

Региональные особенности радиального прироста сосны обыкновенной в климатических условиях лесостепной и степной зон Восточного Забайкалья по многопараметрическим древесно-кольцевым хронологиям

И. Л. ВАХНИНА^{1, 2}, В. С. МЫГЛАН¹, Е. В. НОСКОВА², В. В. БАРИНОВ¹, А. В. ТАЙНИК¹

¹Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
672002, Чита, ул. Недорезова, 16а
E-mail: vahkina_il@mail.ru

Статья поступила 26.10.2021

После доработки 11.11.2021

Принята к печати 16.11.2021

АННОТАЦИЯ

Проведено дендроэкологическое исследование параметров годичных колец деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепной и степной зонах Восточного Забайкалья. Впервые по исследуемой территории с использованием методов цифровой анатомии годичного кольца построены две (Nov и Tz) древесно-кольцевые хронологии по четырем параметрам: ширина годичных колец, ширина ранней древесины, ширина поздней древесины, оптическая плотность поздней древесины. Сравнительный анализ полученных хронологий позволил оценить параметры прироста деревьев в условиях лесостепной (Nov) и степной (Tz) зон и выявить наличие достоверной связи между ними. Проведенный расчет скользящих коэффициентов корреляции выявил периоды падения коэффициентов корреляции ниже достоверных значений, что указывает на невозможность построения обобщенной региональной хронологии по лесостепной и степной зонам Восточного Забайкалья. Сопоставление полученных хронологий с метеопараметрами (температура приземного воздуха и атмосферные осадки), а также расчетными индексами засушливости и увлажнения (гидротермический коэффициент увлажнения Г. Т. Селянинова, индекс засушливости Д. А. Педя, индекс суровости засухи Палмера) позволило выявить наиболее чувствительные характеристики годичного кольца на исследуемой территории. В лесостепной зоне наибольшие значения коэффициентов корреляции получены между суммой атмосферных осадков за календарный год и шириной годичного кольца ($r = 0,59$) и ранней древесины ($r = 0,59$), а также между средней температурой воздуха за гидрологический год и шириной поздней древесины ($r = 0,51$). Для деревьев степной зоны наибольшие значимые коэффициенты корреляции выявлены между атмосферными осадками за гидрологический год и хронологиями по ширине годичных колец ($r = 0,43$) и ранней древесины ($r = 0,43$), а также индексом суровости засухи Палмера за июнь–сентябрь и шириной ранней древесины ($r = 0,52$).

Ключевые слова: экология, дендрохронология, годичное кольцо, ранняя древесина, поздняя древесина, оптическая плотность.

Происходящие климатические изменения приводят к увеличению частоты экстремальных явлений и значительной трансформации условий произрастания древесной растительности на верхней границе леса и в лесостепи [Zhao, Dai, 2017; Fischer et al., 2018; Zhang et al., 2018; Cook et al., 2020; Kirilyanov et al., 2020; и др.]. Так, например, на верхней границе леса происходит смена породного состава древостоев, увеличение значений радиального прироста, смещение зоны распространения растительности вдоль высотного градиента [Воронин и др., 2016; Дэви и др., 2018]. В лесостепной зоне рост температур воздуха и связанное с ним увеличение интенсивности и повторяемости периодов засух [Dai et al., 2004] также приводят к смещению границ экотона “лес – степь” в направлении с юга на север [Tchebakova et al., 2016].

Следует отметить, что масштабы наблюдаемых изменений климата на глобальном и региональном уровне непропорциональны [Hillebrand et al., 2020]. По этой причине необходимы региональные исследования с высоким временным разрешением. Надежным косвенным источником информации с годовым временным разрешением, отражающим динамику условий окружающей среды, на региональном и локальном уровне являются годовые кольца растений [Fritts, 1976; Vaganov et al., 2006]. Представленная работа как раз направлена на оценку изменчивости параметров годовых колец (ширина годовых колец, ширина ранней древесины, ширина поздней древесины, оптическая плотность поздней древесины) в лесостепной и степной зонах Восточного Забайкалья в современных климатических условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для территории Восточного Забайкалья свойственны черты резко-континентального климата с большими амплитудами температуры воздуха, суровой зимой и жарким летом, малым количеством атмосферных осадков и их неравномерным распределением в течение года [Носкова, Обязов, 2014; Носкова и др., 2019]. При этом локальные условия произрастания древесной растительности в разных природных зонах существенно различаются. Лесостепь в отличие от степи характеризуется

более низкими температурами воздуха и сравнительно большим количеством атмосферных осадков, что свидетельствует о разной степени засушливости территории [Атлас..., 2010].

Материалом для работы послужили керны с растущих (живых) деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), отобранные в 2017–2019 гг. на двух участках, расположенных в лесостепной (Nov) и степной (Tz, островной степной бор, юго-восточная граница ареала распространения сосны) зонах Восточного Забайкалья (табл. 1, рис. 1). Расстояние между участками отбора образцов составляет порядка 150 км по прямой. По данным Центра защиты леса Забайкальского края на территории исследований вспышек размножения насекомых-вредителей за последние 20 лет не отмечалось. Керны отбирались с помощью бура Пресслера на высоте 0,2 или 1,3 м от поверхности земли в зависимости от состояния ствола (наличия или отсутствия стволовой или комлевой гнили). При выборе объектов предпочтение отдавалось разреженным древостоям и отдельно стоящим деревьям, так как у таких деревьев влияние фитоценологических факторов на годовые кольца выражено в меньшей степени.

