

На правах рукописи



**Баринов Валентин Викторович**

**ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ  
В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1500 ЛЕТ  
ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Специальность 03.02.08 – Экология (биология) (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Красноярск – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель: **Мыглан Владимир Станиславович,**  
доктор исторических наук

Официальные оппоненты: **Бенькова Вера Ефимовна,**  
доктор биологических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории структуры древесных колец

**Быков Николай Иванович,**  
кандидат географических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», доцент кафедры экономической географии и картографии

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тувинский государственный университет»

Защита состоится «8» февраля 2019 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 999.119.02 на базе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 660041, г. Красноярск, проспект Свободный, 79, ауд. Р8-06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте организации <http://www.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Лариса Александровна Глущенко

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность темы.* В последние десятилетия значительное внимание общественности и правительственных организаций привлекают происходящие изменения климата планеты (Второй оценочный ..., 2014; UNEP, 2016 и др.). В первую очередь эти изменения проявляются в виде существенного потепления (особенно в высоких широтах и высокогорных областях), которое уже привело к изменению режимов температуры, осадков, стремительному росту числа экстремальных проявлений климата на региональном уровне. Текущая ситуация вызывает вопросы о причинах происходящих изменений (Харук и др., 2008; Sidorova et al., 2012; D'Arrigo et al., 2001; Kirilyanov et al., 2012; Zhang et al., 2014; Барцев и др., 2016 и др.). Публикуемые межправительственной группой экспертов обзоры фактического состояния глобальной климатической системы (IPCC, 2007, 2014а, 2014б) в качестве основной причины указывают на антропогенное воздействие. В то же время для понимания, насколько происходящие колебания выходят за границы естественной изменчивости климата, необходимо обратиться к его истории за несколько последних тысячелетий. Однако длительность существующих рядов инструментальных метеорологических наблюдений, как правило, не превышает 50–100 лет. В связи с этим для изучения климата прошлых эпох используют такие косвенные источники информации, как древесно-кольцевые хронологии, озерные отложения, ледовые керны и пр. (Briff, Osborn, 2002; Jones, Mann, 2004; Esper et al., 2005; Kaplan et al., 2003; Сидорова и др., 2007; Blyakharchuk et al., 2007; Andreev et al., 2007; Rudaya et al., 2016 и др.). Наиболее высокое разрешение (год и даже сезон) из перечисленных источников имеют древесно-кольцевые хронологии, что позволяет выполнять палеоклиматические реконструкции изменчивости температур за длительные интервалы времени (Fritts, 1976; Наурзбаев и др., 2001; Nantemirov, Shiyatov, 2002; Овчинников и др., 2002; Мыглан и др., 2012; Buntgen et al., 2016 и др.).

Как правило, дендрохронологические исследования выполняются для чувствительных природных экосистем северных и высокогорных районов (Ваганов и др., 1998; Наурзбаев и др., 2001; Шиятов, Мазепа, 2002 и др.). В настоящее время наибольшие перспективы в дендроклиматическом плане открывает Алтае-Саянская горная страна, которая представляет собой одну из крупнейших горных систем Центральной Азии, расположенную на территории России, Китая, Монголии, Казахстана и играющую важную роль в формировании климатических процессов, протекающих в Центральной и Северной Азии (Buntgen et al., 2016; Taynik et al., 2016 и др.). В Алтае-Саянском регионе в условиях верхней границы леса, где средняя температура воздуха июля составляет 8–9 °С, а возвраты холодов (заморозки, выпадение снега) возможны в течение всего вегетационного сезона (Изменение климата ..., 2013), изменчивость прироста древесной растительности (за счет короткого вегетационного сезона и зависимости от температуры) содержит сильный климатический сигнал, что позволяет выполнять реконструкции

изменчивости летних температур за тысячелетние периоды (Адаменко, 1978; Овчинников и др., 2002; Мыглан и др., 2012; Buntgen et al., 2016). При этом исследователи, как правило, опираются на такие параметры годичного кольца, как ширина, плотность и изотопный состав (Fonti et. al, 2013; Sidorova et. al, 2012; Schneider et. al, 2015 и др.), однако этот перечень не является исчерпывающим. Объем получаемой палеоклиматической информации может быть существенно дополнен путем изучения аномальных структур годичных колец (морозобойных, светлых, выпадающих колец и флуктуаций плотности древесины), выступающих индикаторами экстремальных климатических событий, таких как летние заморозки, понижения приземной температуры воздуха в течение вегетационного периода, раннее окончание вегетационного сезона и др. (Frits, 1976; Schweingruber, 1996; Гурская, Шиятов, 2006; Горланова, Хантемиров, 2007; Хантемиров и др., 2011; Гурская, Агафонов, 2013; Гурская, Бенькова, 2013 и др.). Несмотря на то, что эти характеристики позволяют получить информацию о суровости климатических условий произрастания деревьев и погодных особенностях летних месяцев (Хантемиров, 2009; IPCC, 2013), для Алтае-Саянской горной страны работы по их анализу фактически не проводились.

В этом случае *целью* представленного диссертационного исследования является построение хронологии экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе за последние 1500 лет на основе анализа распределения аномалий структуры годичных колец.

*Эта цель достигается путем решения следующих задач:*

- 1) создание сети участков на верхней границе леса по лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), охватывающих Алтае-Саянский регион в широтном направлении;
- 2) выявление аномалий структуры годичных колец (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпадающих колец) для определения дат экстремальных климатических событий на каждом участке;
- 3) построение обобщенной хронологии экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе за последние 1500 лет;
- 4) анализ пространственно-временного распределения экстремальных климатических событий;
- 5) верификация полученных дат экстремальных событий с данными о содержании кислотных остатков в ледовых колонках, времени вулканических извержений  $VEI \geq 4$ , историческими свидетельствами о погодных аномалиях и пр. источниками.

В качестве объекта исследования в работе выступают экстремальные климатические события на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе, а предметом исследования являются аномалии структуры годичных колец и выпавшие годичные кольца в образцах лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb).

