

УДК 630.574.42

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ АЛТАЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1500 ЛЕТ ПО ДАННЫМ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВОЙ ХРОНОЛОГИИ JELO

© 2017 г. Валентин В. Баринов, Владимир С. Мыглан, Анна В. Тайник

*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
e-mail: valentinobarinov@gmail.com*

Поступила в редакцию 22.12.2015 г.

Аннотация. На основе анализа встречаемости нарушений анатомической структуры годичных колец (морозобойные и светлые кольца, флюктуации в структуре годичного кольца) и выпавших колец была построена хронология климатических экстремумов за последние 1500 лет для территории Центрального Алтая. Результаты работы позволили определить наиболее выраженные события, произошедшие в 536–537, 591, 627, 803, 874, 905–906, 935, 1243–1245, 1370–1371, 1399, 1645–1647, 1662, 1699–1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1900 гг. Проведенная верификация дат экстремальных событий за период с 1600 по 1850 г. выявила, что они согласуются с данными исторических свидетельств (о заморозках, неурожаях, голодных годах и др.) и датами крупных вулканических извержений.

Ключевые слова: верхняя граница леса, аномалии структуры годичного кольца, морозобойные кольца, климатические экстремумы, вулканы, Алтай.

DOI: 10.15356/0373-2444-2017-1-91-102

Extreme Climatic Events in the Central Altai of the Last 1500 Years According to Tree-Ring Chronology Jelo

Valentin V. Barinov, Vladimir S. Myglan, and Anna V. Tainik

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
e-mail: valentinobarinov@gmail.com*

Abstract. Based on the occurrence distortion analysis of the anomalous tree rings structure (frost ring, light ring, fluctuation in a tree ring) and missing rings, the chronology of extreme climatic events over the last 1500 years on the Central Altai was constructed. The results allowed us to determine the most significant events in 536–537, 591, 627, 803, 874, 905–906, 935, 1243–1245, 1370–1371, 1399, 1645–1647, 1662, 1699–1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1900. The verification of the dates of extreme events in the period from 1600 to 1850 has revealed that they are consistent with the data of historical evidence (about frosts, poor harvest, lean years and etc.) and the dates of large volcanic eruptions.

Keywords: upper treeline, anomalies of tree-ring structure, frost rings, extreme climatic events, volcanoes, Altai.

Введение. При изучении климата прошлых эпох исследователи в первую очередь опираются на инструментальные данные гидрометеорологических постов и станций, однако для территорий Алтая плотность и длительность рядов наблюдений явно недостаточна. По этой причине для оценки изменений климата за тысячелетние промежутки времени привлекаются такие косвенные индикаторы, как ледовые колонки, донные отложения,

древесно-кольцевые хронологии, палинологические данные и др. [24, 33, 36]. Наиболее высокое разрешение из перечисленных источников имеют древесно-кольцевые хронологии, позволяющие выполнять палеоклиматические реконструкции летних температур за длительные интервалы времени [15, 16]. При этом привлекаются такие параметры, как ширина и плотность годичного кольца, и почти не используется информация о времени

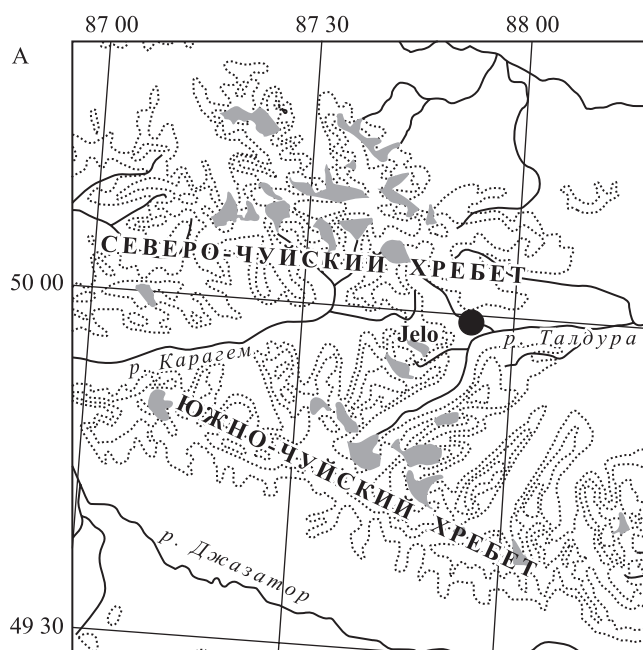


Рис. 1. Схема расположения участка сбора образцов древесины: черной точкой обозначен участок Jelo.

появления патологий в структуре годовичных колец. Несмотря на то что она позволяет получить уникальные данные, характеризующие суровость климатических условий произрастания древесной растительности и погодных особенностей летних месяцев [18, 28]. В нашем случае для заполнения существующего пробела была проведена работа по построению хронологии экстремальных климатических событий для территории Центрального Алтая за последние 1500 лет.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили 113 поперечных спилов и 27 кернов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), отобранных с 2007 по 2011 г. по верхней границе леса (выше 2200 м) на участке Jelo (граница Северо- и Южно-Чуйского хребтов, восточнее наиболее высокой части Северо-Чуйского хребта – массива Биш-Иирду, рис. 1). Спилов отбирались с отмерших древесных остатков на дневной поверхности. Отбор кернов производился в сильно разреженном древостое на высоте 1.3 м от дневной поверхности по стандартной методике [20].

Выявление нарушений структуры годовичного кольца было выполнено путем визуального осмотра кернов на микроскопе Stemi 2000C (Carl Zeiss) при 40–50-кратном увеличении. Фиксация обнаруженной патологической структуры годовичного кольца достигалась путем нанесения отметки на поврежденное годовичное кольцо. Для определения календарной даты и исключения ошибки, связанной с наличием выпадающих колец, выполнялось

измерение участка керна, содержащего патологию на полуавтоматической установке LINTAB (RINNTech, Германия), с его последующей перекрестной датировкой в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL [27] и TSAP V3.5 [32].