В процессе камеральной обработки образцы, содержащие креневую древесину и пожарные подсушины, были удалены из выборки. Оставшиеся керны были подвергнуты процедуре экстракции смол и дубильных веществ в приборе Сокслета (не менее 40 часов в 90 % спирте) [Jensen, 2007] с последующим вывариванием в дистиллированной воде не менее 10 часов с ее сменой каждый час. Верхняя (торцевая) поверхность образцов обрабатывалась на шлифовальном станке лентами с размерами абразивного зерна от 80 до 1000 (ISO 6344). Это позволило получить изображения, пригодные для выявления ложных и выпавших колец, а также измерения оптической плотности поздней древесины. В зависимости от линейных размеров годовых колец образцы оцифровывались на сканере Epson Perfection V850 Pro (предварительно откалиброванном при помощи светоотражающей мишени MONR 2014:08-02) с разрешением не менее 4800 dpi или на микроскопе AXIO zoom V16 (CARL ZEISS) в отраженном свете. Измерение параметров годовых колец у цифровых изображений и анализ полученных данных

Местоположение участков отбора кернов и характеристика местопроизрастания деревьев

№ п/п	Код участка	Количество отобранных образцов, шт.	Географические координаты, высота над ур. м., местоположение	Краткая характеристика
1	Nov	31	51,47° с. ш., 113,47° в. д., 691 м. Юго-восточный склон Даурского хребта (южная окраина поселения Новокручининское). Читинский район	Склон пологий северо-восточного направления. Сосняк рододендроновый, мертвопокровный. Одновозрастной. Средняя полнота древостоя – 0,7. Состав – 10 С. Средняя высота – 15,5 м, средний диаметр – 59,0 см. Почвы суглинистые
2	Tz	30	50,29° с. ш., 115,1° в. д., 720 м. Онон-торейская равнина. Северо-восточная часть Цасучейского степного бора. К югу от села Нижний Цасучей. Ононский район	Склон пологий, южный. Сосняк остепненный. Одновозрастной. Средняя полнота древостоя – 0,3. Состав – 10 С. Средняя высота – 14,2 м, средний диаметр – 65,7 см. Почвы песчаные

выполнялись в программах CooRecorder и CDendro [Larson, 2018].

При построении древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) первоначально были измерены и перекрестно датированы индивидуальные графики приростов по ширине годичных колец (tree-ring width – RW). Перекрестная датировка заключается в анализе индивидуальных серий приростов между собой путем кросс-корреляционного анализа в программе COFESHA, что позволяет выявить выпадающие и ложные кольца [Holmes, 1983], а также визуального сопоставления графиков индивидуальных приростов в программе TSAP [Rinn, 1996]. На основе полученных хронологий по ширине годичного кольца построены древесно-кольцевые хронологии по ширине ранней (earlywood width – EW), поздней (latewood width – LW) древесины и опти-

ческой плотности поздней древесины (blue intensiti – BI). Возрастной тренд (зависимость ширины годичных колец от возраста деревьев) удалялся путем деления значения параметра годичного кольца в каждый год на значение аппроксимирующей функции для этого года. В качестве аппроксимирующей функции использован скользящий сплайн длиной две третьих от длины каждой серии [Fritts, 1976] в программе ARSTAN [Cook, Krusic, 2008]. После удаления возрастного тренда получены индексированные стандартизированные хронологии (STD), у которых сохраняется зависимость текущего прироста от условий прошлых лет, и остаточные хронологии (RES), в которых с помощью авторегрессионного моделирования устранены автокорреляционные зависимости [Cook, Krusic, 2008]. Процесс стандартизации позволил нивелировать

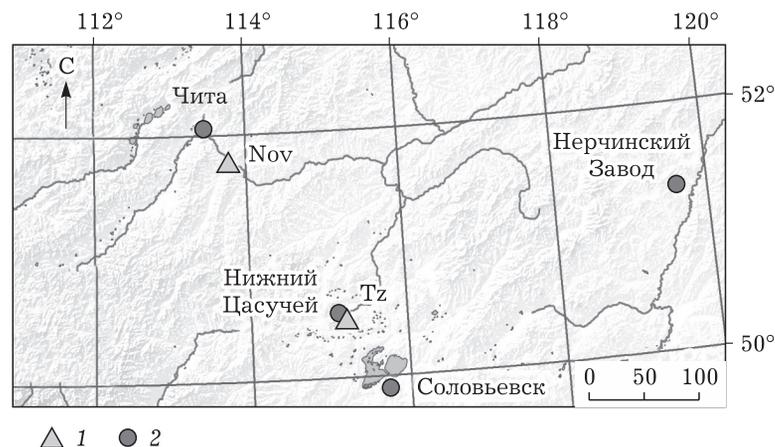


Рис. 1. Схема расположения участков отбора образцов (1) и метеорологических станций (2)

индивидуальные особенности прироста отдельных деревьев и выделить временные периоды, когда хронологии отражают общий сигнал, характерный для генеральной совокупности ($EPS \geq 0,85$) [Brifa et al., 1995].