### ***Положения, выносимые на защиту:***

1. аномалии структуры годичных колец в основном представлены выпавшими и морозобойными кольцами, которые являются индикатором экстремальных климатических событий;
2. выявление экстремальных климатических событий регионального масштаба\* возможно только при анализе данных сети древесно-кольцевых хронологий;
3. экстремальные климатические события, охватившие Алтае-Саянский регион, в значительной мере являются следствием воздействия стратосферных извержений вулканов.

***Территориальные рамки*** исследования ограничены крайними точками широтного трансекта, состоящего из 13-ти участков на верхней границе леса (от 2100 до 2280 м н.у.м.) в Алтае-Саянском регионе (Алтае-Саянской горной стране). При физико-географическом районировании территории применялась схема деления Алтае-Саянского региона, предложенная Самойловой и др. (2008).

***Хронологические рамки.*** Исходя из того, что для определения территориального охвата экстремальных событий необходимо как минимум два участка (две хронологии), хронологические (временные) рамки исследования были ограничены общим периодом, охватывающим последние полтора тысячелетия. На указанном периоде у трех наиболее длительных древесно-кольцевых хронологий (Ak-ha, Jelo, Mongun) значения показателя  $EPS \geq 0,85$  (показатель чувствительности древесно-кольцевой хронологии к изменению внешних факторов зависит от количества анализируемых образцов и показывает, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности).

***Научная новизна и теоретическая значимость.*** Результаты исследования показали, что основными индикаторами экстремальных событий на верхней границе леса выступают выпавшие и морозобойные кольца, которые образуются у деревьев на протяжении всей их жизни и присутствуют во всех датах экстремальных климатических событий (т.е. по времени образования совпадают как между собой, так и со светлыми кольцами и флуктуациями структуры годичных колец).

На основе анализа распределения аномалий структуры колец у деревьев в пределах трансекта, дат сильных и средних экстремальных климатических событий в Алтайской и Тывинской областях и привлечения данных об изменчивости прироста (Taunik et al., 2016) в исследовании показана однородность реакции деревьев на внешние климатические проявления на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе.

\* Региональными событиями в работе обозначены сильные экстремальные климатические события, проявившиеся на 67% и более участков в Алтае-Саянском регионе.

В работе наглядно продемонстрировано, что опираясь на материалы одной (локальной) древесно-кольцевой хронологии, невозможно достоверно определить даты экстремальных климатических событий регионального масштаба.

На основе разработанного нового подхода к анализу данных о распределении аномалий структуры годичных колец для широтного трансекта была построена хронология экстремальных климатических событий для Алтае-Саянского региона за последние 1500 лет.

Верификация экстремальных климатических событий, выявленных в работе, с данными об экстремальных событиях в других регионах, с историческими записями о неблагоприятных природных явлениях, данными о крупных вулканических извержениях позволила обозначить даты экстремальных событий глобального масштаба, проявившиеся на территории Северного полушария.

**Практическая значимость.** В представленной работе выявлены даты сильных экстремальных событий и уточнены границы длительных климатических изменений за последние 1500 лет. В исследовании показано, что современное потепление в Алтае-Саянском регионе хорошо прослеживается в виде беспрецедентного снижения числа фиксируемых случаев аномалий структуры и выпавших годичных колец, аналогов которому за последние 1500 лет не выявлено. Полученная информация представляет важность для реконструкции хозяйственной деятельности и социальных процессов в прошлом, а также прогнозирования и оценки рисков для сельского хозяйства в регионе в будущем.

**Личный вклад автора.** Данная диссертационная работа представляет собой обобщенный результат многолетних исследований автора (с 2011 по 2018 гг.). Все выносимые на защиту положения и результаты получены либо лично соискателем, либо при его непосредственном участии. Сбор полевого материала был проведен совместно с сотрудниками междисциплинарной лаборатории естественнонаучных методов в археологии и истории ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Обработка материала, датировка и анализ полученных результатов выполнены автором лично.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты исследования были представлены на 8 международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, входящих в перечень научных изданий индексируемых базами данных ВАК (5) и Web of science, Scopus (5):

**Объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 157 страницах машинописного текста (включая 15 таблиц, 49 рисунков и 30 страниц приложения).

## Глава 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА В РАБОТАХ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

Обзор выполнен в виде краткого описания работ исследователей, оказавших влияние на формирование основ и принципов дендрохронологии как научной дисциплины. В подразделах представлен обзор опубликованных работ, посвященных изучению аномальных структур годовичных колец (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпадающих годовичных колец). Анализ опубликованных работ показал, что среди отечественных ученых значимый вклад в исследования анатомии древесной растительности внесли: В.Е. Бенькова, Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, А.В. Кирдянов, Р.М. Хантемиров, Л.А. Горланова, М.А. Гурская, Д.В. Овчинников, А.В. Шашкин, Л.И. Агафонов, В.С. Мазепа, М.М. Наурзбаев, О.Н. Соломина, А.Н. Николаев, М.В. Фонти и многие др.

## Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Во второй главе представлено физико-географическое описание и схема районирования Алтае-Саянской горной страны. Дается краткая характеристика климатических условий в регионе. Приводится описание 13 участков, заложенных по верхней границе леса (от 2100 до 2280 м н.у.м.). Участки были разделены в соответствии с районированием Г.С. Самойловой и др. (2008) на две группы: первая включает в себя 7 участков, заложенных в Алтайской области, вторая – 6 участков в Тывинской области (рис. 1).



