

УДК 551.583.16+551.583.4(571.1)

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НА ЯМАЛЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 4100 ЛЕТ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ¹

© 2011 г. Р.М. Хантемиров, Л.А. Горланова, А.Ю. Сурков, С.Г. Шиятов

Институт экологии растений и животных УрО РАН

Поступила в редакцию 30.04.2009 г.

На основе анализа встречаемости аномальных образований в древесине *Larix sibirica* и *Picea obovata* выполнена реконструкция климатических экстремумов на Ямале за последние 4100 лет. Сравнение данных по Ямалу с литературными данными по другим регионам показало, что почти в половине случаев они совпадали с подобными экстремумами в других отдаленных районах Земли, т.е. имели глобальный масштаб. Наиболее значимые из них имели место в 420 г. до н.э., 536, 543, 627, 903, 940, 1151, 1259, 1300, 1453, 1466, 1585, 1601, 1609, 1642, 1699, 1783, 1818, 1867, 1872 гг. н.э. как в западном, так и в восточном полушариях. Причиной выявленных экстремальных летних похолоданий глобального масштаба в большинстве случаев можно считать крупные вулканические извержения.

Введение. Регулярные инструментальные наблюдения за экстремальными климатическими явлениями начались лишь с момента организации метеорологических станций, их длительность, как правило, не превышает 100 лет. Это сдерживает выявление закономерностей проявления климатических экстремумов в масштабе столетий и тысячелетий. Межправительственная группа экспертов по изменению климата в своем последнем докладе [6] отметила недостаток однородных данных длительных наблюдений за экстремальными климатическими событиями, которые позволили бы сопоставить современный и прошлый уровень повторяемости и интенсивности экстремумов. Поэтому информация о климатических экстремумах, воссозданная с помощью косвенных данных, представляется исключительно ценной.

Один из наиболее перспективных методов реконструкции климатических экстремумов в далеком прошлом основан на анализе аномальных тканевых и клеточных структур в годичных слоях прироста древесных растений, а также ширины годичных колец. Этот метод позволяет реконструировать события с точностью до года, а некото-

рые из них с точностью до одной-двух недель. На основе данных изучения ныне живущих деревьев можно выполнить реконструкции длительностью до нескольких сотен лет. В связи с тем, что в некоторых субарктических районах имеется большое количество древней (полуископаемой) древесины голоценового возраста хорошей сохранности, имеется возможность продления древесно-кольцевых хронологий далеко в глубь веков.

В настоящее время на полуострове Ямал построена многотысячелетняя древесно-кольцевая хронология длительностью более 7000 лет. Эта хронология выполнена на основе ширины годичных колец лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), произрастающей в высоких широтах, в районах, где деревья наиболее чувствительны к изменениям летней температуры [9, 31]. При построении этой хронологии перекрестной датировкой определены даты формирования годичных колец у нескольких сотен полуископаемых деревьев. Этот абсолютно датированный дендроклиматический материал использован в данной работе.

Материал. Большое количество полуископаемой древесины голоценового возраста сохранилось в аллювиальных отложениях южной части полуострова Ямал. Наибольшую долю этих образцов (95%) составляет лиственница сибирская (*Larix sibirica*), гораздо меньше (4%)

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-00989). Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 2009–2011 гг. № 16 и Программы развития научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279).

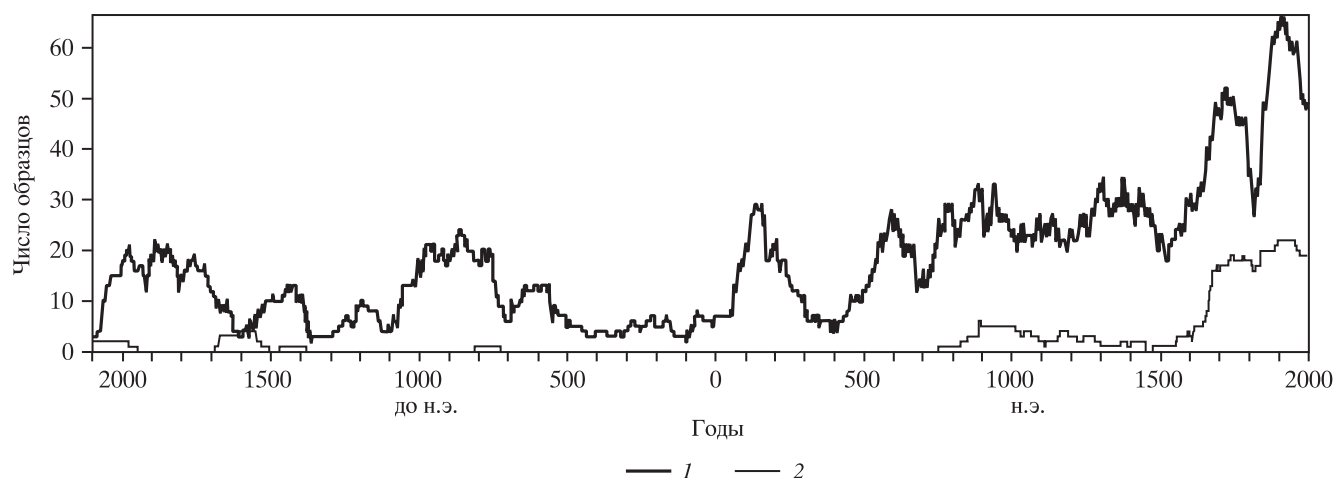


Рис. 1. Распределение числа образцов древесины, использованных для анализа аномальных структур в годичных кольцах двух видов деревьев. 1 – лиственница, 2 – ель.

ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.) (1%). Сбор образцов полуископаемой древесины проводился в долинах рек Хадыга, Ядаяходыха, Порцаяха и Танлова в районе, расположенном между $67^{\circ}00'$ и $67^{\circ}50'$ с.ш. и $68^{\circ}30'$ и $71^{\circ}00'$ в.д. Верхние течения этих рек безлесны; лиственничные (в долине р. Хадыты – березово-елово-лиственничные) редколесья расположены в основном в днищах долин в среднем и нижнем течении рек.

Сбор образцов древесины с живых деревьев проводился в долинах тех же рек. Спилы и керны были взяты с 62 лиственниц и 20 елей.

Анализ аномальных структур проводился в основном по древесине лиственницы сибирской, а также, в незначительной степени, ели сибирской, так как доля ели в сборах полуископаемой древесины невелика. Всего для анализа аномальных структур было использовано 568 образцов лиственницы (из них 506 полуископаемых) и 49 образцов ели (из них 29 полуископаемых), в которых просмотрено соответственно около 73 и 10 тыс. колец. Распределение образцов во времени весьма неоднородно (рис. 1) как по числу образцов, так и по соотношению ели и лиственницы, что, очевидно, связано с изменениями климатических условий.

Методы. Для реконструкции экстремальных температурных событий мы использовали три типа повреждений нормальной анатомической структуры годичных колец живых и полуископаемых деревьев: морозобойные повреждения (морозобойные кольца), флуктуации плотности древесины (ложные кольца) и светлые кольца. Аномальные структуры определялись визуально

при осмотре поперечных срезов образцов древесины в бинокулярный микроскоп при увеличении в 32–56 раз.

Типичное морозобойное кольцо состоит из трех зон [28]: зоны деформированных (искривленных) трахеид, слоя аморфного вещества, состоящего из разрушенных клеток и образующейся затем зоны ненормальных по форме и величине трахеид. Было показано [7, 10, 54], что морозобойное повреждение может проявляться и в более слабой степени. Иногда оно выглядит лишь как изменение направления радиального роста одного или нескольких рядов трахеид, при более сильном повреждении за ними следуют ряды поврежденных (смятых) клеток и затем ряды восстанавливающихся трахеид с измененным направлением роста. И, наконец, это повреждение может выглядеть как типичное морозобойное кольцо. Все эти изменения нормальной структуры мы считали морозобойными кольцами. Как показали наблюдения в природе [2, 7, 10, 11, 38] и экспериментальные исследования [28], морозобойные кольца образуются при снижении температуры воздуха до отрицательных значений в период активности камбия и роста клеток ксилемы. Морозобойные кольца в древесине лиственницы на Ямале образуются при заморозках в период примерно с 20 июня по 20 июля [3]. Однако чувствительность деревьев к повреждению заморозком снижается по мере увеличения толщины коры и диаметра дерева (т.е. с возрастом). Поэтому морозобойные повреждения у лиственницы и ели образуются в основном в центральных кольцах [5]. У проанализированных нами лиственниц на Ямале среди просмотренных годичных колец 1.1% были повреждены заморозком, у елей 1.2%.