В качестве статистических характеристик хронологий, позволяющих оценить степень изменчивости радиального прироста, обусловленную изменениями экологических факторов, рассматривались следующие показатели: среднее арифметическое значение, мода, стандартное отклонение, средний коэффициент чувствительности (отношение разности двух соседних значений переменной к их арифметическому среднему, усредненное по всему ряду) и коэффициент автокорреляции [Fritts, 1976; Wigley et al., 1984].

Измерение оптической плотности поздней древесины заключалось в определении яркости (насыщенности) поздней древесины: чем она темнее, тем меньше величина отраженного света, так называемая “интенсивность голубого” (Blue Intensity) [Campbel et al., 2007]. Данный параметр используется сравнительно недавно, однако в ряде исследований он доказал свою эффективность как достаточно чувствительный к климатическим параметрам [Campbel et al., 2007; Dolgova, 2016; Davi et al., 2021] и пригодный для датировок исторической древесины [Мыглан др., 2018]. Исходя из того, что оптическая плотность древесины отрицательно коррелирует с физической плотностью, полученные ВІ древесно-кольцевые хронологии были подвергнуты процедуре конвертации, предложенной M. Rydval et al. [2014].

Анализ климатических характеристик территории исследования выполнен по метеорологическим станциям, характеризующим условия лесостепной (Чита) и степной (Соловьевск, Нижний Цасучей) зон исследуемой территории. Влияние климатических факторов на прирост оценивали путем расчета парных коэффициентов корреляции Пирсона между ежемесячными рядами приземной температуры воздуха и атмосферных осадков и обобщенными стандартизированными STD и RES хронологиями за периоды с $EPS \geq 0,85$. В качестве интегральных характеристик температуры и атмосферных осадков, которые одновременно отражают засушливые условия и условия переувлажнения, по данным используемых в работе

метеорологических станций рассчитаны гидротермический коэффициент увлажнения Г. Т. Селянинова (ГТК), индекс засушливости Д. А. Педя (SI), а также индекс суровости засухи Палмера (PDSI) для координат участков отбора образцов (<http://climexp.climexp-knmi.surf-hosted.nl/select.cgi?id=someone@somewhere&field=scpdsi>). Для анализа долговременных колебаний в режиме выпадения атмосферных осадков и их влияния на прирост привлекались данные за период 1839–2020 гг. по метеостанции с самым длинным рядом наблюдений на исследуемой территории (Нерчинский Завод).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ климатических показателей, характеризующих территорию исследования, выполнен за 1976–2019 гг. по инструментальным данным метеорологических станций, наиболее близко расположенных к участкам отбора образцов (см. рис. 1): для лесостепной зоны – по данным метеостанции Чита, для степной – Нижний Цасучей и Соловьевск. Характеристика рядов наблюдений метеостанции Нижний Цасучей показала, что использовать данные ряды некорректно, поскольку они испытывают существенное влияние локальных условий местоположения. В связи с этим климатические условия степной зоны анализировались по данным метеостанции Соловьевск. Среднегодовая температура воздуха в лесостепи отрицательная и составляет $-1,4$ °С, в степной зоне – 0 °С (рис. 2). Температура воздуха самого холодного месяца (января) в лесостепной зоне на $1,7$ °С ниже, чем в степной. Период с температурой воздуха выше 5 °С в лесостепи в среднем приходится на промежуток времени с 30 апреля по 29 сентября (151 день), в степи – с 24 апреля по 5 октября (164 дня). Продолжительность устойчивого периода с температурой воздуха выше 5 °С в лесостепной зоне на 13 дней меньше, чем в степи. Температура воздуха самого теплого месяца (июля) в лесостепи также на $1,7$ °С ниже, чем в степи.

Количество атмосферных осадков в лесостепной зоне за год в среднем составляет 344 мм, что на 55 мм больше, чем в степи. При этом на май–сентябрь по обеим зонам приходится около 90 % годовых атмосферных

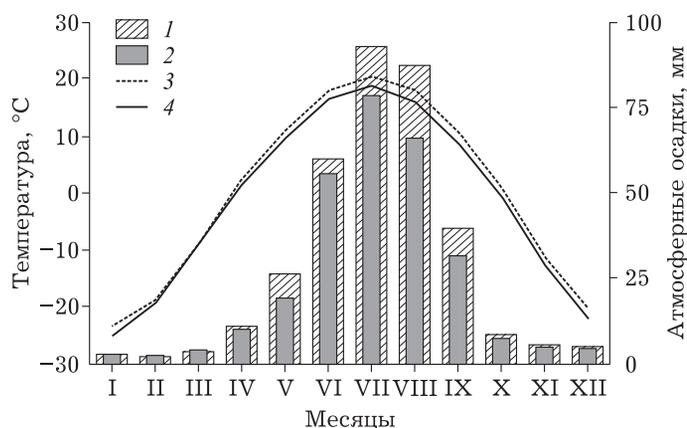


Рис. 2. Климатограмма метеорологических станций Чита (лесостепная зона – 1, 4) и Соловьёвск (степная зона – 2, 3)

осадков, а на июль–август – более половины годовой суммы. Количество атмосферных осадков, выпавших в лесостепной и степной зонах за октябрь–апрель, примерно одинаково, т. е. разница между зонами формируется за счет периода с мая по сентябрь.