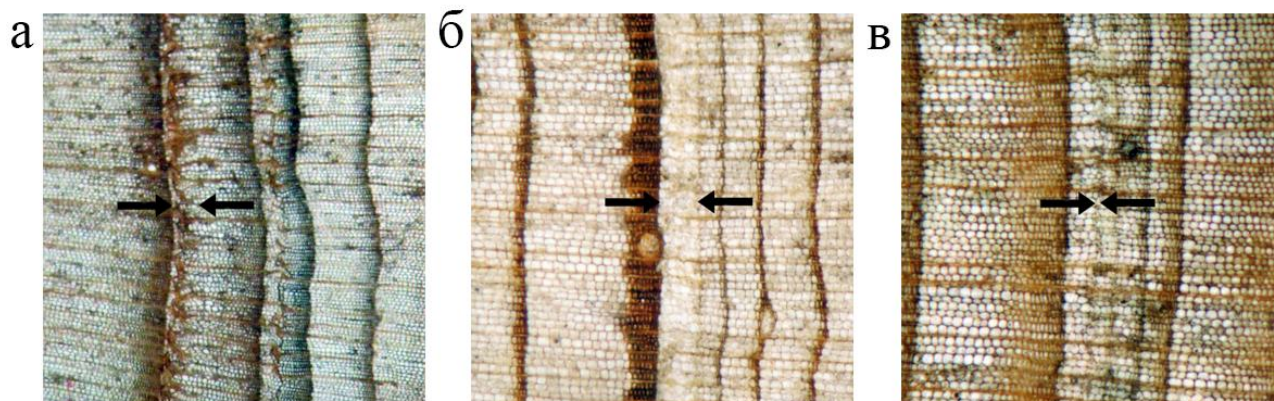
Рисунок 1. Схема расположения участков отбора образцов.

Для выявления аномалий структуры годовичных колец (морозобойных и светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпавших годовичных колец) в работе использован 801 образец палеодревесины и 355 кернов с живых деревьев (218 древесных спилов и 207 кернов

из Алтайской области и 583 спилов и 148 кернов в Тывинской области) лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.).

**Методика проведения исследования.** Для датировки образцов и построения древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) были привлечены стандартные дендрохронологические методы, которые служат надежным инструментом датирования событий природной и общественной истории (Шиятов и др., 2000).

Выявление нарушений структуры годичного кольца было выполнено путем визуального осмотра кернов и спилов на микроскопе Stemi 2000C (Carl Zeiss) при 40-50 кратном увеличении. Фиксация обнаруженных аномалий в структуре годичных колец достигалась путем нанесения отметки на поврежденное годичное кольцо. При поиске аномалий учитывались следующие типы нарушений в структуре годичного кольца, образующиеся на протяжении вегетационного сезона (рис. 18): морозобойное кольцо (f) – искаженная структура клеток, поврежденных заморозком в сезон роста, когда формируется ксилема (Ваганов, Шашкин, 2000); флуктуация плотности древесины (fl) – слой клеток в пределах годичного кольца, который выделяется из соседних слоев по размеру, форме и толщине клеточной стенки (Тишин, 2015); светлое кольцо (l) – зона поздней древесины годичного кольца с заметно слабой лигнификацией (Тишин, 2015). Перечисленные типы аномалий структуры годичных колец в высокогорных районах являются следствием температурных экстремумов внутри сезона роста деревьев (Schweingruber, 2007).



**Рисунок 2.** Типы анатомических нарушений структуры годичных колец: а – морозобойное кольцо (f); б – светлое кольцо (l); в – флуктуация анатомической структуры древесины (fl).

Отдельно в работе в ходе перекрестной датировки (при построении древесно-кольцевых хронологий по участкам) была получена информация о выпавших годичных кольцах (m). Данный тип аномалии структуры представляет собой полностью отсутствующее на радиальном срезе образца годичное кольцо в связи с прекращением деятельности камбиального слоя.

Учитывая, что основной задачей работы является определение дат экстремальных климатических событий с временным разрешением – год, все перечисленные аномалии структуры анализировались вместе. Критерием выделения экстремального события на участке было принято



совпадение дат образования двух и более аномалий в структуре годовых колец в образцах с одного участка исследования. При этом аномалии в структуре древесины, формировавшиеся последовательно в течение двух лет и более, фиксировались в качестве последствий одного события.

Построение хронологии экстремальных климатических событий было разделено на три этапа. На первом этапе был выполнен анализ распределения аномалий структуры годовых колец на каждом исследуемом участке. В результате были выделены экстремальные события, т.е. случаи образования двух и более аномальных структур (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности и выпавших колец) в один год. На втором этапе выполнено определение территориального охвата для выявленных экстремальных климатических событий для общего временного отрезка, где  $EPS \geq 0.85$ . В результате были выделены годы, в которые экстремальные события прослеживаются более чем на одном участке. Даты выявленных экстремальных событий, следующие друг за другом в течение двух и более лет, объединялись и рассматривались как последствия одного экстремального события. На третьем этапе выделенные события в зависимости от количества затронутых участков были ранжированы на сильные – даты отмечены на двух третях участков и более (более 67 %); средние – на половине участков (от 50 % до 67 %); слабые – менее чем на половине участков (менее 50 %).

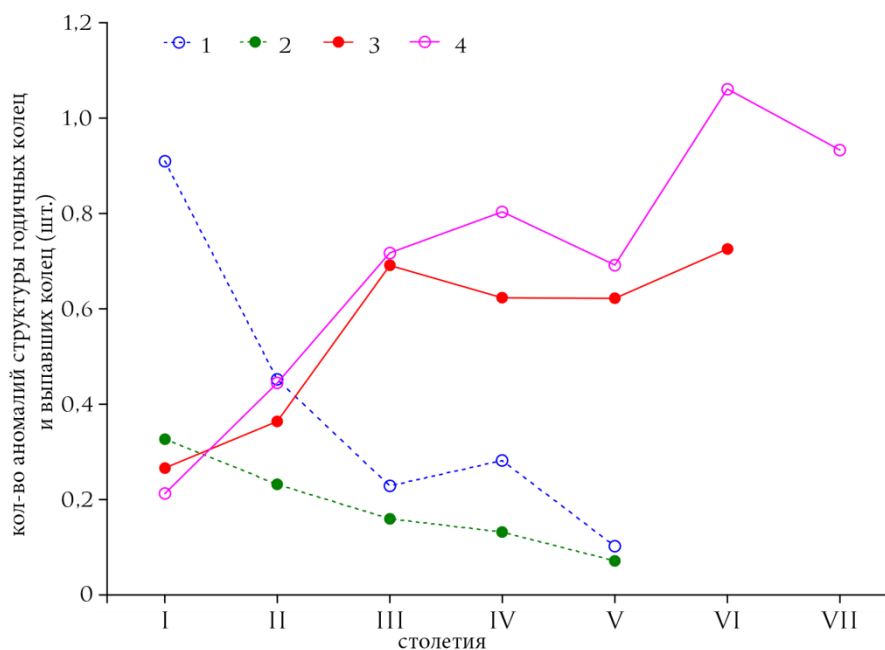
Для верификации полученных нами дат экстремальных климатических событий были привлечены данные о климатических событиях, выявленных по дендрохронологическим данным (Хантмеров и др., 2011; Salzer et al., 2007), ледовым колонкам (Zielinski et al., 1994; Clausen et al., 1997 и др.), извержениям вулканов (Smithsonian Institution, 2013) и историческим свидетельствам (Мыглан, 2010) и др.