Флуктуация плотности древесины (ложное кольцо) представляет собой слой более темных клеток в пределах годичного кольца, который отличается от соседних слоев по форме и размеру клеток, а также по толщине клеточной стенки. Подобная структура может возникать при сравнительно долговременном (одна-две недели) ухудшении условий в течение вегетационного сезона (на полярной границе леса – при понижении температуры воздуха) и последующей нормализации условий [10, 53]. У проанализированных нами лиственниц на Ямале среди просмотренных годичных колец 0.35% были ложными, у елей 0.12%. Низкая частота такой аномалии объясняется тем, что в условиях очень короткого (несколько недель) вегетационного периода в районе полярной границы леса мало вероятно восстановление нормального прироста после длительного похолодания.

Светлое кольцо содержит клетки поздней древесины с более тонкими стенками по сравнению с нормальными клетками. Такие кольца формируются в годы с неблагоприятными условиями. В субарктической зоне светлые кольца образуются в холодное (особенно во второй его половине) и/или короткое лето [2, 4, 61, 63]. На Ямале формирование светлых колец у лиственницы связано с низкой средней температурой июля-августа, т.е. второй половины вегетационного сезона [32]. Светлые кольца лишь условно можно назвать аномальными структурами, поскольку они формируются довольно часто. В данной работе мы делили такие кольца на слабо- и сильновыраженные. Для анализа использовали только второй тип светлых колец. У проанализированных нами лиственниц на Ямале такие кольца составляли 11% от всех годичных колец, у елей 10%.

Кроме того, для выявления экстремальных летних сезонов использовались “выпадающие кольца”, т.е. отсутствие прироста древесины на измеряемом спиле в какой-либо год (0.17% у лиственниц, 0.06% у елей), а также чрезвычайно узкие кольца. Они указывают на очень низкую среднюю температуру лета.

Таким образом, на основе анализа перечисленных выше образований возможна реконструкция таких климатических экстремумов, как летние заморозки, резкие многодневные снижения температуры воздуха в течение вегетационного периода, а также низкие средние температуры лета. К настоящему времени такая реконструкция выполнена для периода с 2100 г. до н.э. по 2000 г. н.э.

Анализ встречаемости аномальных структур показал, что очень многие годы были отмече-

ны какой-либо аномалией. Например, в 576 из 4100 лет (14%) хотя бы у одного дерева формировалось морозобойное кольцо, а в 45% лет хотя бы одно дерево имело светлое кольцо. При этом в большинстве этих случаев нарушение нормальной структуры годичных колец наблюдалось лишь у единичных деревьев. Этот факт можно объяснить двумя причинами. Во-первых, микроклиматическими условиями места произрастания отдельных деревьев. Во-вторых, в случае морозобойных колец более ранним по сравнению с другими началом вегетации некоторых деревьев и поэтому большей вероятностью для них подвергнуться действию заморозков, которые на Ямале в самом начале лета обычное событие. Чтобы исключить такого рода “случайные” аномалии, мы применили следующую процедуру. Мы допустили, что любое отклонение от нормальной структуры годичного кольца может возникнуть случайным образом, и на основе своих данных вычислили вероятность появления каждой структуры в годичном кольце. Затем подсчитали максимальное число аномалий, которое может появиться в один из 4100 исследованных лет при их случайном появлении. Годы, когда число выявленных аномалий превышало максимально возможное число случайных аномалий при данном числе повторностей, мы считали “экстремальными”.

Следует оговорить, что в этой работе даты формирования древесных колец для периода до н.э. приведены в так называемых “дендрогодах”. Эта система отличается от общепринятой системы летоисчисления тем, что для удобства обработки данных между 1 годом н.э. и 1 годом до н.э. имеется еще и нулевой год. Т.е. нулевой год в “дендрошкале” соответствует 1 г. до н.э. в григорианской системе счета времени, и далее все годы до н.э. смещены на один год вперед. Даты сигналов в ледовых колонках также переведены в дендрогоды.

Повторяемость экстремальных событий. Число выявленных экстремальных лет для отдельных периодов при использованной нами методике будет зависеть от обеспеченности образцами этих периодов. Для интервалов времени с низким числом образцов надежно будут выявлены лишь самые экстремальные годы. Поэтому оценивать динамику повторяемости экстремальных событий при значительных колебаниях повторности (рис. 1) корректнее будет косвенным образом, а именно на основе доли аномальных колец во всех проанализированных годичных слоях для какого-либо многолетнего промежутка времени (без привязки к отдельным годам).

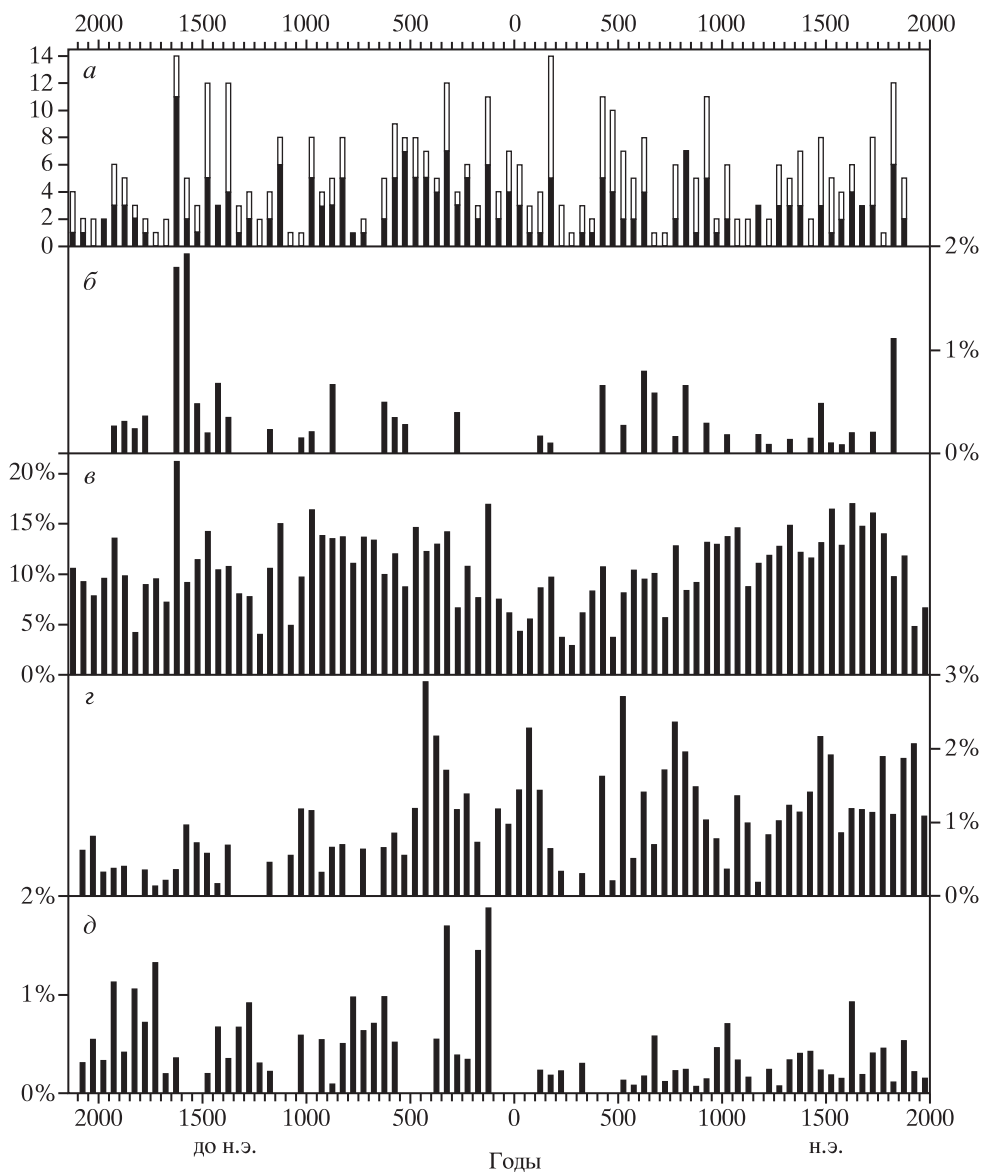


Рис. 2. Распределение доли аномальных колец различного типа по 50-летиям; *а* – узкие кольца, шт. (распределение 10% самых узких колец, темная часть – распределение 5% самых узких колец), *б* – выпадающие кольца, *в* – светлые кольца, *г* – морозобойные кольца, *д* – ложные кольца.