При поиске патологий учитывались следующие типы аномальных структур, образующихся на протяжении вегетационного сезона (рис. 2): морозобойное кольцо (f) – искаженная структура клеток, поврежденных заморозком в сезон роста, когда формируется ксилема; флюктуация древесины (ff) – слой клеток в пределах годовичного кольца, который выделяется из соседних слоев по размеру, форме и толщине клеточной стенки; светлое кольцо (l) – зона поздней древесины годовичного кольца с заметно слабой лигнификацией. Патологические смоляные ходы – вертикальные и горизонтальные смоляные ходы, представляющие собой длинные межклеточные каналы, окруженные секреторной тканью (паренхимой) и заполненные смолой. Последний тип патологий в работе не рассматривался по причине отсутствия дат совпадения патологических смоляных ходов между собой.

Отдельно в работе были проанализированы выпавшие кольца (m) – годовичные кольца, полностью отсутствующие на радиальном срезе образца в связи с прекращением деятельности камбиального слоя. Этот вид аномалий был выявлен нами ранее при построении древесно-кольцевой хронологии Jelo [15]. Отдельное рассмотрение данного типа патологии было обусловлено двумя обстоятельствами. При изучении выпавших колец отсутствует возможность оценить клеточную структуру годовичного кольца. Кроме того, в отличие от патологий структуры годовичного кольца (которые являются показателем экстремальных погодных проявлений внутри вегетационного периода), выпадающие кольца выступают в качестве интегрального индикатора температурного режима вегетационного сезона в целом и свидетельствуют о наличии неблагоприятных условий для произрастания древесной растительности.

Результаты исследования М.А. Гурской и С.Г. Шиятова [6] показали, что основная часть морозобойных повреждений фиксируется на высоте ствола до 1 м. Выше по стволу повреждения фиксируются только при наиболее сильных заморозках, когда высота приземного слоя воздуха с отрицательными температурами достигает 4–7 м. По этой причине в нашей работе отбор образцов был проведен на высоте 1.3 м, что позволило уменьшить число патологий, возникших под действием орографических условий произрастания деревьев и слабых заморозков. При этом не

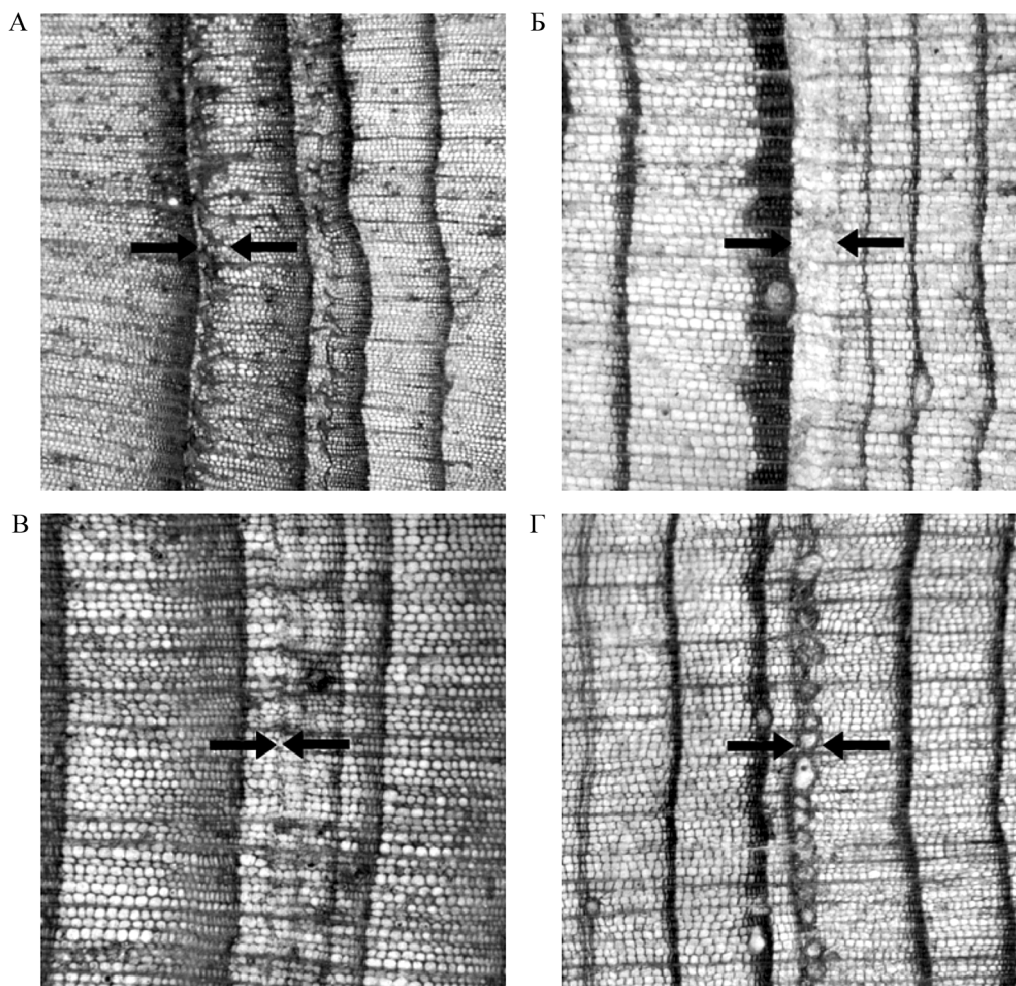


Рис. 2. Типы анатомических нарушений структуры годичных колец; А — морозобойное кольцо (образец 27); Б — светлое кольцо (образец 33); В — флюктуация древесины (образец 15); Г — смоляные ходы (образец 43).

учитывались повреждения (патологии) и выпавшие кольца в первые двадцать лет жизни дерева, когда из-за тонкого теплоизоляционного слоя коры они получают повреждения даже при наступлении незначительных заморозков, происходящих в вегетационный период [4]. За возраст дерева было принято количество годичных колец в керне, отобранном на высоте ствола 1.3 м от дневной поверхности.

Работа по построению хронологии экстремальных климатических событий была проведена в два этапа. На первом этапе, для периода с 500 по 2007 г., где $EPS \geq 0.85$ (показатель характеризует, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности), был проведен поиск и анализ распределения патологий и выпавших колец. В результате были выделены экстремальные события, т.е. даты образования двух и более патологических структур или выпавших колец. На втором этапе был проведен расчет

процентного соотношения количества найденных патологических структур и выпавших колец к общему числу образцов хронологии Jelo, приходящихся на этот год, что позволило выделить годы, в которые экстремальные события проявились наиболее сильно.