### **Глава 3. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ХРОНОЛОГИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Территориальные рамки исследования ограничены 13-ю участками, заложенными на верхней границе леса (от 2100 до 2280 м н.у.м.) и образующими широтный трансект (более 1000 км), охватывающий территорию Алтае-Саянского региона (Алтае-Саянской горной страны) с запада на восток.

С 7-и участков в Алтайской области было отобрано 207 древесных кернов, на которых (в ходе визуального осмотра и перекрестного анализа) было выявлено 642 аномалии структуры годовых колец (152 f, 18 l, 32 fl и 440 m). С 6-участков в Тывинской области было отобрано 148 древесных кернов, на которых (в ходе визуального осмотра и перекрестного анализа) было выявлено 442 аномалии структуры годовых колец (180 f, 34 l, 21 fl, 207 m).

Для понимания насколько существенными являются различия в реакции деревьев на происшедшие климатические изменения было проведено сопоставление частоты образования аномалий структуры годичных колец относительно возраста деревьев для Алтайской и Тывинской областей. Для этого все зафиксированные случаи были суммированы по столетиям жизни деревьев и затем разделены на количество образцов, достигших соответствующего возраста (расчет выполнен без учета аномалий структуры, образующихся в первые 20 лет жизни дерева). Результаты показали, что в Алтайской и Тывинской областях аномалии структуры годичных колец фиксируются у деревьев в возрасте до 500 лет (рис. 3). Полученные данные отчасти противоречат ряду работ отечественных и зарубежных исследователей, в которых показано, что в возрасте около 30–40 лет у деревьев прекращают формироваться морозобойные повреждения (Гурская, Шиятов, 2006; Block, Treter, 2001; Fayle, 1981 и др.).



**Рисунок 3.** Распределение аномалий и выпавших колец относительно возраста деревьев. Тывинская область (1 – морозобойные, светлые кольца, флуктуации плотности древесины; 3 – выпавшие кольца) и Алтайская область (2 – морозобойные, светлые кольца, флуктуации плотности древесины; 4 – выпавшие кольца)

В распределении выпавших колец наблюдается другая закономерность: количество фиксируемых случаев синхронно растет по мере увеличения возраста деревьев (рис. 3). Наблюдается общее сходство в пропорциях распределения выпавших колец относительно возраста деревьев в Алтайской и Тывинской областях. Таким образом, полученные результаты анализа распределения аномалий структуры годичных колец (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпавших колец) в Алтайской и Тывинской областях показали схожесть реакции деревьев в пределах заложенного трансекта.

Синхронность возрастного распределения аномалий (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпавших колец), наличие общих дат сильных и средних

экстремальных климатических событий и согласованность прироста древесно-кольцевых хронологий на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе, выявленная А.В. Тайник (Тауник et al., 2016), позволили сделать вывод об однородности реакции лиственницы сибирской на внешние климатические проявления в Алтае-Саянском регионе с запада на восток и рассматривать 13 заложённых участков как единый в дендрохронологическом плане регион.

**Распределение экстремальных событий регионального масштаба в Алтае-Саянском регионе.** Для выделения экстремальных климатических событий регионального масштаба были сопоставлены даты совпадения двух и более аномальных структур или выпавших колец, полученные для каждого участка (Табл. 3).

**Таблица 3.** Распределение дат экстремальных климатических событий по участкам в Алтае-Саянском регионе

Алтайская область							Годы	Охват	Тывинская область					
Kokcy	Chind	Ak-ha	Jelo	Tute	Tara	Sukor			Mongun	Kolchan	Tan	Derzik	Kungur	Taris
						+	1754	•					+	
+		+					1775	•	+					
+	+	+		+			1783	•••	+	+	+	+	+	
+	+	+					1784	••	+	+	+		+	
		+				+	1785	•	+					
+	+	+		+		+	1788	••	+	+				
				+			1789	•				+		
+	+						1797	•	+	+	+	+		
				+			1800	•	+			+		
	+		+	+	+		1812	••	+	+	+	+		
			+	+		+	1813	•	+			+		
+	+	+	+	+			1814	•	+					
				+		+	1819	•	+					
+		+					1835	•	+				+	
+	+	+					1840	•						
+						+	1843	•		+		+		
+		+					1847	•	+					
+		+					1850	•						
+		+					1852	•						
+		+					1854	•				+	+	
							1867	•				+	+	
+		+					1869	•	+			+		
							1870	•			+	+	+	
+	+	+					1871	•						
	+		+				1875	•						
							1882	•	+	+		+		
+		+	+	+	+		1884	•••	+	+		+	+	
							1911	•	+	+				
							1923	•		+	+	+		
	+		+				1942	•						
+							1952	•				+		
			+			+	1958	•						

Примечание: + отмечены даты совпадения 2-х и более аномалий или выпавших колец на участке; ••• – сильное событие; •• – среднее событие; • – слабое событие. Даты, следующие друг за другом, рассмотрены как растянутые во времени последствия одного экстремального события.

Ранжирование дат экстремальных событий по территориальному охвату (согласно критериям, указанным в главе 2), выявило 2 сильных, 2 средних и 21 слабое экстремальное климатическое событие (Табл. 3).