На рис. 2 представлены изменения доли аномальных колец за последние 4100 лет по 50-летиям. Данные по узким кольцам – прямые (т.е. количество лет с узкими в среднем кольцами), данные по аномалиям – косвенные (доля аномалий во всей выборке проанализированных колец для 50-десятилетия).

Для морозобойных и ложных колец можно отметить выраженные тысячелетние тренды. До 400 г. до н.э. повторяемость заморозков была сравнительно низкой, а затем значительно увеличилась. Для ложных колец наоборот – в первую половину реконструкции повторяемость была сравнительно высокой. Возможно, это связано с

тем, что в период от 4 до 2 тыс. лет назад сезон вегетации продолжался дольше, поэтому вероятность образования флуктуаций плотности при соответствующих условиях была выше. Для узких и светлых колец заметных тенденций не видно, но можно отметить чередование длительных периодов высокой и низкой частоты образования аномальных колец.

Видно, что за последние 4100 лет были периоды, например, 1700–1650, 1250–1200 гг. до н.э., 200–300, 700–750, 1100–1150, 1950–2000 гг. н.э., когда повторяемость всех аномалий была низкой. Но обратных примеров, когда частота всех аномалий была бы высокой, практически нет. Можно

только отметить периоды с 1650 по 1600 гг. до н.э. и 1800–1850 гг. н.э. с очень высокой повторяемостью узких, выпадающих и светлых колец, т.е. холодных в целом летних сезонов.

Даты экстремальных событий. В табл. 1 представлены результаты реконструкции экстремальных летних сезонов. Интенсивность экстремума, которая в табл. 1 представлена в виде разного числа звездочек, определялась субъективно, на основе данных о доле образцов с аномалиями колец и, в случае морозобойных и узких колец, по степени выраженности аномалий годовых колец деревьев.

Всего выявлено 214 экстремальных лет. Самыми исключительными оказались 2053, 1647, 1626, 1553 гг. до н.э. и 1466, 1601 гг. н.э. Достойны упоминания также 1935, 1538, 1410, 1401, 982, 919, 883, 338 гг. до н.э., 143, 404, 543, 1209, 1440, 1453, 1481, 1818 гг. н.э.

При анализе табл. 1 заметна неравномерность распределения экстремальных лет. Для масштаба столетий она в некоторой степени объясняется неполным выявлением экстремумов из-за низкой обеспеченности образцами. Но неравномерность распределения экстремальных лет заметна и на более коротких отрезках времени. Так, в 1002–1004 гг. н.э. была серия из трех подряд экстремальных летних сезонов. Похожие серии, 3 экстремума в 4 года, были в 637–640 и 1628–1631 гг. н.э., 3 экстремума в течение 5 лет в 814–818, 1527–1531, 1816–1820 гг. н.э., причем в последнем случае их интенсивность была самой высокой. Пожалуй, стоит отметить и последовательность экстремумов в 536–545 гг. н.э., а также серию 1628–1642 гг. н.э., частью которой было упомянутое выше четырехлетие. В свою очередь, этот отрезок можно считать частью аномального периода 1601–1642 гг. (8 экстремумов) или 1601–1699 гг. (14 экстремумов) или даже 1527–1732 гг. (28 экстремумов за 206 лет). Возможно, наши данные являются еще одним подтверждением того, что неблагоприятные условия в течение малого ледникового периода были вызваны не только низкими средними температурами, но и высокой частотой экстремальных температурных событий в течение вегетационного периода.

Стоит также обратить внимание на периоды 1417–1386 гг. до н.э. (6 экстремумов за 32 года), 1862–1885 гг. н.э. (7 экстремумов за 24 года), 779–818 гг. н.э. (8 экстремумов за 40 лет), 963–1055 гг. н.э. (13 экстремумов за 93 года). И, наконец, нельзя не упомянуть период с 1655 по 1617 гг. до н.э. Хотя частота экстремальных лет в этот отрезок времени (7 экстремумов за 63 года)

была не столь высока, как в перечисленные выше периоды, но в этот интервал попали сразу два исключительно аномальных летних сезона (1647 и 1626 гг. до н.э.). Поэтому, возможно, это было самое неблагоприятное для роста деревьев время за последние 4100 лет.

Пространственный масштаб экстремальных событий. Мы попытались оценить пространственный масштаб экстремумов, выявленных для Ямала на основе сравнения нашей реконструкции с аналогичными реконструкциями для других районов Земли. Кроме того, были привлечены данные о датах крупных вулканических извержений, полученных по ледовым колонкам Гренландии и Антарктиды, на основании которых можно сделать предположения о вулканических причинах крупномасштабных экстремумов. Сводка данных по аномалиям древесных колец и следам вулканических извержений в ледовых колонках представлена в табл. 2. В ней перечислены только те экстремальные для Ямала летние сезоны, когда подобный экстремум, выявленный на основе анализа годовых колец деревьев, в тот же год был отмечен и в другом регионе Земли. Таких лет выявлено 88, т.е. чуть более 41% от всех экстремальных лет на Ямале, представленных в табл. 1.

Для некоторых из перечисленных в табл. 2 событий можно привести дополнительные данные о возможном источнике извержения и летописные данные о природных условиях тех лет.

В 1647 г. до н.э., одном из самых экстремальных на Ямале, холодное лето было и в Финляндии, экстремум наблюдался также на территории юго-запада США, но в предыдущем году. Следы вулканического извержения, датирующегося приблизительно тем же годом (1643 г. до н.э.), обнаружены в Гренландии в колонке Dye 3 [19] (нет в таблице). В работах [37, 48] показано, что это следы извержения вулкана Аньякчак на Аляске.

Экстремум 1626 г. до н.э., один из самых значительных на Ямале, хорошо известен и для других районов [15, 29]. Следы крупного извержения примерно в это же время обнаружены также в ледовых колонках Гренландии, поэтому нет сомнений в том, что экстремальное событие 1626 г. до н.э. вызвано вулканическим извержением. Дискуссии в последние десятилетия ведутся лишь об источнике этого извержения. Многие исследователи склоняются к тому, что это извержение вулкана Санторин (Тера) в Эгейском море, хорошо известное как основная причина гибели минойской цивилизации, так как недавно [25, 42] удалось с очень высокой точностью установить

Таблица 1. Даты образования аномальных анатомических структур в древесине лиственницы сибирской и ели сибирской