Анализ параметров засушливости и увлажнения показал, что в соответствии с классификацией значений гидротермического коэффициента увлажнения Г. Т. Селянинова в лесостепной зоне отмечается оптимальная влагообеспеченность (ГТК = 1,36), в степной – недостаточная (ГТК = 1,00), в то время как по классификации значений индекса Педя в обеих зонах условия увлажнения нормальные (Si = 0,41 и 0,26 соответственно в лесостепной и степной зонах) [Галимова и др., 2019]. Согласно средним за исследуемый период значениям индекса суровости засухи Палмера в точках отбора образцов отмечаются слабо засушливые условия (PDSI = -1,11 и -1,01 соответственно в лесостепной и степной зонах).

Выявление аномальных лет по индексам засушливости и увлажнения показало, что в лесостепной зоне годы с переувлажненной влагообеспеченностью по ГТК пришлись на 1897, 1910, 1914, 1916, 1925, 1932, 1958, 1947, 1948, 1959, 1969, 1980, 1983, 1988, 2012 и 2018 гг. По индексу засушливости Д. А. Педя сильная засуха отмечена в 2007 г., по индексу суровости засухи Палмера экстремальная засуха, рассчитанная согласно методике Е. А. Черенковой [2013], отмечена в 2007–2008 гг.

Для степной зоны годы с переувлажненной влагообеспеченностью (по ГТК) и сильной засухой (по SI) не зафиксированы. Экс-

тремальная засуха согласно данным по PDSI пришлась на 1927 и 2007–2008 гг.

Построение хронологий по параметрам годичного кольца. Согласно изложенной нами методике по ширине годичных колец были построены две древесно-кольцевые хронологии: Nov – по лесостепной зоне, охватывающая период с 1766 по 2019 г. (254 года), Tz – по степной – с 1799 по 2017 г. (219 лет) (табл. 2, рис. 3, 4). Средняя продолжительность индивидуальных серий на участках составила 163,5 и 172,2 года соответственно. Значения ширины годичных колец у деревьев в лесостепной зоне варьируются от 0,87 до 1,88 мм (среднее – 1,35 мм), в степной – от 1,16 до 3,07 мм (среднее – 1,66 мм). Мода вариационного ряда по участку Nov составила 1,08, по Tz – 1,96. Сопоставление возрастных кривых выявило, что в первые 50 лет у деревьев на участке Tz наблюдаются более высокие значения ширины годичных колец, чем на участке Nov. Затем на обоих участках прирост значительно снижается и окончательно стабилизируется в возрасте около 170 лет, при этом на степном участке на протяжении всей хронологии сохраняются большие значения годичных колец.

Количество выпавших годичных колец у деревьев, произрастающих в лесостепной зоне (участок Nov), составило 0,58 %, в степной (участок Tz) – 0,61 %. Выпадения годичных колец на участке Nov приходятся на 1863, 1900, **1976**, 1999, **2003**, 2004, **2007**, **2011** гг., на участке Tz – 1919, 1924, 1928, 1944, 1946, 1951, **1976**, 1998, **2003**, **2007**, **2011**, 2016 гг. (полужирным шрифтом выделены годы, повторяющиеся на обоих участках).

Статистические характеристики обобщенных древесно-кольцевых хронологий и по ширине годичных колец ранней и поздней древесины сосны обыкновенной для лесостепной (Nov) и степной (Tz) зон Восточного Забайкалья

ДКХ	$\mu/\max/\min$, мм	STD				RES		
		μ , индекс	SD	MS	ARI	μ , индекс	SD	MS
Ширина годичных колец (RW)								
Nov	1,35/0,87/1,88	0,985	0,266	0,200	0,455	0,988	0,206	0,231
Tz	1,66/1,16/3,07	0,987	0,380	0,372	0,463	0,993	0,342	0,421
Ширина ранней древесины (EW)								
Nov	1,04/0,71/1,47	0,984	0,267	0,224	0,365	0,989	0,223	0,258
Tz	1,25/0,88/2,39	0,985	0,399	0,418	0,344	0,988	0,373	0,471
Ширина поздней древесины (LW)								
Nov	0,31/0,16/0,52	0,969	0,306	0,221	0,549	0,980	0,232	0,253
Tz	0,41/0,26/0,68	0,960	0,442	0,427	0,410	0,974	0,387	0,463

П р и м е ч а н и е. μ – среднее арифметическое; SD – среднеквадратическое отклонение; MS – коэффициент чувствительности; ARI – автокорреляция первого порядка.

Средние значения межсерияльной корреляции у измеренных хронологий по ширине годичных колец составили 0,74 (Nov) и 0,80 (Tz), что позволяет путем проведения процедуры стандартизации построить стандартизованные древесно-кольцевые хронологии по линейным параметрам годичных колец (ширина годичного кольца, ширина ранней древесины, ширина поздней древесины) и оптической плотности поздней древесины. Статистические показатели обобщенных хронологий приведены в табл. 2.