Для верификации полученных дат сильных и средних экстремальных событий были использованы исторические свидетельства для сопредельных с Алтае-Саянским регионом территорий, содержащие информацию о неблагоприятных погодных условиях, неурожаях, голоде и т.д. (Мыглан, 2010). Так, например, **1783–1785 гг.** В 1783 г. в Тобольском наместничестве, Алтайском округе и Бийской слободе зафиксированы сильные летние заморозки, повредившие урожай: «десятины по неимению в колосьях ядра нежатые бросили» (Русакова, 1973; Кондрашенков, 1969, с. 327; Булыгин, 1974, с. 109). В 1784–1785 гг. в Алтайском округе зафиксировано выпадение снега в июле, «лежавшего трое суток», как следствие, был настолько сильный неурожай, что в некоторых местах люди добавляли в муку толченую пихтовую кору (Мамсик, 1975, с. 58). **1812–1814 гг.** В 1812 г. в Среднем Приобье, Алтайском округе, Красноярском и Енисейских уездах отмечены неурожай (Емельянов, 1981; Лукичев, 1982, с. 51; Кожухов, 1967, с. 240), в южных округах Сибири дошло до того, что люди употребляли в пищу глину, гнилое, талое и березовое дерево (Миненко, 1991, с. 13). В 1813 г. в Среднем Приобье, Пачинской волости, Алтайском округе, Томском уезде, Иркутском, Красноярском и Енисейском округах отмечались неурожай (Емельянов, 1981, с. 37; Емельянов, 1984, с. 32, 93, 94; Лукичев, 1982, с. 51; Кожухов, 1967, с. 174, 240), в Иркутске 18 июня отмечены заморозки (Иркутская летопись, 1990, с. 210).

Таким образом, полученные результаты показали, что годы сильных и средних экстремальных климатических событий неблагоприятно сказались не только на функционировании экосистем, но и на социальных процессах, в первую очередь на хозяйственной деятельности населения.

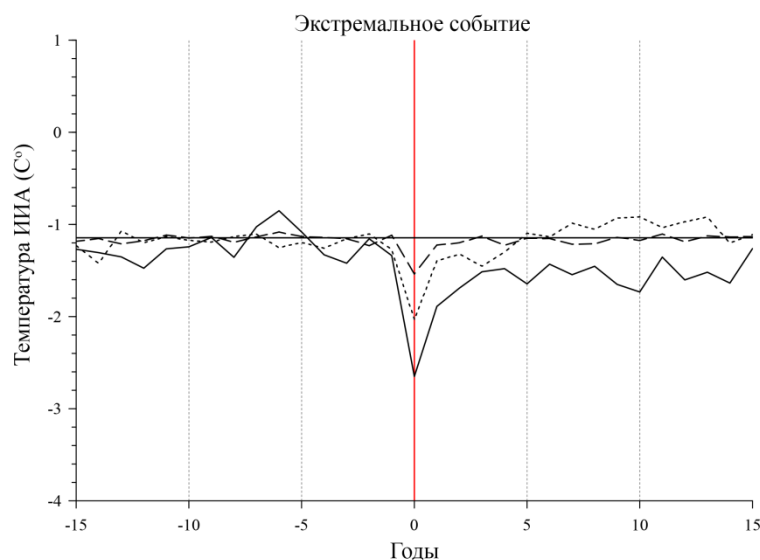
#### **Глава 4. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1500 ЛЕТ**

Проведенный в главе 3, анализ распределения аномалий структуры годичных колец вдоль широтного трансекта показал, что длительные ДКХ (Ak-ha, Jelo, Mongun, Kungur) отражают общее распределение экстремальных климатических событий в регионе. Вследствие чего, эти хронологии были привлечены для построения хронологии экстремальных климатических событий за последние 1500 лет для территории Алтае-Саянского региона.

Анализу подверглись 790 образцов древесины, на которых было выявлено 705 морозобойных колец, 30 светлых колец, 114 флуктуаций структуры годичных колец и 973 выпавших кольца.

В результате проведенного ранжирования экстремальные климатические события, произошедшие в Алтае-Саянском регионе, разделены на 19 сильных (536–537, 627, 803, 935, 942, 1258–1259, 1272, 1291, 1319, 1371, 1381, 1481, 1524, 1536, 1546, 1589, 1736, 1783–1785, 1884 гг.) и 39 средних (806, 825, 870, 951, 1021, 1054, 1059, 1088, 1109, 1124, 1136, 1172, 1180, 1187, 1190–1191, 1201, 1205, 1239, 1244–1245, 1333, 1367, 1399, 1411, 1434, 1450, 1479, 1495, 1501, 1513, 1515, 1532–1533, 1556, 1562, 1601, 1647, 1662, 1699–1700, 1788–1789, 1812–1814 гг.) событий.

Для того чтобы удостовериться в том, что выявленные экстремальные климатические события вызваны изменением приземной температурой воздуха на верхней границе леса, были привлечены данные по изменчивости температуры воздуха летних месяцев (июнь–август) в Алтае-Саянском регионе за последние 2000 лет (Buntgen et al., 2016). Для этого методом «наложенных эпох» из хронологии были выделены и наложены друг на друга 31-летние интервалы средних значений температуры летних месяцев. Из рисунка 4 видно, в годы всех экстремальных климатических событий (сильных, средних и слабых) наблюдается снижение средней температуры воздуха летних месяцев. При этом чем сильнее выражено экстремальное событие (проявилось на большем числе участков), тем более значительно снижение температуры.



**Рисунок 4.** Средние значения температуры воздуха ИИА (июнь–июль–август) в годы экстремальных климатических событий. Горизонтальной линией показано среднее арифметическое значение реконструированной температуры летних месяцев за последние 2000 лет. Сплошной кривой – средние значения реконструированной температуры летних месяцев в годы сильных экстремальных событий. Мелким пунктиром – средние значения реконструированной температуры летних месяцев в годы средних экстремальных событий. Крупным пунктиром – средние значения реконструированной температуры летних месяцев в годы слабых экстремальных событий.

Полученные результаты подтвердили, что наиболее корректно для сопоставления с данными других источников палеоклиматической информации для Северного полушария использовать даты сильных экстремальных событий.