Результаты и обсуждение. В результате проведенной работы на 130 образцах (спилах отмершей древесины и кернах с живых деревьев) было обнаружено 248 аномалий и 242 выпавших кольца (рис. 3). Анализ распределения аномалий показал, что 180 (72.5%) из них составляют морозобойные кольца, 11 (4.5%) светлые кольца и 57 (23%) флюктуации, т.е. более двух третей аномалий представлены морозобойными кольцами.

Анализ времени образования патологий и выпавших колец относительно возраста деревьев показал, что 55% патологий приходится на первое столетие жизни образцов, 25.5% на второе,

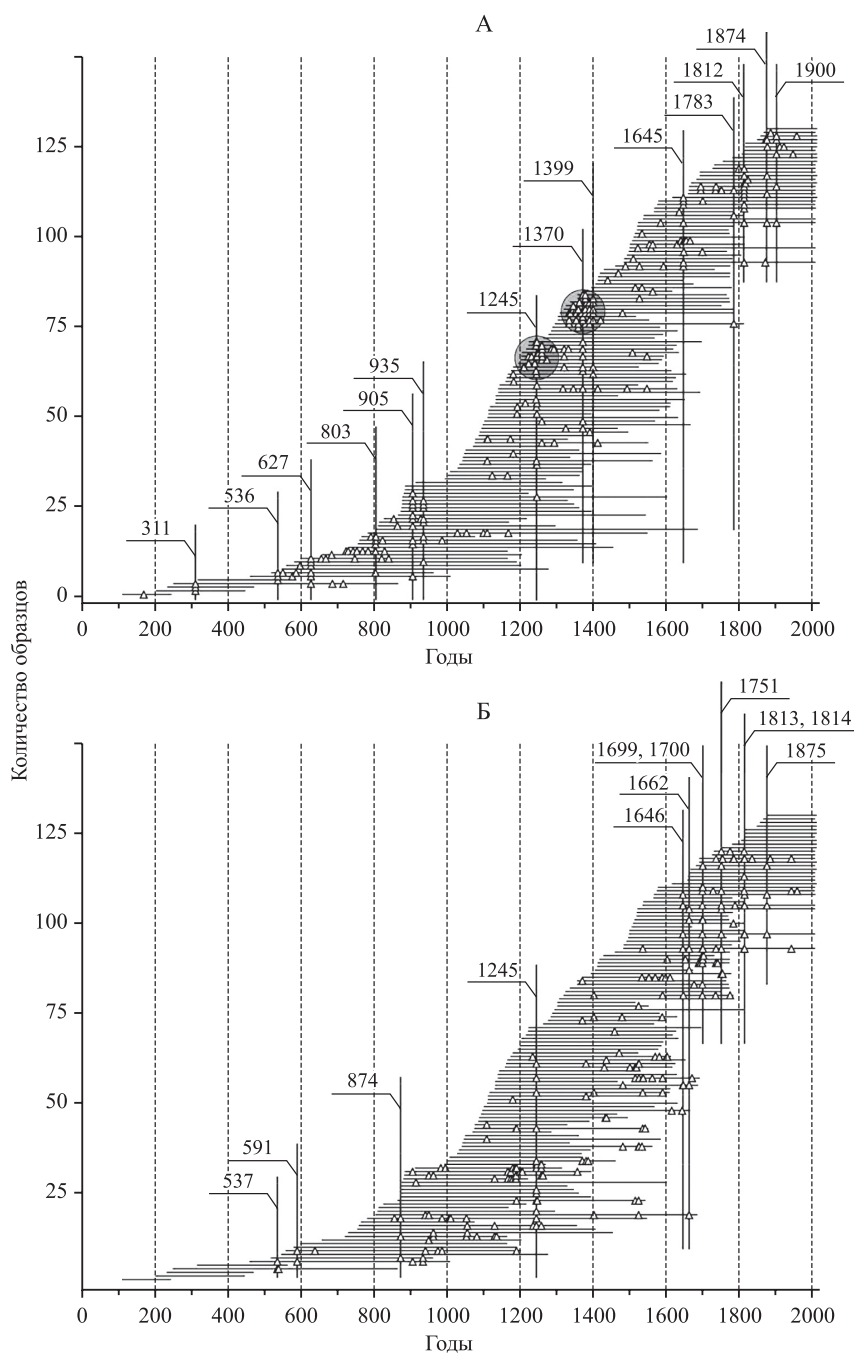


Рис. 3. Распределение аномальных структур годичных колец в образцах древесно-кольцевой хронологии Јело: А – распределение морозобойных, светлых колец и флюктуаций древесины; Б – распределение выпавших колец.

10% на третье, на четвертое 7% и еще 2.5% на более поздний возраст, т.е. на первые два столетия жизни дерева приходится более трех четвертых от общего числа зафиксированных аномалий. Снижение количества патологий в более позднем возрасте объясняется увеличением у деревьев слоя коры, что препятствует промерзанию деревьев

при недостаточно сильных заморозках. Выпавшие кольца показывают несколько другое распределение. На первое столетие приходится 14% случаев, на второе 16%, на третье 27%, на четвертое 24% и еще 18% отмечены в более позднем возрасте, то есть более половины выпавших колец приходится на третье и четвертое столетие. Вероятно,

Таблица. Даты образования патологических структур и выпавших годовичных колец у лиственницы сибирской на участке Jelo