Коэффициенты корреляции между стандартизованными ДКХ по ширине годичных колец по лесостепной (Nov) и степной (Tz)

зонам за общий период с $EPS \geq 0,85$ с 1840 по 2017 г. составили 0,37 и 0,41 для STD и RES хронологий соответственно. Для хронологий по ширине ранней древесины Nov период с $EPS \geq 0,85$ охватывает 1820–2017 гг., Tz – 1840–2019 г. Общий период перекрытия для EW ДКХ составил 178 лет, коэффициенты корреляций между стандартизованными хронологиями разных природных зон составляют 0,38, остаточными – 0,41. По ширине поздней древесины по участку Nov были построены хронологии с $EPS \geq 0,85$ для периода 1850–2019 гг., по деревьям, произрастающим на участке Tz, – для 1860–2017 гг. За общий период перекрытия (1860–2017 гг., 158 лет)

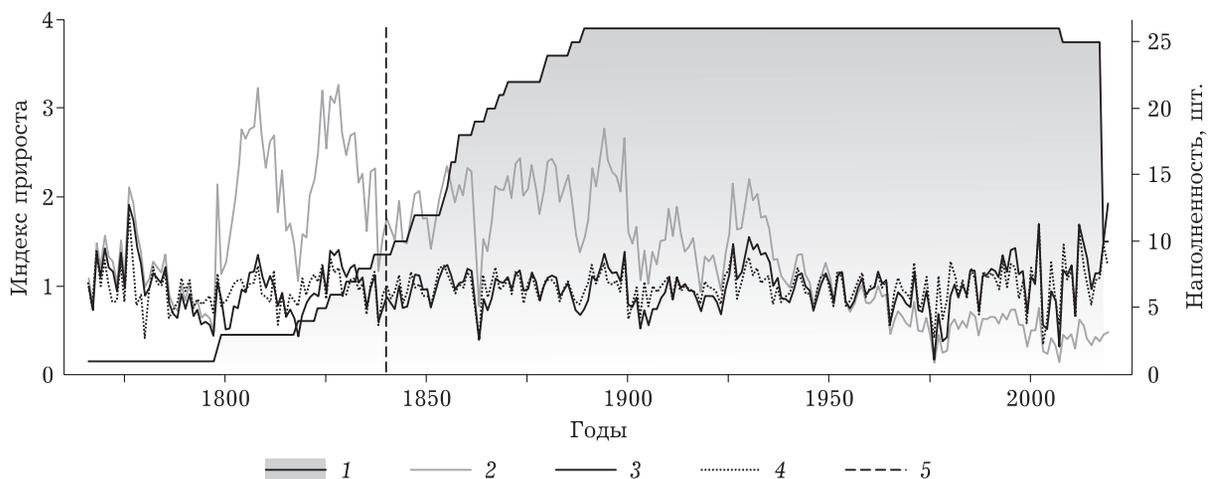


Рис. 3. Обобщенные древесно-кольцевые хронологии RW для участка Nov (2–4) с указанием количества образцов для каждого года (1). Пороговое значение $EPS \geq 0,85$ отделено вертикальной штриховой линией (5)

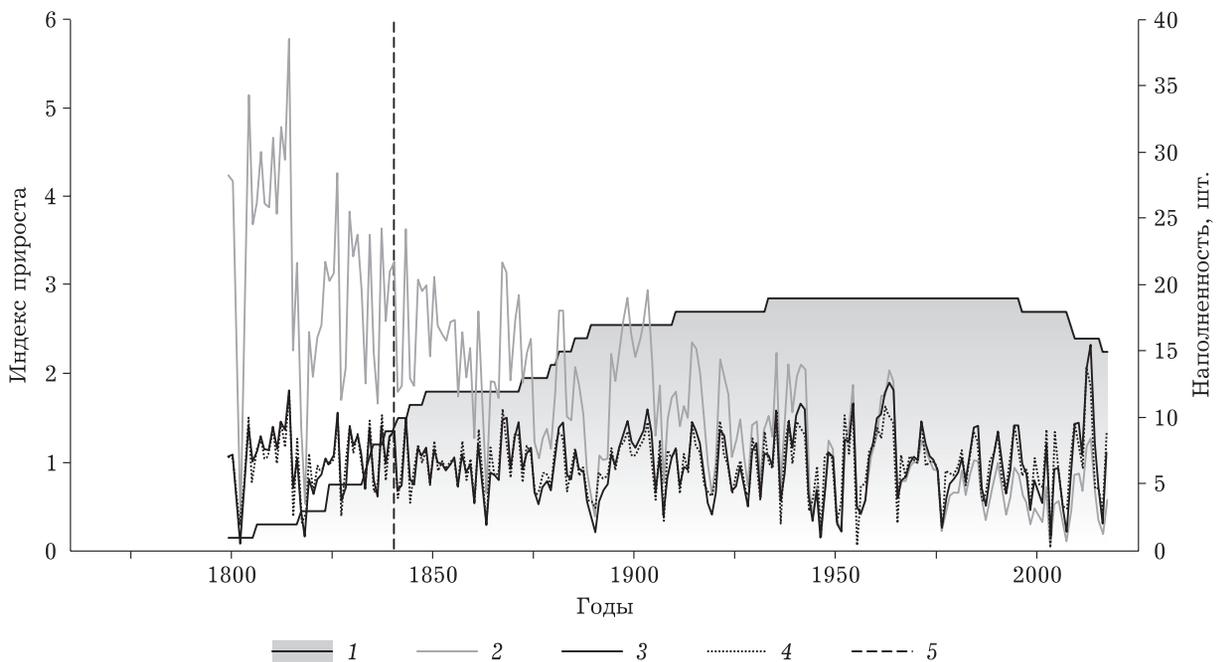


Рис. 4. Обобщенные древесно-кольцевые хронологии RW для участка Tz (2–4) с указанием количества образцов для каждого года (1). Пороговое значение $EPS \geq 0,85$ отделено вертикальной штриховой линией (5)