**Верификация экстремальных климатических событий.** Для понимания того, как выявленные даты сильных экстремальных событий проявились за пределами Алтае-Саянского региона, были привлечены две длительные хронологии экстремальных событий: 4100-летняя хронология экстремальных событий для полуострова Ямал (Хантемиров и др., 2011) и 5000-летняя хронология для западной части Северной Америки (Salzer et al., 2007). При сопоставлении данных, совпадающими экстремальными событиями в разных регионах считались случаи точного совпадения дат экстремумов, либо с расхождением в 1 год.

Результаты сопоставления показали, что практически в половине случаев выявленные в Алтае-Саянском регионе экстремальные события прослеживаются за пределами региона (табл. 5). Сопоставление с данными для полуострова Ямал (Хантемиров и др., 2011) выявило 8 общих дат (536, 537, 627, 1259, 1372, 1481, 1783, 1884 гг.), с хронологией для западной части Северной Америки (Salzer et al., 2007) – 7 общих событий (536, 537, 627, 934, 1259, 1546, 1884 гг.). Общими для трех хронологий стали события, произошедшие в 536–537, 1259 и 1884 гг.

Причины возникновения климатических экстремумов, как и в случае с объяснением депрессий радиального прироста годовых колец деревьев, вероятно, следует искать в похолоданиях, вызванных затемнением атмосферы вследствие попадания в ее высокие слои продуктов вулканических извержений (Briffa et al., 1998; Robock, 2000; Zielinski, 2000; Сидорова и др., 2005; Sidorova et al., 2012). Такой эффект обусловлен вулканическими извержениями с индексом VEI 4 и выше (Ninkovich et al., 1978, 1979). Последствиями вулканических извержений могут быть экстремальные события, зафиксированные в виде повреждений в древесных кольцах того же года (если извержение произошло до, или вовремя вегетационного периода) или в последующие годы. Для проверки этого предположения было выполнено сопоставление полученных дат экстремальных событий в Алтае-Саянского регионе и данных об вулканических извержениях с индексом VEI от 4 до 7 (табл. 6).

**Таблица 6.** Сопоставление дат сильных экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе с данными о стратосферных извержениях вулканов

Экстремальные события		Информация о вулканах			
№	Дата (г.)	Дата извержения (г.)	Имя	Сила извержения (VEI)	Местоположение
<b>Сильные события</b>					
1	536	540±100	Rabaul	6	Новая Гвинея (Stothers, 1984)
	537	408–536	Popango	6+	Сальвадор (Dull et al., 2001)
2	627	623±3	Неизвестный вулкан	–	В районе экватора (Fei et al., 2007)
3	803	803	White River Ash	–	Аляска (Preece et al., 2014)
4	935	934	Katla	4	Исландия
5	942	942	Changbaishan	7	Северная Корея

6	1258	1257	Rinjani (Samalas)	7	Индонезия (Guillet et al., 2017)
	1259	–	–	–	–
7	1272	–	–	–	–
8	1291	1290	Cayambe	4	Эквадор
9	1319	–	–	–	–
10	1371	1370±150	Soufriere Guadeloupe	4	Гваделупа
11	1381	1380±75	Parker	4	Филиппины
		1380±50	Inyo Craters	4	Калифорния, США
12	1481	–	–	–	–
13	1524	–	–	–	–
14	1536	–	–	–	–
15	1546	–	–	–	–
16	1589	–	–	–	–
17	1736	–	–	–	–
18	1783	1783	Asamayama	4	Япония
		1783	Grimsvotn	4+	Исландия
	1784	–	–	–	–
	1785	–	–	–	–
19	1884	1883	Augustine	4	Аляска, США
		1883	Krakatau	6	Индонезия

Из 19 сильных экстремальных климатических событий, выявленных по аномалиям в структуре годичных колец, на год извержения вулкана (VEI = 4 и выше) или год после него приходится 11 событий. Таким образом, более половины (58 %) сильных экстремальных климатических событий, произошедших в Алтае-Саянском регионе, можно отнести к последствиями крупных вулканических извержений.

Обращение к другим источникам информации, описывающим природные и исторические события того времени, подтверждает пространственный масштаб выявленных сильных экстремальных климатических событий. Так, например, климатический экстремум **627 г.** проявился в ледовых колонках GRIP и GISP2 (Гренландия) зафиксированы следы мощного извержения (Zielinski et al., 1994 год; Clausen et al., 1997). Информацию о климатических и атмосферных аномалиях, вызванных извержением этого вулкана находят в исторических источниках в разных регионах мира. В европейских исторических записях говорится, что над Ирландией и Восточным Средиземноморьем наблюдался вулканический сухой туман, начавшийся в октябре около  $626 \pm 1$  г. и затмивший солнце на 8–9 месяцев. Климатические аномалии отмечены в Японии и китайских исторических источниках (Fei et al., 2007).

Таким образом, сопоставление сильных экстремальных климатических событий с датами экстремальных событий в других регионах (табл. 5), датами извержений вулканов (табл. 6), историческими и др. источниками (Хантемиров и др., 2011; Salzer et al., 2007; Ваганов, Шиятов, 2005; D'arrigo et al., 2001, Baillie, 1994; Schweingruber, 1988 и др.) показало, что построенная 1500-летия хронология экстремальных климатических событий для Алтае-Саянского региона отражает события (не только регионального, но и глобального масштаба) в Северном полушарии.

Полученные данные распределения аномалий структуры позволяют, помимо определения дат экстремальных климатических событий, проследить их количественное распределение за длительные временные отрезки. Для этого было рассчитано соотношение числа аномалий структуры годичных колец к числу деревьев за 25-летние периоды. Полученные результаты были сопоставлены с данными реконструкции температуры воздуха летних месяцев (июнь–август) в Алтае-Саянском регионе (Buntgen et al., 2016) и выделенными по ней периодами длительных климатических изменений.