№ п/п	Даты (гг.)	Вид аномалий (шт.)	Кол-во образцов (шт.)	Выраженность экстремального события (%)	
				патологии	выпавшие кольца
1.	311	3f	3	100	—
2.	536	1f,2fl	4	75	—
3.	537	2m	4	—	50
4.	591	2m	5	—	40
5.	627	5f,1fl	6	100	—
6.	803	3f,2fl	13	38	—
7.	874	3m	19	—	16
8.	905	7f,3fl	26	38	—
9.	906	2m	26	—	8
10.	935	3f,3fl,3l,2m	27	33	7
11.	942	2m	27	—	7
12.	951	3m	27	—	11
13.	963	3m	26	—	12
14.	987	2m	26	—	8
15.	1054	2m	34	—	6
16.	1056	2m	34	—	6
17.	1109	3f	41	7	—
18.	1131	3m	45	—	7
19.	1167	2m	52	—	4
20.	1175	2m	52	—	4
21.	1180	2f,3m	52	4	6
22.	1187	2m	53	—	4
23.	1190	3m	52	—	6
24.	1191	4m	52	—	8
25.	1222	2f	53	4	—
26.	1239	2f	55	4	—
27.	1243	4f,1fl	55	9	—
28.	1244	2f,2fl	55	7	—
29.	1245	4f,3fl,13m	55	13	24
30.	1247	2m	54	—	4
31.	1258	3f,3fl	54	11	—
32.	1259	5m	54	—	9
33.	1260	2f	54	4	—
34.	1319	3f	58	5	—
35.	1333	3f	58	5	—
36.	1345	2f	58	3	—
37.	1352	3f	55	5	—
38.	1358	3f	56	5	—
39.	1370	6f,5fl	54	20	—
40.	1371	3m	54	—	6

Таблица (продолжение)

№ п/п	Даты (гг.)	Вид аномалий (шт.)	Кол-во образцов (шт.)	Выраженность экстремального события (%)	
				патологии	выпавшие кольца
41.	1377	6f	54	11	—
42.	1381	3m	54	—	6
43.	1388	3f,2fl	54	9	—
44.	1399	8f	50	16	—
45.	1402	4m	50	—	8
46.	1411	1f,1fl	50	4	—
47.	1436	2m	54	—	4
48.	1481	2m	51	—	4
49.	1515	3m	59	—	5
50.	1524	5m	59	—	8
51.	1526	1f,1fl,3m	59	3	5
52.	1532	2f	59	3	—
53.	1533	2m	59	—	3
54.	1536	4m	59	—	7
55.	1546	2f	60	3	—
56.	1562	1f,1l	57	4	—
57.	1570	2m	57	—	4
58.	1589	2m	53	—	4
59.	1590	3m	52	—	6
60.	1603	2m	50	—	4
61.	1645	2f,3fl	39	13	—
62.	1646	6m	38	—	16
63.	1647	1f,1fl,2m	38	5	5
64.	1652	2m	38	—	8
65.	1662	6m	39	—	13
66.	1693	2f	39	5	—
67.	1699	13m	37	—	35
68.	1700	6m	37	—	16
69.	1736	4m	38	—	11
70.	1751	9m	37	—	24
71.	1754	2m	37	—	5
72.	1775	2m	28	—	7
73.	1783	3f	23	13	—
74.	1784	2m	24	—	8
75.	1812	7f,3fl,1l	21	52	—
76.	1813	9m	22	—	41
77.	1814	6m	21	—	29
78.	1874	1fl,3l	23	17	—
79.	1875	5m	23	—	22
80.	1884	3m	27	—	11

Таблица (окончание)

№ п/п	Даты (гг.)	Вид аномалий (шт.)	Кол-во образцов (шт.)	Выраженность экстремального события (%)	
				патологии	выпавшие кольца
81.	1900	2f,1fl,2l	26	19	—
82.	1942	2m	27	—	7
83.	1958	2m	27	—	7

Примечание: f – морозобойное кольцо; l – светлое кольцо; fl – флюктуация древесины; m – выпавшее кольцо. Жирным шрифтом выделены даты выраженных экстремальных событий.

снижение прироста деревьев с возрастом приводит к повышению их чувствительности к неблагоприятным условиям вегетационного сезона и, как следствие, к выпадению годичных колец.

Для определения экстремальных лет на исследуемом участке нами были выявлены случаи возникновения патологий или выпавших колец у двух и более деревьев в один год. По аномалиям в структуре годичного кольца (таблица) было выделено 36 дат экстремальных событий. На эти даты приходятся 155 (63%) из 248 обнаруженных аномалий (рис. 3). Морозобойные кольца на исследуемом участке совпадают как между собой, так и с другими типами аномалий. Их присутствие во всех выделенных нами годах экстремальных событий позволяет сделать вывод, что исследуемые типы аномальных структур годичных колец имеют общую природу происхождения – отрицательная температура. Аналогичные выводы были получены в результате анализа образцов древесины с живых деревьев по 13 участкам на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе [1, 2]. На общем фоне в распределении патологий и выпавших колец выделяются два случая резкого увеличения их плотности – с 1220 по 1280 г. и с 1330 по 1400 г. (рис. 3). Наше предположение о том, что такое распределение вызвано действием орографического фактора на компактно произрастающую группу деревьев, не подтвердилось при анализе координат деревьев на участке. В этом случае можно предположить, что в эти периоды происходили слабые возвраты холодов в первую половину сезона, которые повреждали деревья возрастом до ста лет (рис. 3).

Анализ распределения выпавших колец выявил 52 экстремальных климатических события, на которые приходятся 187 (76%) всех выпавших колец (таблица). Также было зафиксировано два случая (1190–1191, 1699–1700 гг.), когда выпадение колец у деревьев наблюдалось в течение двух лет. Сопоставление данных о времени образования экстремальных климатических событий

по патологиям и выпавшим кольцам показало, что в большинстве случаев они не совпадают, за исключением 935, 1109, 1180, 1245, 1526, 1647 гг. В климатическом плане такое сочетание аномалий и выпавших колец в пределах одного года свидетельствует о коротком вегетационном периоде, с сильными заморозками внутри сезона. Теоретически это должно было приводить к неблагоприятным последствиям – резкому снижению прироста годичных колец. Для проверки этого предположения выделенные 41-летние периоды, содержащие эти экстремальные события, были наложены друг на друга (рис. 4А). Из представленной на рисунке информации видно, что, как мы и предполагали, годы наложения экстремальных событий, выделенных по патологиям и выпавшим кольцам, характеризуются резким падением прироста. При этом уже на следующий сезон прирост у деревьев восстанавливается до средних значений.

