что в большинстве случаев даты образования аномалий и выпавших колец чередуются, не пересекаясь (отсутствие выпавших колец в годы образования аномалий и наоборот).

В результате анализа дат совпадения аномальных структур и выпавших колец в Республике Тыва выделено четыре экстремальных события межрегионального характера (1783, 1784, 1812, 1884 гг.), которые хорошо согласуются с данными о круп-

ных вулканических извержениях (вулканы Grimsvotn, Lakagigar, Soufriere St. Vinsent, Krakatau) и информацией исторических источников. Кроме того, в работе выявлено 17 событий регионального масштаба (1698, 1754, 1775, 1779, 1785, 1788, 1789, 1797, 1813, 1819, 1843, 1854, 1869, 1870, 1882, 1911, 1923 гг.) и девять событий местного значения (1662, 1699, 1792, 1804, 1814, 1821, 1847, 1867, 1993 гг.).

Применительно к задаче построения хронологии экстремальных климатических событий, охватывающей два последних тысячелетия, полученные результаты показали, что наибольшей чувствительностью обладает участок Монгун, на котором присутствуют 24 экстремальных события из 30 выявленных. Наличие значительной коллекции образцов палеодревесины для этой пробной площади [Мыглан и др., 2012] закладывает практическую основу для проведения такой работы.

Работа поддержана в рамках проекта РФФИ № 12-06-33040, 13-05-98061, госуд. задания Министерства образования России ФГАОУ ВПО СФУ на 2014 г. (ГВ-1)

ЛИТЕРАТУРА

- Быков Н. И. Дендрохронология снежных лавин и циркуляционных процессов атмосферы зимнего и переходного периодов на Алтае // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск, 2000. № 2. С. 56–60.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г. Дендроклиматические и дендрологические исследования в Северной Евразии // Лесоведение. 2005. № 4. С. 18–27.
- Горланова Л. А., Хантемиров Р. М. Патологические структуры в годичных кольцах деревьев как индикаторы климатических экстремумов // Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. С. 127–129.
- Гурская М. А., Бенькова В. Е. Типы светлых колец у *Larix sibirica* и *L. gmelinii* на верхней границе леса в Урало-Сибирской Субарктике // Ботан. журн. 2013. Т. 98, № 8. С. 1037–1054.
- Гурская М. А., Агафонов Л. И. Реконструкция коротких вегетационных сезонов на севере Западной Сибири по хронологиям светлых годичных колец деревьев // Изв. РАН. Сер. географическая. 2013. № 1. С. 42–53.
- Гурская М. А., Шиятов С. Г. Распределение морозобойных повреждений в древесине хвойных деревьев // Экология. 2006. № 1. С. 9–15.
- Кауфман А. А. Переселенцы-арендаторы Тургайской области. СПб.: Тип. В. Безобразова, 1897. С. 6.
- Мамсик Т. С. Община и быт алтайских беглецов – “каменщиков” // Из истории семьи и быта сибирского крестьянства XVII – начала XX в. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1975. С. 58.
- Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 400 с.
- Миненко Н. А. Экологические знания и опыт природопользования русских крестьян Сибири XVII – первой половины XIX в. // Новосибирск: Наука, 1991. С. 13.
- Мыглан В. С., Ойдупаа О. Ч., Ваганов Е. А. Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2012. № 3. С. 76–83.
- Хантемиров Р. М., Горланова Л. А., Шиятов С. Г. Патологические структуры в годичных кольцах можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) и их использование для реконструкции экстремальных климатических событий // Экология. 2000. № 3. С. 185–192.
- 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. географическая. 2011. № 2. С. 89–102.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурызбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. Ч. 1. 80 с.
- Anchukaitis K. J., Breitenmoser P., Briffa K. R., Buchwal A., Büntgen U., Cook E. R., D’Arrigo R. D., Esper J., Evans M. N., Frank D., Grudd H., Gunnarson B. E., Hughes M. K., Kirdyanov, A. V., Körner C., Krusic P. J., Luckman B., Melvin T. M., Salzer M. W., Shashkin A. V., Timmreck C., Vaganov E. A., Wilson R. J. S. Tree rings and volcanic cooling // Nature Geoscience. 2012. Vol. 5. P. 836–837.
- Cook E. R., Krusic P. J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN). 2008. URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>.
- D’Arrigo R., Wilson R., Anchukaitis K. J. Volcanic cooling signal in tree ring temperature records for the past millennium // J. Geophys. Res.: Atmospheres. 2013. Vol. 118, N 16. P. 9000–9010.
- Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst, 1919. Vol. 1. 127 p.
- Fritts H. C. Tree-rings and climate. N.Y.: Acad. Press, 1976. 576 p.
- 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. Vol. 11. P. 499–505.
- Global Volcanism Program // <http://www.volcano.si.edu/>
- Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin. 1983. Vol. 43. P. 69–78.
- LaMarche V. C., Hirschboeck K. K. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions // Nature. 1984. Vol. 307. P. 121–126.

- Oman L., Robock A., Stenchikov G. L., Thordarson T., Koch D., Shindell D. T., Gao C. Modeling the distribution of the volcanic aerosol cloud from the 1783–1784 Laki eruption // *J. of Geophys. Res.: Atmospheres*. 2006. Vol. 111. P. 12209.
- Rinn F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-rings analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
- Salzer M. W., Hughes M. K. Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr. // *Quaternary Res.* 2007. Vol. 67. P. 57–68.
- Schweingruber F. H. *Tree Rings and Environment: Dendroecology*. Berne, Switzerland: Paul Haupt, 1996. 609 p.
- Stothers R. B. The Great Dry Fog of 1783 // *Climatic Change*. 1996. N 32. P. 79–89.

Extreme Climatic Events in the Tuva Republic Described on the Basis of Tree-Ring Analysis

V. V. BARINOV¹, V. S. MYGLAN¹, A. V. TAYNIK¹, O. Ch. OYDUPA², E. A. VAGANOV¹

¹ *Siberian Federal University*
660041, Krasnoyarsk, Svobodny ave., 79

² *Tuvan State University*
667000, Kyzyl, Lenina str., 36
E-mail: v.myglan@gmail.com, nalro@yandex.ru

The study of spatial distribution of anomalies in anatomical structure of annual rings of the Siberian larch was carried out on the upper boundary of a forest in the Tuva Republic. The spatial analysis of dendrochronological data was conducted in six areas: Mongun, Kolchan, Tan, Derzik, Kungur, Taris. The results helped to single out extreme climatic events of three categories: local (years 1662, 1699, 1792, 1804, 1814, 1821, 1847, 1867, 1993), regional (years 1698, 1754, 1775, 1779, 1785, 1788, 1789, 1797, 1813, 1819, 1843, 1854, 1869, 1870, 1882, 1911, 1923) and transregional (years 1783, 1784, 1812, 1884). The latter correspond well with the dates of large volcanic eruptions (Grimsvotn, Lakagigar, Soufriere St.Vincent and Krakatau volcanoes) and with historical data.

Key words: upper boundary of the forest, anomalies in the structure of annual rings, frost rings, climatic extremes, the Tuva Republic.