Год	И	A	Год	И	A	Год	И	A	Год	И	A	Год	И	A
		до н. э.												
2053	***	Fd _p	989	*	sn	194	*	f	1029	*	s	1576	*	mn
2035	*	Ss _p	982	**	F	404	**	F	1040	*	ss _p	1585	*	fss _p
1996	*	ss _p n	975	*	s	536	*	fn	1051	*	fSs _p n	1601	***	FF _p s _p
1973	*	s	965	*	mn	537	*	f	1055	*	s	1609	*	d
1972	*	ss _p n	919	**	F	543	**	F	1077	*	f	1617	*	ss _p
1966	*	ss _p	904	*	sn	545	*	f	1099	*	ss _p	1628	*	s _p
1947	*	sd	898	*	sn	570	*	n	1109	*	fsn	1629	*	s _p
1935	**	SMn	883	**	sMN	596	*	sn	1122	*	Fs _p	1631	*	sd _p n
1920	*	SN	866	*	s	623	*	smn	1133	*	ff _p	1634	*	fss _p n
1918	*	sn	861	*	fsMn	627	*	F	1136	*	fs _p	1642	*	mn
1812	*	d	828	*	fsn	637	*	MN	1151	*	ss _p	1666	*	f
1728	*	d	823	*	sN	639	*	fmn	1170	*	sMn	1677	*	s
1726	*	fs	809	*	fss _p	640	*	smN	1172	*	fSs _p n	1679	*	ff _p ss _p n
1655	*	F _p s	800	*	fs _p d	652	*	f	1201	*	fss _p	1683	*	ff _p ss _p
1650	*	s	792	*	ss _p n	684	*	s	1209	**	Fs _p	1694	*	d
1647	***	sMN	741	*	fss _p	738	*	F	1217	*	f	1699	*	ss _p n
1634	*	ss _p	717	*	Sn	754	*	Fs _p	1234	*	s _p	1714	*	fd
1626	***	F _p SMN	680	*	Sn	757	*	fs _p n	1236	*	s _p	1717	*	ss _p
1622	*	f _p sn	658	*	SN	779	*	F	1259	*	ff _p s	1723	*	s
1617	*	Ss _p n	609	*	fSmN	784	*	fs _p	1270	*	fs _p	1730	*	fss _p
1569	*	ss _p Mn	593	*	mN	791	*	fn	1278	*	fss _p n	1732	*	sn
1557	*	fs _p	569	*	Sn	800	*	s _p	1288	*	F	1745	*	fss _p
1553	***	Ss _p M	550	*	sMN	801	*	FF _p	1300	*	sn	1757	*	s _p
1538	**	Ss _p M	489	*	SN	814	*	Mn	1312	*	fs _p d	1776	*	fd
1523	*	ss _p	472	*	fn	816	*	Mn	1342	*	fss _p N	1783	*	F
1507	*	f	464	*	f	818	*	Mn	1347	*	dMN	1816	*	MN
1493	*	f	420	*	FN	857	*	f _p	1350	*	f _p s	1818	**	MM _p N
1492	*	sN	402	*	F	878	*	ff _p	1352	*	fs _p	1820	*	MN
1486	*	fn	358	*	F	881	*	s	1372	*	fsn	1862	*	ff _p s _p
1465	*	s	345	*	S	884	*	fsn	1383	*	fss _p n	1866	*	fs _p
1462	*	ss _p	339	*	F	901	*	f	1391	*	fs _p	1867	*	dn
1443	*	ss _p dn	338	**	d	903	*	fss _p mn	1435	*	fs _p	1872	*	ff _p
1417	*	s	321	*	sN	912	*	fmn	1440	**	Fs _p	1879	*	ff _p
1410	**	s _p Mn	250	*	fn	927	*	F	1453	**	fMn	1884	*	f _p
1403	*	S	242	*	f	940	*	s _p	1466	***	F	1885	*	n
1401	**	Ss _p Mn	154	*	d	963	*	fs	1481	**	ff _p sn	1912	*	ff _p s _p
1394	*	Sn	78	*	f	972	*	f _p Ss _p n	1509	*	ss _p d	1958	*	ff _p
1386	*	ss _p Mn	42	*	fsn	976	*	ss _p	1527	*	fs _p	1970	*	f _p
1172	*	sN		н. э.		985	*	f	1529	*	s _p mn	1978	*	ff _p
1169	*	SN	110	*	f	1002	*	sn	1531	*	s	1980	*	s
1127	*	sN	134	*	fsm	1003	*	sn	1538	*	fss _p			
1122	*	S	143	**	Fmn	1004	*	sn	1548	*	f			
1011	*	sd	155	*	fs	1012	*	d	1560	*	fss _p n			
			180	*	sn	1025	*	fs _p	1569	*	d _p			

Примечание. И – интенсивность экстремума, пропорциональна числу звездочек; А – типы аномалий: f – морозобойные; s – светлые; d – ложные; m – выпавшие; n – узкие кольца. Прописные буквы означают высокую долю образцов с данной аномалией. Обозначения с индексом “p” относятся к аномалиям у ели, без индекса – у лиственницы.

Таблица 2. Даты образования аномальных древесных колец на Ямале, совпавшие с аналогичными датами в других регионах и соответствующие им сигналы вулканических извержений в ледовых колонках (данные древесных колец по [8, 17, 21, 23, 30, 33, 34, 35, 39, 41, 43, 52, 60, 61], данные ледовых колонок по [18, 19, 20, 64])

Экст. год на Ямале	Древесные кольца										Ледовые колонки					
	Северная Америка					Евразия					Гренландия		Антарктида			
	ЮЗ	США	Вост Кан		СЗ К	ФСк	Монголия		Тайм	Якут	GISP	GRIP	P R	S P	S D	Byrd
	мк	ук	св	ук	св	ук	мк	ук	ук	ук	-2100	-2100	-2100	900	1450	1160
	-2100	-2100	707	1073	1186	-2100	536	1466+	1	1400+						
-2035	■	■									-2036	-2045				
-1996		+				■					-1995		-2003			
-1920		■									-1921					
-1647		-				■										
-1626	■	+									-1623	-1636, -1618				
-1523		■									-1530					
-1417	-	■										-1425				
-550	■										-545					
-420	-■	■+				■					-429	-421				
-42	■+	+				+					-43	-49				
180	■								■+		176		186			
536	■	■				■	■		■	■		534, 536?				
537	■	■							■	■		534, 536?				
543	-	-■				-■+		■	■	■		541?				
545	-	■				■+			■	■		541?				
627	-■	■				+			■	■		622	630			
684	■					+			-		680					
754			■								753					
757			■								755	757				
800						■					802					
816	■					-+					815					
818						■					818					
884	■		-+													
903	■	-■							■		900, 902	898		905		
940			■						■		938, 940	943				
963			■			-					959			966		
976			■								975					
985	-■											986		983		
1003	■										1006					
1029	■										1027					
1051	■		■													
1055			+						■		1054					
1077	■		-													
1099	■		■								1103			1094		
1109	■		■								1105, 1109	1106		1113		
1133			+			■										
1136	■		■													
1151			■						■		1149					
1170			■+									1169		1174		1168
1201	-■	■	+	■							1205		1197			
1217				■	■											
1259	■		-	-			-■		-■	-■	1258	1259	1260	1260		1259
1288		■	■						+		1286	1285	1287	1287		1287
1300			■						■		1304					
1342	-	■	-	■							1344	1341, 1345	1343	1347		
1350		■							■							
1383	■		-								1381, 1385	1382		1383		

Таблица 2 (окончание)

Экст. год на Ямале	Древесные кольца										Ледовые колонки					
	Северная Америка					Евразия					Гренландия		Антарктида			
	ЮЗ США		Вост Кан		СЗ К	ФСк	Монголия		Тайм	Якут	GISP –2100	GRIP –2100	P R –2100	S P 900	S D 1450	Byrd 1160
	мк –2100	ук –2100	св 707	ук 1073	св 1186	ук –2100	мк 536	ук 1466+	ук 1	ук 1400+						
1391			■		–						1389	1390		1396		
1440			■									1441				
1453	■		■+		■	+							1454	1458	1454	
1466		■	–■		■		■			+	1460					1464
1481	■	–	–								1479	1480				
1509			■									1508		1508		
1529			–+			■			■							
1531			■													
1538			■		–											
1548			■+													
1569			–		–■						1570					
1576			■+													
1585			■		■					■	1587					
1601	■	+	■+		■	■+		■			1600	1601	1600	1600	1599	
1609	■		■		■	–■+					1612					
1617		+			■	–			+			1614		1618	1619	
1629			■	■												
1631			–		■											
1634			■									1637		1636		
1642	–+	–	–■		–+	■			■	■+	1643	1642			1640	
1677	■	■		■	■						1675					
1683	■															
1694			■		–						1694		1694	1691, 1694	1693	
1699	■+		–	–■+	■				–■	–	1696					
1714					■											
1717	–		–		■+				+		1717					
1723						■						1725				
1730			■	–	–	–				■	1729	1728				
1732	■		■		+						1730	1731, 1732				
1745			■	–												
1757			■								1755, 1757			1759		
1783			+		■		■		■		1782	1783				
1816	–		■		–+					+	1815	1816	1816	1816	1816	1816
1818			–+	■					+	■	1815	1816				
1862			■		■					+	1860					
1866	■		+													
1867	+		■		+			■								
1872			–	–■	–			■+			1873					
1884	■		■		■						1883		1884		1884	1884
1912	■		■		■						1912	1912				
1978			■		■						1978	1976				