**Современное потепление.** Анализ аномалий структуры годичных колец (морозобойные и светлые кольца, флуктуации плотности древесины, выпавшие кольца) показал, что начиная с 1950 г. их количество опускается ниже среднего уровня. Прекращают выделяться экстремальные события (случаи синхронного образования двух и более аномалий структуры и выпавших годичных колец) (рис. 5 б, в). Таким образом, можно сделать вывод, что в Алтае-Саянском регионе «современное потепление», выделенное по данным реконструкции средней температуры воздуха летних месяцев (Buntgen et al. 2016), совпадает с результатами, полученными при анализе аномалий структуры годичных колец и выпавших колец.

**Малый ледниковый период.** Анализ распределения аномалий структуры (морозобойных и светлых колец, флуктуаций плотности) показал, что увеличение их количества происходит с 1775 по 1900 гг. (рис. 5 б). Анализ распределения выпавших колец показал увеличение их числа с 1350 по 1900 гг. (рис. 5 в). В этом случае, в качестве индикатора границ «малого ледникового периода» в Алтае-Саянском регионе лучше всего выступают выпавшие кольца. Анализ общего распределения аномалий структуры и выпавших годичных колец, позволяет выделить границы малого ледникового периода с 1350 по 1900 гг., т.е. «малый ледниковый период» в Алтае-Саянском регионе начался и закончился на 50 лет позже, чем по данным реконструкции средней температуры воздуха летних месяцев.

**Средневековый оптимум.** Анализ количества аномалий и выпавших годичных колец показал их существенное снижение в период с 825 по 1175 гг. Однако внутри этого периода наблюдается всплеск количества аномалий и выпавших колец в период с 900 по 950 гг. (рис. 5 б, в). Таким образом, на территории Алтае-Саянского региона «средневековый оптимум» хорошо прослеживается по аномалиям в структуре годичных колец. В сравнении с периодом, который обозначен по данным реконструкции средней температуры воздуха летних месяцев (Buntgen et al. 2016), средневековый оптимум по данным аномалий структуры годичных колец начался на 25 лет позже и закончился на 25 лет раньше (рис. 5 г).

**Позднеантичный малый ледниковый период.** Анализ аномалий структуры и выпавших годичных колец показал увеличение их количества выше среднего в период 525–675 гг. Хорошо видно, что внутри периода можно выделить три отдельных всплеска числа аномалий: 525–550,



575–600 и 625–650 гг. (рис. 5 б, в). В этом случае позднеантичный малый ледниковый период хорошо прослеживается по аномалиям и выпавшим годичным кольцам и совпадает с периодом, выделенным по реконструкции средней температуры воздуха летних месяцев (Buntgen et al. 2016).

Таким образом, анализ частоты возникновения аномалий структуры годичных колец за 25-летние периоды позволил получить данные о длительных климатических изменениях прошлого, которые сопоставимы с результатами, полученными по данным реконструкции средней летней температуры воздуха в Алтае-Саянском регионе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой законченное экологическое исследование, в котором на основе анализа распределения аномалий клеточной структуры годичных колец (морозобойных, светлых колец, флуктуаций плотности древесины и выпавших колец) в образцах древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) выделены даты экстремальных климатических событий на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе за последние полторы тысячи лет.

По результатам анализа 1156 образцов (367 кернов с произрастающих деревьев и 678 образцов палеодревесины) было выявлено 2470 аномалий структуры годичных колец (900 морозобойных колец, 135 флуктуаций плотности древесины, 48 светлых колец и 1509 выпавших колец). Исследование показало, что выпавшие и морозобойные кольца составляют 56 % и 36 %, соответственно, от общего числа зафиксированных аномалий структуры годичных колец. Это позволяет сделать вывод, что они являются основными индикаторами экстремальных климатических событий на верхней границе леса. Следует отметить, что выпадающие и морозобойные кольца совпадают по времени образования не только между собой, но и со светлыми кольцами и флуктуациями плотности древесины, что свидетельствует о единой природе их происхождения, связанной с действием общего климатического фактора.

Проведенный анализ данных, полученных по произрастающим деревьям лиственницы сибирской в Алтайской области (7 участков) и Тывинской области (6 участков), показал сходство в распределении аномалий структуры годичных колец относительно возраста деревьев, тесную связь изменчивости прироста в пределах широтного трансекта и синхронность в датах образования экстремальных климатических событий. В этом случае полученные результаты свидетельствуют об однородности реакции лиственницы сибирской на внешние климатические проявления в Алтае-Саянской горной стране. Это позволило отказаться от деления на Алтайскую и Тывинскую области и рассматривать 13 заложенных участков как единый в дендрохронологическом плане регион. Это позволяет использовать материалы с 4-х длительных

хронологий (Ak-ha, Jelo, Mongun и Kungur) для построения общей хронологии экстремальных климатических событий за последние 1500 лет.

В результате была построена хронология экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе за последние 1500 лет, которая содержит 58 экстремальных климатических событий, из которых: 19 ранжированы как сильные (536–537, 627, 803, 935, 942, 1258–1259, 1272, 1291, 1319, 1371, 1381, 1481, 1524, 1536, 1546, 1589, 1736, 1783–1785, 1884 гг.); 39 – как средние (806, 825, 870, 951, 1021, 1054, 1059, 1088, 1109, 1124, 1136, 1172, 1180, 1187, 1190–1191, 1201, 1205, 1239, 1244–1245, 1333, 1367, 1399, 1411, 1434, 1450, 1479, 1495, 1501, 1513, 1515, 1532–1533, 1556, 1562, 1601, 1647, 1662, 1699–1700, 1788–1789, 1812–1814 гг.).

Сопоставление экстремальных климатических событий показало, что при увеличении числа участков, привлекаемых для ранжирования (по территориальному охвату), снижается количество выявляемых средних и сильных экстремальных событий (например, у сильных событий снижается процент территориального охвата и они становятся средними). Полученные результаты наглядно продемонстрировали, что точность выявления экстремальных событий (в первую очередь регионального масштаба) повышается с увеличением числа участков.