получены значимые корреляционные связи между STD ($r = 0,27$) и RES ($r = 0,33$) хронологиями. По оптической плотности древесины периоды с $EPS \geq 0,85$ для древесно-кольцевой хронологии Nov приходятся с 1960 по 2019 г. (60 лет), Tz – с 1870 по 2017 г. (148 лет). За общий период перекрытия с $EPS \geq 0,85$ (58 лет) коэффициенты корреляций для BI между STD Nov и Tz составили 0,67, между RES Nov и Tz – 0,64. Расчет за минимальный общий период в 58 лет показал, что характер связи не меняется – максимальные значения коэффициентов корреляции для разных зон получены между хронологиями по оптической плотности, минимальные – между хронологиями по ширине поздней древесины.

Расчет коэффициентов корреляции между параметрами стандартизированных хронологий внутри каждой зоны за общий период 58 лет (1960–2017 гг.) показал, что для хронологии по лесостепной зоне наиболее высокие коэффициенты корреляции отмечаются между RW и EW ($r = 0,99$) и между RW и LW ($r = 0,88$). Между LW и EW и LW BI получена идентичная связь ($r = 0,83$). Самые низкие значения коэффициентов корреляции выявлены между RW и BI ($r = 0,77$), а также EW и BI ($r = 0,74$). Для параметров годовых колец

в степной зоне отмечается следующая закономерность в распределении коэффициентов корреляции между параметрами: RW и EW – 0,99; RW и BI – 0,88; RW и LW – 0,86; EW и BI – 0,85; LW и BI – 0,79; EW и LW – 0,77.

В этом случае все параметры годового кольца внутри каждой зоны тесно связаны между собой. Максимальные коэффициенты корреляции как в лесостепной, так и степной зонах отмечаются между шириной годовых колец и шириной ранней древесины. Минимальные значения коэффициентов корреляции наблюдаются в лесостепной зоне между шириной ранней древесины и оптической плотностью поздней древесины, а в степной – между шириной ранней и поздней древесины.

Для выяснения устойчивости связи между хронологиями из степной (Tz) и лесостепной (Nov) зон был выполнен расчет скользящих коэффициентов корреляции с окном в 25 лет и шагом в 1 год для измеренных параметров годового кольца (рис. 5). Из рисунка видно, что значения коэффициентов между параметрами годовых колец изменяются синхронно. В то же время выделяется два периода, когда коэффициенты корреляции опускаются ниже пороговых значений – с 1878 по 1963 г.