Дополнительно было выделено 10 случаев, когда разница между годом образования патологий структуры годичных колец и годом выпадения колец составила один год: 536–537, 905–906, 1244–1245, 1258–1259, 1370–1371, 1532–1533, 1645–1646, 1783–1784, 1812–1813, 1874–1875 гг. (рис. 4Б). На рисунке видно, что во всех случаях наиболее сильно выраженное падение прироста наблюдается на следующий год после образования патологий (год выпадения годичного кольца). Можно предположить, что кратковременные неблагоприятные климатические условия внутри вегетационного периода в первый год приводят к появлению аномалий в структуре годичных колец и ослаблению деревьев. Повторение неблагоприятных климатических условий на следующий год приводит к выпадению годичных колец. Стоит отметить, что годы, когда патологии и выпавшие кольца накладываются друг на друга или последовательно проявляются в течение двух и более лет, должны были вызвать крайне неблагоприятное влияние на социум [14, 18].

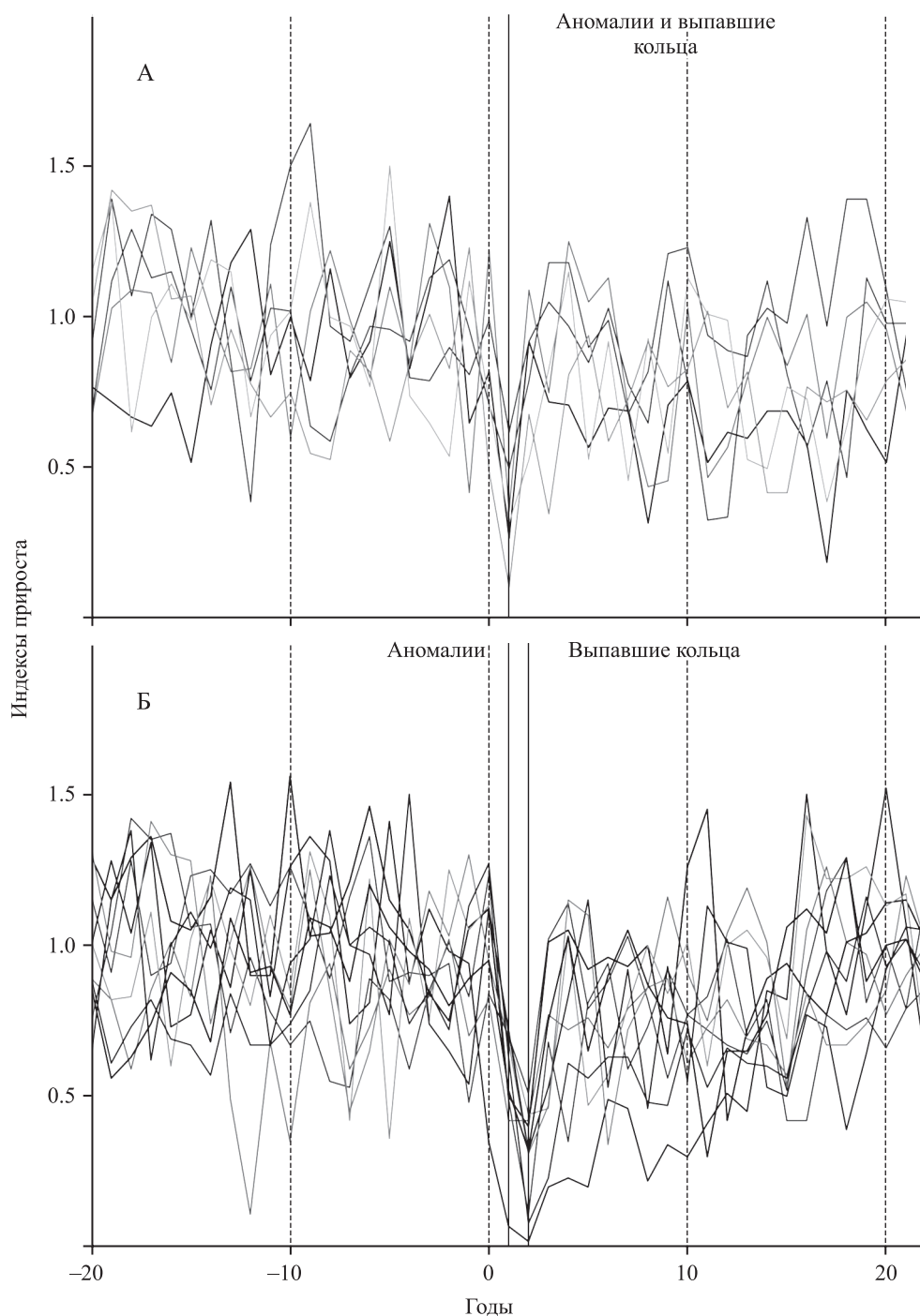


Рис. 4. Изменчивость прироста в древесно-кольцевой хронологии Jelo за последние 1500 лет в годы когда: А —патологии и выпавшие кольца пришлись на один год; Б —выпавшие кольца образуются на следующий год, после возникновения патологий.

Для оценки силы проявления экстремальных климатических событий был рассчитан такой показатель, как выраженность экстремального события (путем расчета процентного соотношения количества найденных патологических структур или выпавших колец к общему числу образцов в хронологии за этот год, таблица). Это позволило

выделить события, у которых показатель выраженности экстремального события равен или превысил среднее арифметическое значение по выборке (таблица). Следующие друг за другом в течение двух и более лет даты рассматривались как одно экстремальное событие, сила его проявления в таком случае оценивалась по наиболее выраженному

значению. В результате из 83 первоначально выявленных дат (таблица) было выделено 18 значимых экстремальных событий, пришедшихся на 536–537, 591, 627, 803, 874, 905–906, 935, 1243–1245, 1370–1371, 1399, 1645–1647, 1662, 1699–1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1900 гг. Характерно, что выделенные нами события просматриваются у разновозрастных деревьев, в том числе фиксируются и у деревьев с достаточно толстой корой, предохраняющей клетки камбия от повреждения отрицательными температурами в период вегетации (рис. 3).