Примечания: В названиях колонок. Территории: ЮЗ США – юго-запад США; Вост Кан – Восточная Канада; СЗ К – северо-запад Канады; ФСк – Фенноскандия; Тайм – Таймыр; Якут – Якутия.

Аномалии годовых колец: мк – морозобойные кольца; ук – узкие кольца; св – светлые кольца. Цифра под типом аномалии указывает на год начала хронологии (знак + после года означает, что использовались также отрывочные данные о более ранних по времени аномалиях древесных колец для данного региона).

Ледовые колонки: GISP – GISP2; P R – Plateau Remote (Западная Антарктика); S P – Южный полюс; S D – Siple Station and Dyer Plateau (Западная Антарктика); Byrd – Byrd Station (Западная Антарктика).

В данных таблицы: “■” : аномалия образовалась в тот же год, “–”: аномалия образовалась в предыдущий год; “+”: аномалия образовалась в следующий год. В качестве данных ледовых колонок представлены даты образования слоев, в которых обнаружены следы вулканических извержений. Поскольку точность датировки ледовых слоев может снижаться с глубиной, в таблице использованы данные по слоям, датированные экстремальным годом по древесным кольцам ± 10 лет (для периода с 2100 г. до н.э. по 500 г. н.э.), ± 5 лет (для периода с 500 по 1500 гг. н.э.) и ± 3 года (для периода после 1500 г. н.э.).

дату извержения вулкана Санторин, которая близка к дате аномалий в древесных кольцах.

Отсутствие совпадений экстремальных лет в течение более чем восьми столетий (с 1416 по 551 г. до н.э.) может быть связано с относительно невысоким их числом на Ямале в этот период. Однако и в Северной Америке наблюдалось снижение числа аномальных колец в тот же период (за исключением XII в. до н.э.).

Событие 42 г. до н.э. отмечено на Ямале аномалиями древесных колец. Морозобойные кольца в этот же год образовались в годичных кольцах сосен, растущих в США, а на территории Финляндии деревья имели очень низкий прирост. Примерно тем же годом датируются слои ледника, в котором были обнаружены следы вулканического извержения в колонках GISP2, GRIP и Dye. Сохранились письменные свидетельства о необычных явлениях в 44 г. до н.э. (43 дендрогод до н.э.) и последующих двух годах [50]. Плутарх (примерно через 150 лет после события) так изображал состояние “тусклого солнца” после убийства Юлия Цезаря (15 марта 44 г. до н.э.): “В течение всего этого года его диск всходил бледным и без сияния, а тепло от него было слабым и бесплодным, так что воздух... был темным и тяжелым из-за бессилия тепла, которое его пронизывало, и плоды, с изъянами и наполовину созревшие, увядали и сохли из-за холода атмосферы”. Овидий (примерно в 10 г. н.э.) называл луну того года “кровоавой”, а Венеру “темно-рыжей”. Римский поэт Кальпурний (примерно в 69 г. н.э.) упоминал комету “кровоавого” цвета, наблюдавшуюся в 44 г. до н.э. Красные тона наблюдаемых объектов очевидно связаны с задымленностью атмосферы. Согласно хроникам династии Хан в апреле-мае 43 г. до н.э. (42 дендрогод до н.э.) в Китае выпал снег, заморозок погубил тутовые деревья, в мае-июне солнце было голубовато-белым и не создавало тени; в полдень тени были, но смутные. В октябре заморозок погубил зерновые, начался голод. Некоторые исследователи считают, что обнаруженные эффекты вызваны извержением вулкана Этна в 44 г. до н.э. [59]. Однако приписывание этого извержения вулкану Этна, по-видимому, связано большей частью с тем, что о нем имеются исторические свидетельства. Поэтому вполне возможно, что в это же время произошло более крупное эксплозивное извержение вулкана в другом районе. Известно, например, об очень крупном извержении вулкана Амбрим (Вануату) примерно в 50 г. до н.э. (датировка вулканических отложений проведена радиоуглеродным методом) [55].

Далее в течение почти шести столетий имеется лишь одно совпадение в датах экстремальных событий на Ямале и в других регионах, что опять же связано с низким числом экстремальных лет на Ямале.

Лето 180 г. н.э. было экстремальным в США и на Таймыре. Имеются также следы вулканического извержения как в гренландских, так и в антарктических ледовых колонках. Причем в Антарктике этот сигнал является одним из самых высоких за последние 4 тыс. лет. Примерно этим же годом датировалось очень крупное извержение вулкана Таупо в Новой Зеландии [62]. Однако в последние годы уточнение радиоуглеродных датировок омолодило это событие примерно на 50 лет [27].

Следующим интересным событием в глобальном масштабе, которое также оставило след в древесных кольцах лиственницы на Ямале, было так называемое “таинственное облако” 536 года. В Византийских источниках описывается необычный туман, покрывший обширную территорию в 536–537 гг. н.э.: “солнце было темным и это длилось 18 месяцев; каждый день оно светило лишь около 4 часов, однако этот свет был очень слаб..., солнце имело необычный голубоватый цвет, ... плоды не созрели...”. Холод и засуха привели к гибели урожая в Италии и Месопотамии, что вызвало голод в последующие годы. Подобное явление зафиксировано и в китайских источниках. Во многих провинциях Китая в июле и августе 536 г. наблюдались заморозки и снег, погубившие зерновые культуры и вызвавшие среди населения голод, продолжавшийся до 538 г. (исторические сведения цит. по [50]). В течение последних 25 лет продолжалась дискуссия о причине этого явления. Высказывалось предположение, что это могло быть крупное вулканическое извержение. Однако до последнего времени в ледовых кернах Гренландии и Антарктиды не находилось подтверждения этой гипотезы, что было связано с отрывочностью данных о содержании сульфатов (являющихся маркерами вулканических извержений) и недостатками в датировании слоев льда. Отсутствие данных по вулканам привело к появлению множества предположений о внеземном происхождении таинственного явления. Появились публикации, связывающие его с падением на Землю крупной кометы, астероида, или прохождением солнечной системы через облако космической пыли [13, 51]. Совместными усилиями международной группы исследователей [40], которая включала в себя дендроклиматологов из России, Швеции, Финляндии, Австрии и Великобритании, а также датских исследователей кернов из ледников Гренландии и Антарктиды, на осно-