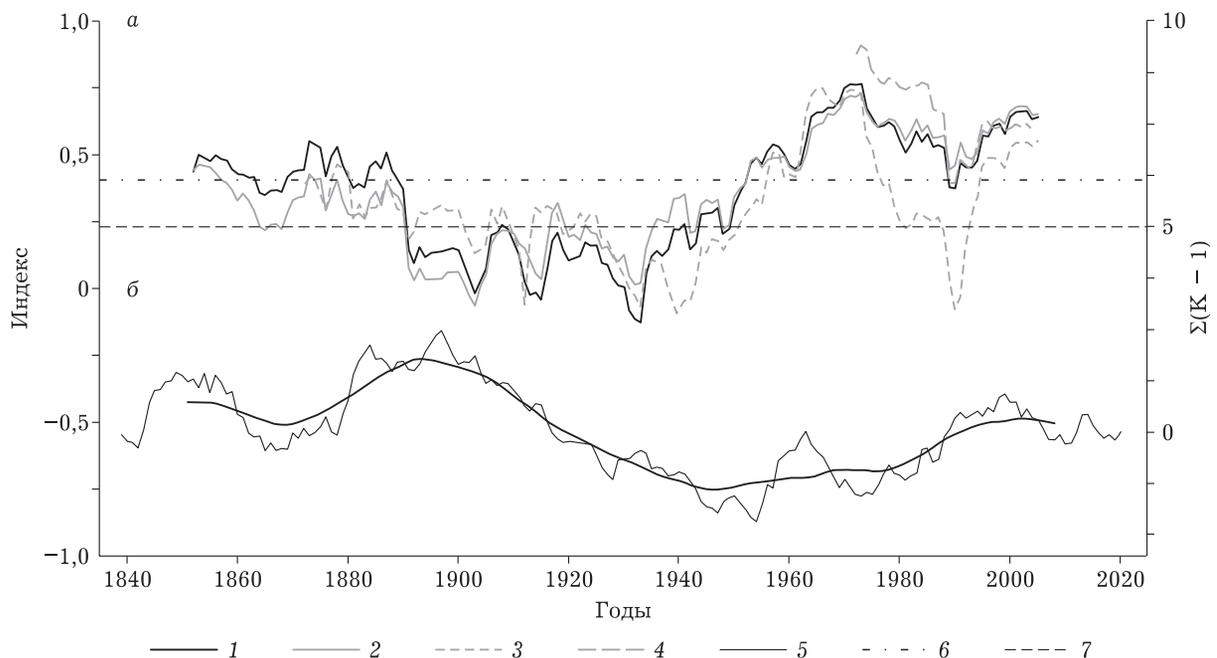


Рис. 5. Скользящие коэффициенты корреляции между стандартизованными обобщенными хронологиями Nov и Tz за общие периоды по всем исследуемым параметрам: 1 – RW (1840–2017 гг.), 2 – EW (1840–2017 гг.), 3 – LW (1860–2017 гг.), 4 – BI (1960 по 2017 г.), 5 – интегрально-разностная кривая изменения средних годовых сумм атмосферных осадков по данным метеостанции Нерчинский За-вод, сглаженная 11-летним скользящим средним, 6 – доверительный интервал для RW, EW, LW, 7 – доверительный интервал для BI

и с 1977 по 2006 г. Это свидетельствует о том, что связь между хронологиями неустойчива во времени и построение обобщенной региональной ДКХ по лесостепной и степной зонам не представляется возможным.

Климатический отклик. Косвенная оценка влияния экологических условий на параметры годовых колец деревьев лесостепной и степной зон была оценена с помощью расчета климатического отклика между ДКХ и инструментальными данными метеостанций (Чита, Соловьевск), а также между индексами за гидрологический (с октября предшествующего года по октябрь текущего) и календарные годы за период с 1950 по 2017 г.; для хронологии по оптической плотности лесостепного участка Nov этот период составил с 1960 по 2017 г.

Взаимосвязь ДКХ с температурой воздуха и атмосферными осадками. Для деревьев лесостепной зоны (Nov) значимые положительные корреляционные связи получены между стандартизованными хронологиями по поздней древесине ($r = 0,51$) и средней температурой воздуха за гидрологический год (рис. 6, а). Близкие к пороговым и незначи-

мые коэффициенты корреляции отмечаются между температурой воздуха и остаточными хронологиями по ширине годичного кольца, ширине ранней древесины и оптической плотности. Значимое положительное влияние на прирост всех параметров оказывают также температура октября предшествующего календарного года и марта текущего. Таким образом, наиболее чувствительным параметром к температуре воздуха в лесостепной зоне является ширина поздней древесины.

Для деревьев, произрастающих в степной зоне (Tz), положительных значимых коэффициентов корреляции с температурой воздуха выявлено не было (рис. 6, б). Отрицательная значимая связь отмечается только между стандартными ДКХ по ширине годичного кольца и ранней древесины со среднемесячной температурой воздуха в июле ($r = -0,26$) и ранней древесины со средними температурами за июнь и июль ($r = -0,25$).

Взаимосвязь с атмосферными осадками в лесостепной зоне проявляется в значимых положительных корреляционных связях (порядка $r = 0,60$) между суммой осадков за календарный и гидрологический годы, осадка-