Для верификации выявленных нами дат экстремальных событий с косвенными источниками были привлечены исторические данные за период с 1600 по 1850 г. [14]. За этот период было зафиксировано 6 значимых экстремальных событий, приходящихся на 1645–1646, 1662, 1699–1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814 гг. Так, например, в 1662 г. в Тобольском уезде зафиксирован неурожайный год [5]. В 1699 г. отмечен настолько сильный неурожай в Верхотурском и Енисейском уездах, что “многие крестьяне те зяблые хлеба на собинных своих полях не жали, потому что ядра нисколько нет” [22, с. 135; 23, с. 345]. В 1700 г. сильный неурожай был в Иркутском и Енисейском уездах [23, с. 191]. В 1783 г. из Тобольского наместничества сообщали о летних заморозках и неурожае [10, с. 327; 17], в Алтайском округе и Бийской слободе зафиксированы сильные летние заморозки, повредившие урожай “десятины по неимению в колосьях ядра нежатые бросили” [3, с. 104]. В 1784–1785 гг. в Алтайском округе был 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...” [12]. В 1812–1814 гг. повсеместно были отмечены сильные неурожаи в Сибири, которые вели к росту цен на хлеб и голоду. В 1812 г. в Среднем Приобье, Алтайском округе, Красноярском и Енисейских уездах был отмечен неурожай хлебов [7, с. 93; 9, с. 240; 11]. В южных округах Сибири дошло до того, что люди употребляли в пищу глину, гнилое, талое и березовое дерево [13]. В 1813 г. о неурожаях доносили из Среднего Приобья, Пачинской волости, Томского уезда, Алтайского, Красноярского, Енисейского и Иркутского округов [7, с. 32, 37, 93–94; 9, с. 174, 240; 11]. В 1814 г. неурожайный год был в Тюменском и Томском уездах, Иркутской губернии, Верхнеуденском округе и Забайкальской области [8, с. 37; 9, с. 236; 11]. Таким образом, в выделенные нами годы климатические экстремумы оказали существенное воздействие не только на функционирование экосистем [21], но и хозяйственную

деятельность населения [14]. Однако следует отметить, что 1645 и 1751 гг. не нашли своего подтверждения в исторических источниках.

Причины возникновения климатических экстремумов, как и в случае с объяснением депрессий ширины годовых колец, вероятно, следует искать в похолоданиях, вызванных затемнением атмосферы вследствие попадания в ее высокие слои продуктов вулканических извержений. Хорошо известно, что периодические вулканические извержения вызывают изменения прозрачности атмосферы, приводят к снижению температуры вследствие дефицита прихода солнечной радиации, важного фактора, определяющего отрицательную реакцию древесных растений (снижение прироста) в условиях температурного лимитирования [25, 33, 38]. Такой эффект обусловлен вулканическими извержениями (пелейского и плининского типов) с показателем силы извержения вулкана VEI (Volcanic Explosivity Index) 4 и выше, основанным на оценке объема извергнутых продуктов (тефры) и высоте столба пепла [31]. Столбы пепла и газов, извергаемые этими вулканами, способны пробить тропопазу и достичь стратосферы, разнося выбросы на огромные расстояния. В этом случае последствия вулканических извержений должны фиксироваться в тот же год, если извержение произошло до или в начале вегетационного периода, или проявляться в последующие годы. Сопоставление полученных нами восьми значимых дат с данными по извержениям вулканов [37] за период с 1600 по 2007 г. показало их совпадение во всех случаях, кроме 1900 г. Так, экстремальное событие 1645–1647 гг., возможно, связано с извержением вулканов Shiveluch, Камчатка (VEI 5) в 1652±11 г. и Makian, Индонезия (VEI 4) в 1646 г. Экстремум 1662 г., возможно, является последствием извержения вулкана Long Island 1660±20 г., Новая Гвинея (VEI 4). Событие 1699–1700 гг., возможно, вызвано извержением вулканов Chikurachki, Курильские острова (VEI 4) в 1690±10 г. и Raoul Island, Новая Зеландия (VEI 4) в 1720±50 г. Событие 1751 г., возможно, является последствием извержения вулкана Ksudach, Камчатка (VEI 4) в 1750 г. Экстремум 1783 г. связан с извержением в июне вулканов Grimsvotn, Исландия (VEI 4+) и Asamayama, Япония (VEI 4). На события 1812–1814 гг. пришлось извержения индонезийских вулканов Tambora (VEI 7) и Awu (VEI 4) в 1812 г. В 1813 г. произошло извержение вулкана Suwanose-Jima, Япония (VEI 4), а в 1814 г. извержение вулкана Mayon, Филиппины (VEI 4). Экстремум 1874–1875 гг. мог быть вызван извержением вулкана Grimsvotn, Исландия (VEI 4) в 1873 г. и Askja, Исландия (VEI 5) в 1875 г. Таким образом, большинство дат значимых экстремальных