ве обобщения дендрохронологических данных, уточнения датировок ледовых слоев и массового и высокоточного определения сульфатов в слоях ледовых кернов из трех районов Гренландии, удалось установить, что похолодание, начавшееся в 536 г. н.э., имело широкий пространственный масштаб и большую длительность. В ледовых колонках для того же периода времени (534±2 г. н.э.) выявлены следы крупного вулканического извержения. Масса выброшенных этим извержением в атмосферу газов, по оценкам накопления сульфатов в ледовых колонках, была на 40% выше, чем при извержении вулкана Тамбора в 1815 г. – крупнейшего извержения за последние 200 лет. Таким образом, вулканическое извержение 536 г. было одним из самых мощных за последние два тысячелетия. Угнетение прироста деревьев в Евразии после 536 г. продолжалось около 15 лет [40], что намного превышает характерное время похолодания после единичного крупного вулканического извержения. Поэтому было высказано предположение, что такое длительное снижение температуры воздуха связано с еще одним извержением, которое произошло примерно через 5 лет после 536 г. [14]. Данные ледовых колонок не дают оснований для такого предположения. Однако если допустить, что датировка ледовых слоев не совсем верна и сместить даты на 7 лет вперед (что предлагает сделать автор цитируемой статьи), то противоречий не возникает, и второй пик вулканического аэрозоля будет приходиться на 541 г. Правда, если аномалии древесных колец 536 года совпадают во всех районах Земли, то аномалия начала 540-х годов имеет разницу в 1–2 года в разных регионах – на Таймыре и в Монголии, как и на Ямале, экстремум пришелся на 543 г., в Финноскандии на 542–543 гг., на территории США на 541–543 гг., в Якутии на 540–541 гг. Если принять семилетнее смещение дат ледовых слоев, то характеристики извержения, приведенные в работе [40], относятся к извержению в начале 540-х годов. Источником этого извержения возможно является вулкан Эль-Чичон (Мексика) [44]. Косвенным доказательством необходимости смещения датировок ледовых слоев является утверждение авторов этой статьи о том, что извержение, датирующееся примерно 540 г., не могло вызвать появление сухого тумана (тропосферного явления) 536 г., но оказало глобальное климатическое воздействие из-за образовавшегося стратосферного облака. А извержение 536 г. было вызвано местным, скорее всего европейским вулканом.

Событие 627 года, отмеченное в древесных кольцах на Ямале, в Северной Америке, на севере Средней и Восточной Сибири (в Финноскандии в

628 г.), также связывают с крупным извержением вулкана. Из европейских летописей известно, что начиная с октября 626 г. сухой туман в течение 8–9 мес. покрывал обширную территорию, по крайней мере Ирландию и восточное Средиземноморье [57]. Подробные сведения о внезапном и очень тяжелом бедствии в Восточном Тюркском каганате и последующем великом голоде и эпидемиях в 627–629 гг. имеются в китайских источниках [24]. В них упоминаются заморозок в середине лета и в начале осени, обильные снегопады и глубокий снежный покров, которые привели к гибели всех овец и лошадей и последующему многолетнему голоду кочевников-тюрков, высокой смертности и, в конечном счете, коллапсу могущественной империи. В самом Китае (империи Тан) также отмечен заморозок в конце лета 627 г., уничтоживший урожай в нескольких провинциях. Такие же события отмечены и в 628–629 гг.

Далее совпадения экстремальных лет на Ямале и в других регионах встречаются довольно часто. Это связано как с высоким числом выявленных экстремумов на Ямале, так и с более подробными сведениями об аномальных кольцах из других регионов.

Примечательный экстремум, имевший глобальный масштаб, оставил следы на Ямале в годичных кольцах, сформированных в 1259 г. В том же году на территории США выявлены морозобойные кольца. В 1258 и 1259 гг. в Монголии в древесине сосны сибирской также образовались морозобойные кольца. Кроме того, в 1258 г. на востоке Канады значительная доля елей сформировала светлые кольца. Существенное снижение прироста в 1258–1259 гг. наблюдалось у лиственниц на Полярном Урале [32], Таймыре и в Якутии. Это, очевидно, было следствием крупного вулканического извержения, оставившего след в полярных ледниках как северного, так и южного полушарий. По некоторым оценкам выброс газов этого вулкана в два раза превышал выброс при извержении вулкана Тамбора в 1815 г. Т.е. это было самое крупное извержение в мире за последнюю тысячу лет, а может и 7000 лет [64], которое началось в середине 1257 г. [45]. Источник этого извержения пока не установлен, есть основания предполагать, что это мог быть вулкан Эль-Чичон (Мексика) [46]. Согласно историческим данным [58], климатические и демографические последствия этого вулканического извержения не были особенно впечатляющими. В 1258 г. плотный слой облаков покрывал небо Франции в течение всего лета, так что было непонятно, лето это или осень. Во время лунного затмения 18 мая 1258 г. в Англии наблюдали не обычное для этого явления

изменение цвета луны (покраснение), а полное ее исчезновение, что, очевидно, связано с наличием плотного облака в стратосфере. Холодным и дождливым было также лето в северной Италии и на западе Германии. Это вызвало неурожай и голод. Голод был также и в Ираке, Сирии и на юго-востоке Турции. Однако как в Европе, так и на Среднем Востоке он мог быть вызван и политическими причинами. На Руси погодные аномалии (заморозки) наблюдались летом 1259 г. [1].

Повреждения 1453 г. отмечены почти повсеместно. Кроме того, имеется историческая информация о холодном дождливом лете этого года и последующих 4 годах на Руси, а также о ранних осенних заморозках в 1453 г. [1]. Считается [16], что причиной глобального падения температуры летом этого года является извержение вулкана Кьюе (Вануату).

Пожалуй самым экстремальным на Ямале был летний сезон 1466 г. В летописях имеется информация [1], что на Руси в тот год снег покрывал землю еще 26 мая. А 18 августа уже был заморозок, зима и следующее лето были холодными. Событие этого года отразилось также в годичных кольцах деревьев из Северной Америки, Монголии, Полярного Урала. Датировка вулканических следов в ледовой колонке GISP2 в Гренландии ближе к 1466 г., чем к 1453 г. В колонках из некоторых других ледников Гренландии, не представленных в таблице, имеется двойной пик следов вулканического извержения. Первый из них совпадает по дате с антарктическими ледниками, а второй приходится на начало 1460-х годов (этого пика в Антарктиде нет). Поэтому считается [26], что сигнал 1460-х годов относится к извержению вулкана, расположенного недалеко от Гренландии, возможно в Исландии.

В 1601 г. аномальные древесные кольца образовались во многих регионах мира. Необычные природные явления в то лето наблюдались в Европе. В Англии “июнь был очень холодным, заморозки каждое утро” [49], на севере Италии до середины июля было холодно, почти весь год небо было покрыто облаками [47]. В европейской части России в 1601 г. “рано в лете стаща великие морозы”, погибли хлеба и “весь овощ”. От начавшегося голода в одной только Москве в течение трех лет погибло 120 тыс. чел. [1]. Согласно реконструкции летних температур Северного полушария, выполненной на основе анализа плотности годичных колец деревьев [16], лето 1601 г. было самым холодным за последние 600 лет. Интересно отметить, что согласно реконструкциям летних температур, основанным на ширине годичных колец

деревьев и кустарников с Полярного Урала [12] и Ямала, средняя температура лета 1601 г. была на уровне средней многолетней. Тем не менее некое глобальное событие оставило свой след в годичных кольцах и в этом районе. Исследования [22] установили, что это похолодание было вызвано извержением вулкана Уайнапутина в Перу в феврале-марте 1600 г., крупнейшим в мире извержением за последние 500 лет.

Следующим заслуживающим внимания годом является 1783. Резкое снижение температуры воздуха в то лето, как это уже точно установлено многими исследователями [см. 56], было вызвано сухим туманом, покрывшим, согласно историческим данным, территорию от Англии до Алтая. Необычно холодная погода пришла и на Аляску [36], где реки и озера в середине лета покрылись льдом. Эта аномалия была вызвана извержением вулкана Лаки, которое началось 8 июня 1783 г.

Экстремальное событие 1816 г. хорошо известно по многочисленным историческим документам в Европе и Северной Америке под названием “год без лета”. Также хорошо известно, что причиной этого похолодания было извержение вулкана Тамбора в апреле 1815 г., одно из крупнейших в последние столетия. Возможно экстремальный 1818 г. тоже был более отдаленным следствием этого же извержения.

Формирование экстремальных древесных колец во многих районах мира в 1884 г. вероятнее всего было вызвано извержением вулкана Кракатау в Индонезии, а в 1912 г. извержением вулкана Катмай на Аляске.