Верификация 19 сильных (536–537, 627, 803, 935, 942, 1258–1259, 1272, 1291, 1319, 1371, 1381, 1481, 1524, 1536, 1546, 1589, 1736, 1783–1785, 1884 гг.) экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе с данными об экстремальных событиях по Северному полушарию показала, что половина выделенных экстремальных климатических событий для Алтае-Саянской горной страны прослеживается за ее пределами. Общими для Алтае-Саянского региона, полуострова Ямал (Хантемиров и др., 2011) и Западной части Северной Америки (Salzer et al., 2007) стали три события, пришедшиеся на 536–537, 1258–1259 и 1884 гг.

Сравнительный анализ экстремальных климатических событий с данными реконструкции средней температуры воздуха летних месяцев (июнь–август) в Алтае-Саянском регионе «методом наложенных эпох» показал, что в годы всех экстремальных климатических событий происходит падение летней температуры. При этом чем сильнее экстремальное событие территориально охватило исследуемый регион, тем в большей мере выражено снижение температуры.

Сопоставление с данными о стратосферных извержениях вулканов (VEI от 4 до 7) показало, что 58 % сильных экстремальных климатических событий в Алтае-Саянском регионе согласуется с данными об извержениях вулканов. Ярким примером последствий вулканических извержений, повлекших за собой катастрофические последствия для населения по всему Северному полушарию, являются экстремальные события 536–537, 627, 1258–1259, 1783–1785, 1884 гг. Верификация сильных экстремальных климатических событий с данными исторических источников подтвердила, что на даты этих событий приходится сообщения о заморозках, неурожаях, голоде и т.п. из земледельческих регионов. В этом случае можно утверждать, что

сильные климатические экстремумы, прослеживающиеся на верхней границе леса в Алтае-Саянском регионе, оказали существенное воздействие не только на функционирование горных экосистем, но и на хозяйственную деятельность населения в равнинной части Алтае-Саянского региона и сопредельных территорий.

Проведенный в работе анализ частоты возникновения аномалий в структуре годовых колец за 25-летние периоды позволил очертить временные границы «современного потепления», «малого ледникового периода», «средневекового оптимума» и «позднеантичного малого ледникового периода» в Алтае-Саянской горной стране. Полученные результаты хорошо согласуются и уточняют границы вековых климатических изменений, выделенных при анализе изменчивости летних температур воздуха (июнь–август) в исследуемом регионе (Buntgen et al., 2016).

Таким образом, построенная 1500-летняя хронология экстремальных событий для территории Алтае-Саянской горной страны несет информацию о неблагоприятных климатических аномалиях в прошлом и имеет существенное значение для изучения палеоклимата и истории хозяйственной деятельности населения в регионе. Выполненная работа по анализу частоты возникновения событий и их территориального охвата открывает перспективу прогнозирования климатических событий и их последствий в будущем. При условии пополнения коллекций палеодревесины открывается перспектива построения 3000-летней хронологии экстремальных климатических событий для Алтае-Саянского региона.

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Ойдупаа, О.Ч., **Баринов, В.В.**, Сердобов, В.Н., Мыглан, В.С., Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии *Tarax* для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2011. – № 4. – С. 368–377.
2. Тайник, А.В., Мыглан, В.С., **Баринов, В.В.**, Ойдупаа, О.Ч., Назаров, А.Н. Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica* ledeb.) на верхней границе леса в Республике Тыва // География и природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 91–99.
3. **Barinov, V. V.**, Myglan, V. S., Taynik, A. V., Oydupa, O. C., Vaganov, E. A. Extreme climatic events in the Republic of Tuva according to tree-ring analysis // Source of the Document Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – P. 414–422.
4. Мыглан, В.С., **Баринов, В.В.**, Назаров, А.Н. Построение тысячелетних древесно-кольцевых хронологий *Koksu* и *Tarax* для территории Алтая // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2015. – Т. 8. – № 3. – С. 319–332.

5. Тайник, А.В., Мыглан, В.С., **Баринов, В.В.**, Назаров, А.Н., Агатова, А.Р., Непоп, Р.К. Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) на верхней границе леса в Республике Алтай // Известия РАН. Серия географическая. – 2015. – № 6. – С. 61–71.
6. Тауник, А.В., **Баринов, В.В.**, Oidupaa, O.Ch., Myglan, V.S., Reinig, F., Buntgen, U. Growth coherency and climate sensitivity of *Larix sibirica* at the upper treeline in the Russian Altai Sayan Mountains // *Dendrochronologia*. – Vol. 39. – 2016. – P. 10–16.
7. **Баринов, В.В.**, Myglan, V.S., Nazarov, A.N., Vaganov, E.A., Agatova, A.R., Nepop, R.K. Extreme climatic events in the Altai republic according to dendrochronological data // *Biology bulletin*. – 2016. – Vol. 43. – No. 2. – P. 152–161.
8. **Баринов, В.В.**, Мыглан, В.С., Тайник, А.В., Экстремальные климатические события в Центральном Алтае за последние 1500 лет по данным древесно-кольцевой хронологии *Jelo* // Известия РАН. Серия географическая. – 2017. – № 1. – С. 106–118.
9. Омурова Г.Т., **Баринов В.В.**, Кардаш О.В., Ваганов Е.А., Мыглан В.С., Реконструкция экстремальных палеоклиматических событий на севере Западной Сибири по археологической древесине (на примере Надымского городка) // *Археология, этнография и антропология Евразии*. – 2018. – Т. 46. – № 3. С. 27-35.
10. **Баринов В.В.**, Мыглан В.С., Тайник А.В., Ойдупаа О.Ч., Агатова А.Р., Чуракова (Сидорова) О.В., Экстремальные климатические события в Алтае-Саянском регионе как индикатор сильных вулканических извержений // *Геофизические процессы и биосфера*. – 2018. Т. – 17. – № 3. – С. 45–61.

Проведение работ по теме исследования было поддержано в рамках научных проектов: грант президента РФ «Естественнонаучные методы как основа инновационного развития исторической науки Сибири» № МК-1675.2011.6; грант РГНФ «Экстремальные климатические события в Алтае-Саянском регионе за последние 2000 лет» № 12-06-33040; грант РНФ «Цифровая микроанатомия годовых колец в физиологии, экологии, климатологии и археологии» № 15-14-30011.