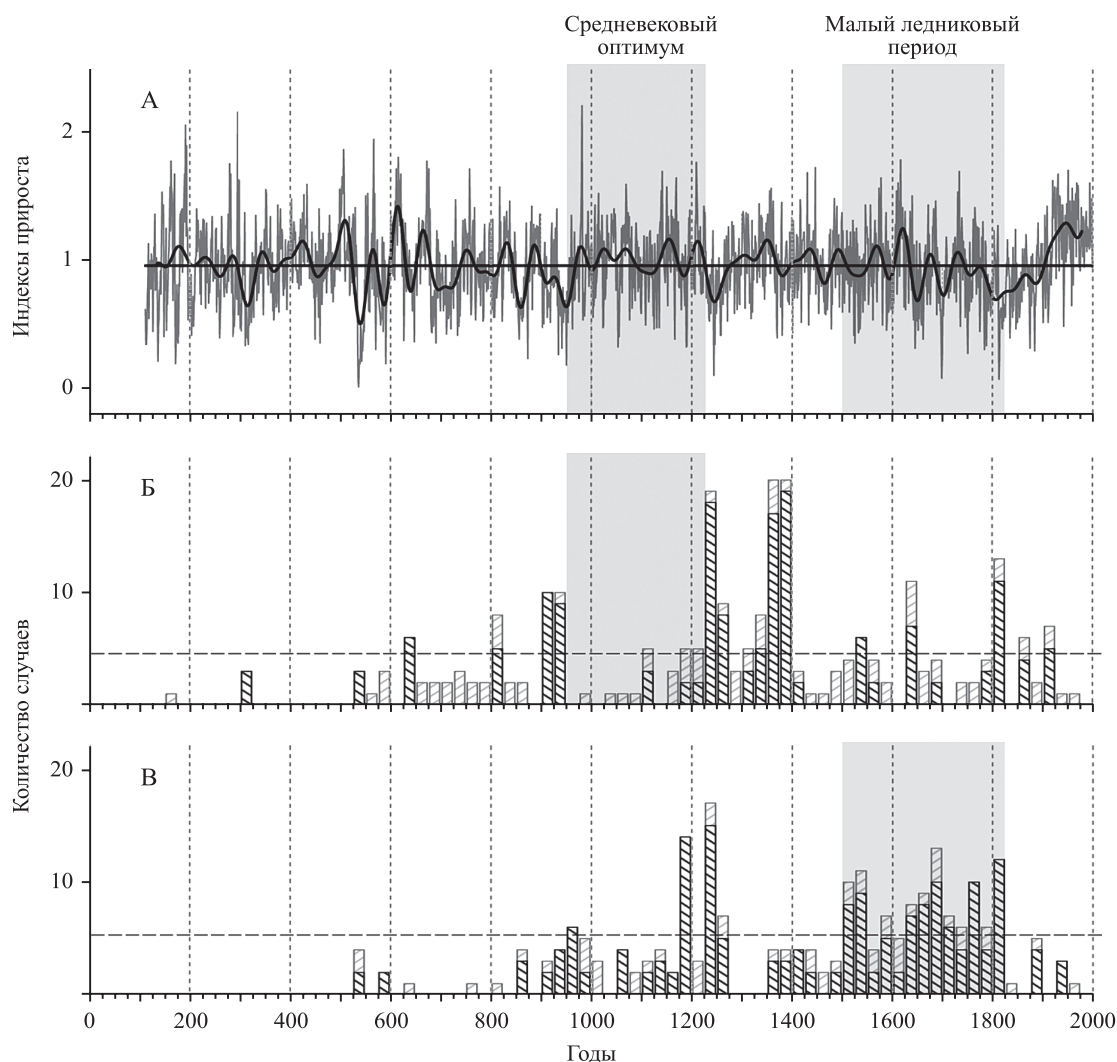


Рис. 5. Ширина годичных колец (А) и распределение аномалий (Б) и выпавших колец (В) по 25-летиям. Горизонтальная пунктирная линия — среднее арифметическое значение, светлая штриховка — кол-во всех случаев, темная штриховка — кол-во совпадающих случаев.

событий, выявленных по патологиям структуры годичных колец и выпавшим кольцам, хорошо согласуются с крупными вулканическими извержениями (VEI 4 и выше). К схожим выводам пришли исследователи [19, 35], проводившие сопоставление реконструкций экстремальных климатических событий и крупных вулканических извержений для западной части США и России (полуостров Ямал).

Наибольший интерес представляло сравнение полученных результатов с данными пространственного анализа экстремальных климатических событий для Республики Алтай, выполненного нами ранее [2]. При сопоставлении данных за общий период — с 1700 г. по настоящее время из 12 событий по хронологии Jelo совпадает 9 (1699–1700,

1736, 1751, 1775, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1884, 1958 гг.), не совпадает 3 (1754, 1900, 1942 гг.). Из 6 выраженных экстремальных событий (1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1900 гг.) пять пришлись на события межрегионального и регионального, а одно (1751 г.) локального масштаба. Одновременно с этим прослеживается обратная ситуация, когда события регионального масштаба, выделенные по данным пространственного анализа [2], на участке Jelo проявились слабо (например, 1775 или 1884 гг.). В этом случае можно констатировать, что построенная хронология экстремальных событий для участка Jelo хорошо согласуется с результатами пространственного анализа распределения климатических экстремумов по Республике Алтай [2].

Помимо погодичного анализа распределения аномалий и выпавших колец представляло интерес проанализировать их количественное распределение за более длительные периоды (рис. 5). Для этого все зафиксированные случаи аномалий и выпавших колец за период с 550 по 2007 г. были суммированы по 25-летиям. Сопоставление аномалий с индексами прироста хронологии Jelo показало, что их увеличение приходится на годы депрессий прироста (рис. 5А, Б). Достаточно четко выделяется период с середины X по начало XIII в., когда число патологий падает значительно ниже среднего уровня. Данный период хорошо соотносится с границами средневекового оптимума (950–1250 гг.), выделенного для Западной Европы [26, 30]. В этом случае средневековый оптимум на территории Республики Алтай, как и в Западной Европе, начался одновременно, однако завершился на территории Алтая на 25 лет раньше.

Анализ распределения количества выпавших колец по 25-летиям показал, что периоды, когда происходит резкое возрастание количества выпавших колец, как в случае с распределением патологий, приходятся на годы депрессий ширины годовичных колец хронологии Jelo (рис. 5А, Б). Наиболее длительная депрессия с начала XVI до начала XX в. хорошо соотносится с границами малого ледникового периода, который в Западной Европе охватывает 1550–1800 гг. [29]. Однако, в отличие от Европы, в нашем случае он начинается на 50 лет раньше и заканчивается на 25 лет позже. Таким образом, использование подхода, когда в качестве индикатора климатических событий выступают патологии структуры и выпавшие годовичные кольца, является более информативным показателем по сравнению с шириной годовичного кольца. В нашем случае это позволило более точно выделить границы средневекового оптимума и малого ледникового периода.

Заключение. В результате проведенной работы на основе анализа распределения патологий и выпавших годовичных колец была построена хронология экстремальных климатических событий, которая позволила выделить наиболее значимые экстремальные события — 536–537, 591, 627, 803, 874, 905–906, 935, 1243–1245, 1370–1371, 1399, 1645–1647, 1662, 1699–1700, 1751, 1783–1784, 1812–1814, 1874–1875, 1900 гг. Наличие морозобойных колец во всех датах экстремальных событий, выявленных по патологиям, позволяет сделать вывод, что все типы аномальных структур годовичных колец на верхней границе леса вызваны длительным воздействием отрицательных температур.

Верификация выявленных нами дат сильных экстремальных событий с историческими данными за период с 1600 по 1850 г. [14] показала, что почти все даты значимых экстремальных событий согласуются с исторической информацией о сильных холодах, заморозках, неурожаях и др. Сопоставление с данными об извержениях вулканов ($VEI \geq 4$) за период с 1600 по 2007 г. показало их совпадение в шести случаях из семи. Анализ внутривекового распределения аномалий структуры годовичных колец и выпавших колец позволил, по сравнению с таким показателем, как ширина годовичного кольца, более четко выделить границы средневекового оптимума и малого ледникового периода на территории Алтая, которые хорошо верифицируются с данными, полученными исследователями для Западной Европы.