Заключение. Анализ аномальных структур в годичных кольцах деревьев на севере Западной Сибири позволил выявить годы, когда в течение летнего сезона имело место экстремальное снижение температуры воздуха различной длительности. Всего выявлено 214 экстремальных лет. В некоторые периоды (с 1650 по 1600 г. до н.э. и 1800–1850 гг. н.э.) наблюдалась высокая повторяемость узких, выпадающих и светлых колец, т.е. холодных в целом летних сезонов; в другие (1700–1650, 1250–1200 гг. до н.э., 200–300, 700–750, 1100–1150, 1950–2000 гг. н.э.) повторяемость всех аномалий была низкой. Самые значительные температурные экстремумы были отмечены в 2053, 1935, 1647, 1626, 1553, 1538, 1410, 1401, 982, 919, 883, 338 гг. до н.э., 143, 404, 543, 1209, 1440, 1453, 1466, 1481, 1601, 1818 гг. н.э.

Сравнение полученных нами результатов с данными по датам формирования аномальных годичных колец в других регионах показало, что почти в половине случаев экстремумы на Ямале

совпадали с подобными экстремумами в отдаленных районах Земли, т.е. по всей вероятности имели глобальный масштаб. Наиболее значимые из них произошли в 420 г. до н.э., 536, 543, 627, 903, 940, 1151, 1259, 1300, 1453, 1466, 1585, 1601, 1609, 1642, 1699, 1783, 1818, 1867, 1872 гг. н.э., когда экстремумы наблюдались, помимо Ямала, как в западном, так и в восточном полушариях. В большинстве случаев при совпадении дат экстремумов для различных регионов имеются также следы крупных вулканических извержений в ледовых колонках Гренландии и Антарктиды, датированные примерно тем же годом. Таким образом, причиной выявленных экстремальных летних похолоданий глобального масштаба в большинстве случаев можно считать крупные вулканические извержения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 522 с.
2. Гурская М.А. Патологические структуры в древесине лиственницы сибирской, произрастающей в пойме р. Ядаяхадыха, полуостров Ямал // Экология пойм сибирских рек и Арктики. Тр. II совещания, Томск, 24–26 ноября 2000 г. Томск: “СТТ”, 2000. С. 76–84.
3. Гурская М.А. Морозобойные повреждения ксилемы хвойных деревьев в лесотундре Западной Сибири и Полярного Урала. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002. 24 с.
4. Гурская М.А., Дэви Н.М. Светлые кольца в древесине хвойных деревьев на Приобском Севере // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии. Екатеринбург: “Екатеринбург”, 2001. С. 59–62.
5. Гурская М.А., Шиятов С.Г. Распределение морозобойных повреждений в древесине хвойных деревьев // Экология. 2006. № 1. С. 9–15.
6. МГЭИК: Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури Р.К., Райзингер А. и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2007. 104 с.
7. Нилов В.Н., Чертовской В.Г. О действии заморозков на подрост ели // Экология. 1975. № 4. С. 47–52.
8. 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.: Гидрометеоздат, 2005. Т. 20. С. 59–72.
9. Хантемиров Р.М. 4309-летняя хронология для Ямала и ее использование для реконструкции истории климатических изменений на севере Западной Сибири // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. Т. 17. С. 287–301.
10. 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.
11. Шиятов С.Г., Горланова Л.А. Патологические структуры в древесине лиственницы сибирской // Ботанические исследования на Урале. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 71.
12. 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. Т. 9. № 1. С. 2–5.
13. Baillie M.G.L. Dendrochronology raises questions about the nature of the A.D. 536 // Holocene. 1994. V. 4, № 2. P. 212–217.
14. Baillie M.G.L. Proposed re-dating of the European ice core chronology by seven years prior to the 7th century AD // Geophys. Res. Letters. 2008. V. 35. L15813. doi: 10.1029/2008GL034755
15. Baillie M.G.L., Munro M.A.R. Irish tree rings, Santorini and volcanic dust veils // Nature. 1988. V. 332. P. 344–346.
16. 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. V. 393, № 6684. P. 450–455.
17. Brunstein F.G. Climatic significance of the bristlecone pine latewood frost ring record at Almagre mountain, Colorado, U.S.A // Arctic and Alpine Res. 1996. V. 28, № 1. P. 65–76.
18. Budner D., Cole-Dai J. The number and magnitude of explosive volcanic eruptions between 904 and 1865 A.D.: Quantitative evidence from a new South Pole ice core // Volcanism and the Earth's Atmosphere / Eds. A. Robock and C. Oppenheimer. 10.1029/139GM10, pp 165–176, Amer. Geophys. Union, 2003.
19. Clausen H.B., Hammer C.U., Hvidberg C.S., Dahl-Jensen D., Steffensen J.P., Kipfstuhl J., Legrand M. A comparison of the volcanic records over the past 4000 years from the Greenland Ice Core Project and Dye 3 Greenland ice cores // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № C12. P. 26707–26723.

20. *Cole-Dai J., Mosley-Thompson E., Wight S.P., Thompson L.G.* A 4100-year record of explosive volcanism from an East Antarctica ice core // *J. Geophys. Res. (Atmospheres)*. 2000. V. 105. № D14. P. 24431–24441.
21. *D'Arrigo R., Frank D., Jacoby G., Pederson N.* Spatial response to major volcanic events in or about AD 536, 934 and 1258: frost rings and other dendrochronological evidence from Mongolia and Northern Siberia: comment on R.B. Stothers, "Volcanic dry fogs, climate cooling, and plague pandemics in Europe and the middle East" (*Climatic Change*, 42, 1999) // *Climatic Change*. 2001. V. 49. P. 239–246.
22. *De Silva S.L., Zielinski G.A.* Global influence of the AD 1600 eruption of Huaynaputina, Peru // *Nature*. 1998. V. 393. № 6684. P. 455–458.
23. *Eronen M., Zetterberg P., Briffa K.R., Lindholm M., Meriläinen J., Timonen M.* The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 1, chronology construction and initial inferences // *Holocene*. 2002. V. 12. № 6. P. 673–680.
24. *Fei J., Zhou J., Hou Y.J.* Circa AD 626 volcanic eruption, climatic cooling, and the collapse of the Eastern Turkic Empire // *Climatic Change*. 2007. V. 81, № 3, 4. P. 469–475. doi: 10.1007/s10584-006-9199-y.
25. *Friedrich W.L., Kromer B., Friedrich M., Heinemeier J., Pfeiffer T., Talamo S.* Santorini eruption radiocarbon dated to 1627–1600 BC // *Science*. 2006. V. 312. № 5773. P. 548.
26. *Gao C., Robock A., Self S., Witter J.B., Steffenson J.P., Clausen H.B., Siggaard-Andersen M.-L., Johnsen S., Mayewski P.A., Ammann C.* The 1452 or 1453 A.D. Kuwae eruption signal derived from multiple ice core records: Greatest volcanic sulfate event of the past 700 years // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. D12107. doi: 10.1029/2005JD006710.
27. *Gehrels M.J., Lowe D.J., Hazell Z.J., Newnham R.M.* A continuous 5300-yr Holocene cryptotephrostratigraphic record from northern New Zealand and implications for tephrochronology and volcanic hazard assessment // *Holocene*. 2006. V. 16. № 2. P. 173–187.
28. *Glerum C., Farrar J.L.* Frost ring formation in the stem of some coniferous species // *Canad. J. Botany*. 1966. V. 44. № 7. P. 879–886.
29. *Grudd H., Briffa K.R., Gunnarson B.E., Lindholm H.W.* Swedish tree rings provide new evidence in support of a major, widespread environmental disruption in 1628 B.C // *Geophys. Res. Letters*. 2000. V. 27. P. 2957–2960.
30. *Grudd H., Briffa K.R., Karlen W., Bartholin T.S., Jones P.D., Kromer B.* A 7400-year tree-ring chronology in northern Swedish Lapland: natural climatic variability expressed on annual to millennial timescales // *Holocene*. 2002. V. 12. № 6. P. 657–665.
31. *Hantemirov R.M., Shiyatov S.G.* A continuous multi-millennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia // *Holocene*. 2002. V. 12. № 6. P. 717–726.
32. *Hantemirov R.M., Gorlanova L.A., Shiyatov S.G.* Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since 742 AD inferred from tree rings // *Paleogeography, Paleoclimatol., Paleoecol.* 2004. V. 209. № 1–4. P. 155–164.
33. *Helama S., Lindholm M., Timonen M., Meriläinen J., Eronen M.* The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 2, interannual to centennial variability in summer temperatures for 7500 years // *Holocene*. 2002. V. 12. № 6. P. 681–687.
34. *Hughes M.K., Vaganov E.A., Shiyatov S., Touchan R., Funkhouser G.* Twentieth-century summer warm in northern Yakutia in a 600-year context // *Holocene*. 1999. V. 9. № 5. P. 629–634.
35. *Jacoby G.C., D'Arrigo R.D., Davaajamts T.* Mongolian tree rings and 20th-century warming // *Science*. 1996. V. 273. № 5276. P. 771–773.
36. *Jacoby G.C., Workman K.W., D'Arrigo R.D.* Laki eruption of 1783, tree rings, and disaster for northwestern Alaska Inuit // *Quaternary Sci. Rev.* 1999. V. 18. P. 53–59.
37. *Keenan D.J.* Volcanic ash retrieved from the GRIP ice core is not from Thera // *Geochem., Geophys., Geosystems*. 2003. V. 4. № 11. P. 1097. doi:10.1029/2003GC000608.
38. *Knuffinke A.* Frostringe in Lärchen (*Larix decidua* Mill.) und deren Beziehung zu Wetter und Standort. Dargestellt an Material aus der Waldgrenz-Aufforstung Stillberg, Davos, Schweiz. Diplomarbeit an der Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie, 1998. 112 s.
39. *LaMarche V.C.Jr., Hirschboeck K.K.* Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions // *Nature*. 1984. V. 307. № 5946. P. 121–126.
40. *Larsen L.B., Vinther B.M., Briffa K.R., Melvin T.M., Clausen H.B., Jones P.D., Siggaard-Andersen M.-L., Hammer C.U., Eronen M., Grudd H., Gunnarson B.E., Hantemirov R.M., Naurzbaev M.M., Nicolussi K.* New ice core evidence for a volcanic cause of the A.D. 536 dust veil // *Geophys. Res. Letters*. 2008. V. 35. L04708. doi: 10.1029/2007GL032450.
41. *Luckman B.H., Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H.* Tree-ring based reconstruction of summer temperatures at the Columbia Icefield, Alberta, Canada, AD 1073–1983 // *Holocene*. 1997. V. 7. № 4. P. 375–389.
42. *Manning S.W., Ramsey C.B., Kutschera W., Higham T., Kromer B., Steier P., Wild E.M.* Chronology for the Aegean Late Bronze Age 1700–1400 BC // *Science*. 2006. V. 312. № 5773. P. 565–569.
43. *Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V., Schweingruber F.H.* Summer temperatures in eastern Taimyr inferred from a 2427-year late-Holocene tree-