Таким образом, в результате проведенной работы на основании анализа патологических структур и выпавших колец была получена хронология экстремальных климатических событий за последние 1500 лет в Центральном Алтае.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 15-14-30011.

Acknowledgements. The study is supported by the Russian Science Foundation (project no. 15-14-30011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баринов В.В., Мыглан В.С., Тайника А.В., Ойдуна О.Ч., Ваганов Е.А.* Экстремальные климатические события в Республике Тыва по дендрохронологическим данным // Сиб. экол. журнал. 2015. № 2. С. 507–517.
2. *Баринов В.В., Мыглан В.С., Назаров А.Н., Ваганов Е.А., Агатова А.Р., Ненон Р.К.* Экстремальные климатические события в Республике Алтай по дендрохронологическим данным // Изв. РАН. Сер. биол. 2016. № 2. С. 188–198.
3. *Булыгин Ю.С.* Первые русские крестьяне на Алтае. Барнаул: Алтайское кн. изд-во, 1974. 144 с.
4. *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: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. № 2. С. 56–60.
5. *Вилков О.Н.* Очерки социально-экономического развития Сибири конца XVI — начала XVIII в. Новосибирск: Наука, 1990. С. 233.
6. *Гурская М.А., Шиятов С.Г.* Распределение морозобойных повреждений в древесине хвойных деревьев // Экология. 2006. № 1. С. 9–15.
7. *Емельянов Н.Ф.* Заселение русскими среднего Приобья в феодальную эпоху. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981. 181 с.

8. Емельянов Н. Ф. Город Томск в феодальную эпоху. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1984. 224 с.
9. Кожухов Ю. В. Русские крестьяне Восточной Сибири в первой половине XIX века. ЛГУ, 1967. 384 с.
10. Кондрашенков А. А. Крестьяне Зауралья в XVII–XVIII вв. Ч. 2. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1969. С. 275.
11. Лукичев С. С. Скотоводство в приписной деревне Западной Сибири в дореформенный период XIX в. // *Вопр. истории Сибири*. 1982. Вып. 11. С. 51.
12. Мамсик Т. С. Община и быт алтайских беглецов – “каменщиков” // *Из истории семьи и быта сибирского крестьянства XVII – начала XX в.* Новосибирск: Изд-во НГУ, 1975. С. 58.
13. Миненко Н. А. Экологические знания и опыт природопользования русских крестьян Сибири в XVIII – первой половине XIX в. Новосибирск: Наука, 1991. С. 13.
14. Мыглан В. С. Климат и социум Сибири в малый ледниковый период. Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2010. 230 с.
15. Мыглан В. С., Жарникова О. А., Малышева Н. В., Герасимова О. В., Ваганов Е. А., Сидорова О. В. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет // *География и природные ресурсы*. 2012. № 3. С. 22–30.
16. Овчинников Д. В., Панюшкина И. П., Адаменко М. Ф. Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летних температур // *География и природные ресурсы*. 2002. № 1. С. 102–108.
17. Русакова Л. М. Состав и соотношение сельскохозяйственных культур в Среднем Зауралье во второй половине XVIII – первой половине XIX в. // *Вопросы истории Сибири до советского периода*. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1973. С. 327.
18. Хантемиров Р. М. Динамика древесной растительности и изменения климата на севере Западной Сибири в голоцене. Автореф. дис. ... д. биол. наук. Екатеринбург, 2009. 43 с.
19. 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.
20. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Г., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 2000. 80 с.
21. Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // *Лесоведение*. 2007. № 6. С. 11–22.
22. Шунков В. И. Очерки по истории колонизации Сибири в XVII – начале XVIII века. М.: Изд-во АН СССР, 1946. 229 с.
23. Шунков В. И. Очерки по истории земледелия Сибири (XVII век). М.: Изд-во АН СССР, 1956. 432 с.
24. Ammann C. M. and Wahl E. R. The importance of the geophysical context in statistical evaluations of climate reconstruction procedures. *Climatic Change* 85, 2007. P. 71–88.
25. Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., and Osborn T. J. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature*: 393, 1998. P. 450–455.
26. Diaz H., Henry F., and Hughes M. The Medieval warm period. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. P. 134.
27. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-ring Bulletin*. 1983. V. 43. P. 69–78.
28. IPCC2013 Climate Change. The Physical Science Basis. International Working Group Contributions to the 5th Assessment Report of the IPCC. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2013. 1483 p.
29. Lamb H. H. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. *Climate: present, past and future*. London: Methuen, 1972. P. 107.
30. Mann M. E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R. S., Hughes M. K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., and Ni F. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science* 326(5957), 2009. P. 1256–60.
31. Newhall C. A. and Self S. The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of the explosive magnitude for historical volcanism // *J. Geophys. Res.* 1982. № 87. P. 1231–1238.
32. Rinn F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-rings analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
33. Robertson I., Froyd C. A., Gagen M., and Hicks S. Climates of the past: evidence from natural and documentary archives // *J. of Quaternary Science*. 2009. № 24. P. 411–414.
34. Robock A. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics* 38, 2000. P. 191–219.
35. Salzer M. W. and Hughes M. K. Volcanic eruptions over the last 5,000 years from bristlecone pine tree-ring widths and frost rings // *Springer Science+Business Media B. V.* V. 41 of the series *Advances in Global Change Research*. 2010. P. 469–482.
36. Sidorova O. V., Saurer M., Myglan V. S., Eichler A., Schwikowski M., Kirilyanov A. V., Bryukhanova M. V., Gerasimova O. V., Kalugin I., Daryin A., and Siegwolf R. T. W. A multi-proxy approach for revealing recent climatic changes in the Russian Altai. *Climate Dynamics* 38, 2012. P. 175–188.
37. Worldwide Holocene Volcano and Eruption Information: Smithsonian Institution – Global Volcanism Program. 2013. URL: http://volcano.si.edu/list_volcano_holocene.cfm.
38. Zielinski G. A. Use of paleo-records in determining variability within the volcanism-climate system // *Quaternary Science Reviews*. 2000. № 19. P. 417–438.