- ring chronology and earlier floating series // *Holocene*. 2002. V. 12. № 6. P. 727–736.
44. *Nooren C.A.M., Hoek W.Z., Tebbens L.A., Del Pozzo A.L.M.* Tephrochronological evidence for the late Holocene eruption history of El Chichon Volcano, Mexico // *Geofisica Internacional*. 2009. V. 48. № 1. P. 97–112.
 45. *Oppenheimer C.* Ice core and palaeoclimatic evidence for the timing and nature of the great mid-13th century volcanic eruption // *Internat. J. Climatol*. 2003. V. 23. № 4. P. 417–426.
 46. *Palais J.M., Germani M.S., Zielinski G.A.* Interhemispheric Transport of volcanic ash from a 1259 AD volcanic-eruption to the Greenland and Antarctic ice sheets // *Geophys. Res. Letters*. 1992. V. 19. № 8. P. 801–804.
 47. *Pavese M. P., Banzon V., Colacino M., Gregori G. P., Pasqua M.* Three historical data series on floods and anomalous climatic events in Italy // *Climate since A.D. 1500* / Eds. Bradley R.S., Jones P.D., London: Routledge, 1992. P. 155–170.
 48. *Pearce N.J.G., Westgate J.A., Preece S.J., Eastwood W.J., Perkins W.T.* Identification of Aniakchak (Alaska) tephra in Greenland ice core challenges the 1645 BC date for Minoan eruption of Santorini // *Geochem., Geophys., Geosystems*. 2004. V. 5. Q03005. doi: 10.1029/2003GC000672.
 49. *Pyle D.M.* How did the summer go? // *Nature*. 1998. V. 393. № 6684. P. 415–417.
 50. *Rampino M.R., Self S., Stothers R.B.* Volcanic winters // *Annual Review of Earth and Planetary Sci*. 1988. V. 16. P. 73–99.
 51. *Rigby E., Symonds M., Ward-Thompson D.* A comet impact in AD 536? // *Astronomy & Geophysics*. 2004. V. 45. № 1. P. 23–26.
 52. *Salzer M.W., Hughes M.K.* Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr // *Quaternary Res.* 2007. V. 67. № 1. P. 57–68.
 53. *Schweingruber F.H.* Tree rings and environment. Dendroecology. Birmensdorf, Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 1996. 609 p.
 54. *Schweingruber F.H.* Dendroökologische Holzanatomie. Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 2001. 472 p.
 55. *Siebert L., Simkin T.* Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3, (2002-). (<http://www.volcano.si.edu/world/>)
 56. *Stothers R.B.* The great dry fog of 1783 // *Climatic Change*. 1996. V. 32. P. 79–89.
 57. *Stothers R.B.* Volcanic dry fogs, climate cooling, and plague pandemics in Europe and the Middle East // *Climatic Change*. 1999. V. 42. № 4. P. 713–723.
 58. *Stothers R.B.* Climatic and demographic consequences of the massive volcanic eruption of 1258 // *Climatic Change*. 2000. V. 45. P. 361–374.
 59. *Stothers R.B., Rampino M.R.* Volcanic eruptions in the Mediterranean before A.D. 630 from written and archaeological sources // *J. Geophys. Res.* 1983. V. 88. № NB8. P. 6357–6371.
 60. *Szeicz J.M.* White spruce light rings in northwestern Canada // *Arctic and Alpine Research*. 1996. V. 28. № 2. P. 184–189.
 61. *Wang L., Payette S., Bégin Y.* A quantitative definition of light rings in black spruce (*Picea mariana*) at the arctic treeline in northern Québec, Canada // *Arctic, Antarctic, and Alpine Res.* 2000. V. 32. № 3. P. 324–330.
 62. *Wilson C.J.N.* Stratigraphy, chronology, styles and dynamics of late Quaternary eruptions from Taupo Volcano, New Zealand // *Philosophical Transactions of the Royal Society London. A*. 1993. V. 343. P. 205–306.
 63. *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. V. 39. P. 256–262.
 64. *Zielinski G.A.* Stratospheric loading and optical depth estimates of explosive volcanism over the last 2100 years derived from the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100. № D10. P. 20937–20955.

Extreme Climate Events in Yamal for the Last 4100 Years According to Dendrochronological Data

R.M. Hantemirov, L.A. Gorlanova, A.Yu. Surkov, S.G. Shiyatov

Institute of Plant and Animal Ecology

On the base of analyses of anomalous structures in tree rings of *Larix Sibirica* and *Picea obovata* the reconstruction of climatic extremes is made for Yamal for the last 4100 years. Comparison of data for Yamal with the literature data for another regions show that nearly in half cases they are correlated with the similar extremes in another Earth regions, i.e. they have a global scale. The most significant of them took place in 420 B.C., 536, 543, 627, 903, 940, 1151, 1259, 1300, 1453, 1466, 1585, 1601, 1609, 1642, 1699, 1783, 1818, 1867, 1872 A.D. both in the West and in the East Hemispheres. Large volcanoes eruptions in many cases can be considered the reasons of revealed extreme summer cooling in global scale.