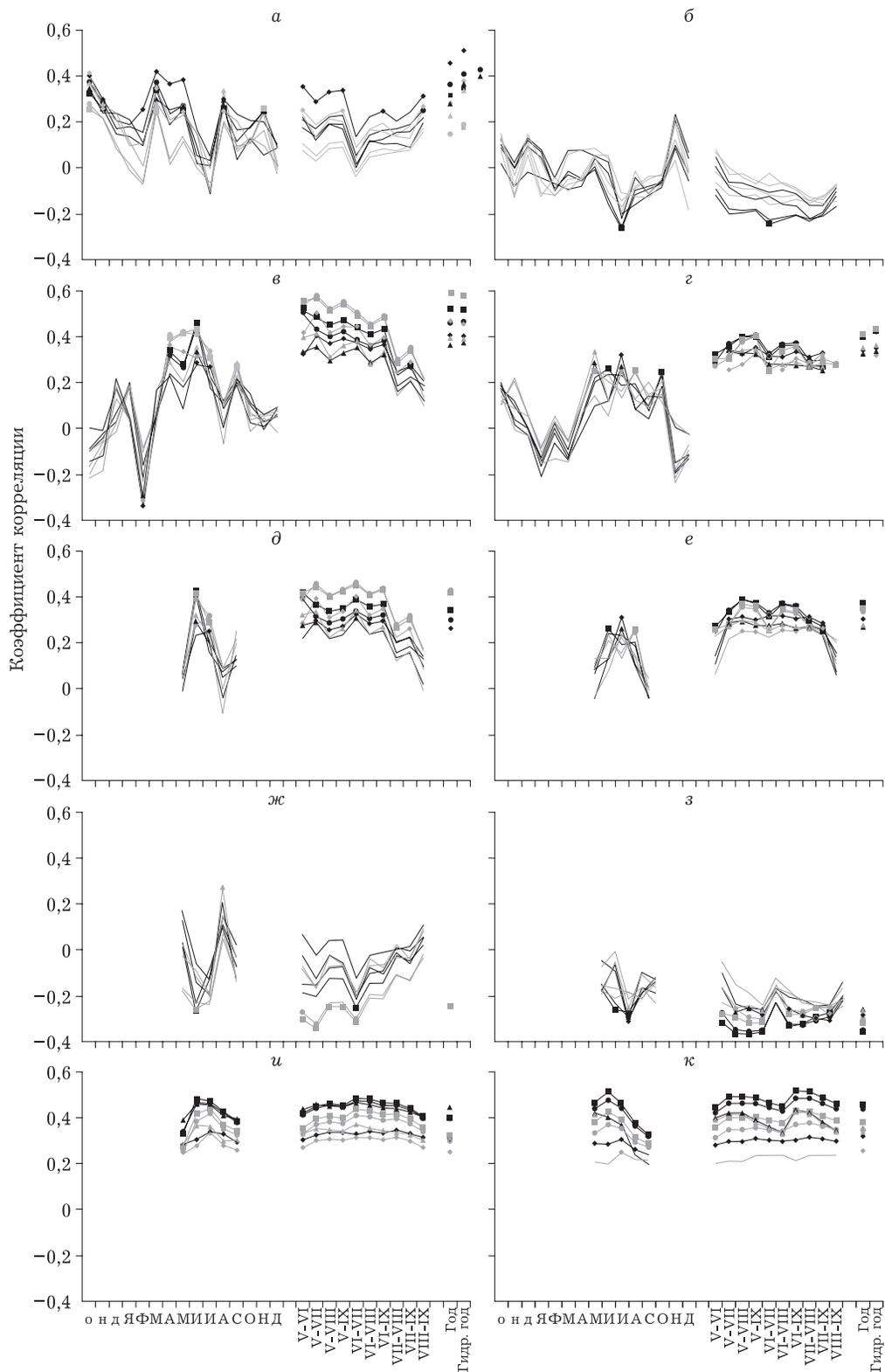


Рис. 6. Коэффициенты корреляции между обобщенными стандартизированными хронологиями (RW (1840–2017 гг.), EW LW (1860–2017 г.), VI (1960 по 2017 гг.)) за период $EPS \geq 0,85$ и метеопараметрами: со средней температурой приземного воздуха для Nov (а) и Tz (б); с суммой атмосферных осадков для Nov (в) и Tz (г); с ГТК для Nov (д) и Tz (е); с SI для Nov (ж) и Tz (з); с PDSI для Nov (и) и Tz (к). Значимые коэффициенты корреляции выделены маркерами: черным – для STD, серым – для RES хронологий

ми за май–июль и остаточными хронологиями по ширине годичных колец и ранней древесины (рис. 6, в). Для всех рассматриваемых хронологий достоверные связи выявлены с суммами осадков июня и за периоды с мая по сентябрь. Значимые коэффициенты корреляции отмечаются между суммой атмосферных осадков в феврале и хронологиями по ширине и оптической плотности поздней древесины (от $r = -0,34$ до $r = -0,29$).

Для степной зоны коэффициенты корреляции между параметрами годичных колец и суммой атмосферных осадков ниже по сравнению с лесостепной (рис. 6, г). Наиболее высокие коэффициенты корреляции ($r = 0,43$) получены между атмосферными осадками за гидрологический год и хронологиями по ширине годичных колец и ранней древесины. Близкие к пороговым и незначимые коэффициенты корреляции для хронологии Tz отмечаются между суммой атмосферных осадков и хронологиями по поздней древесине и оптической плотности.

Таким образом, на параметры годичных колец деревьев, произрастающих в лесостепной и степной зонах Восточного Забайкалья, влияние оказывают как температура воздуха, так и атмосферные осадки. По этой причине в качестве их интегральных характеристик в работе были проанализированы связи между рассматриваемыми хронологиями и индексами засухливости и увлажнения.

Взаимосвязь ДКХ с индексами засухливости и увлажнения. Дендроклиматический анализ выполнен со среднемесячными значениями гидротермического коэффициента увлажнения Г. Т. Селянинова, индекса засухливости Д. А. Педя, индекса суровости засухи Палмера. Из рассматриваемых коэффициентов засухливости и увлажнения наиболее тесные связи получены между параметрами хронологий и PDSI. Для хронологии по лесостепной зоне коэффициенты несколько ниже, чем для степной, при этом коэффициенты корреляции за все рассматриваемые периоды со всеми параметрами годичных колец достоверны. Максимальные их значения ($r = 0,48$) отмечаются между остаточной хронологией по ширине ранней древесины и значениями PDSI за июнь, июнь–июль и июнь–август. Самые низкие коэффициенты получены между PDSI и хронологиями по ширине позд-

ней древесины и остаточной хронологией по оптической плотности.

Для ДКХ по степной зоне наибольшие значения коэффициентов корреляции получены между стандартной хронологией по ширине ранней древесины и PDSI за июнь ($r = 0,51$), июнь–сентябрь ($r = 0,52$) и июль–сентябрь ($r = 0,51$). Самые низкие значения коэффициентов корреляции отмечаются с остаточной хронологией по ширине годичного кольца и хронологиями (STD, RES) по ширине поздней древесины.

С ГТК для большинства хронологий по деревьям лесостепной зоны получены положительные значимые связи со средними показателями ГТК за июнь, июль, средними значениями за периоды с мая–июня по июнь–сентябрь. Наиболее высокие коэффициенты корреляции отмечены для остаточных хронологий по ширине годичных колец и ранней древесины с максимальными их значениями от 0,45 до 0,46. Наименее чувствительным к увлажнению, описываемому ГТК, в лесостепной зоне оказались ширина и оптическая плотность поздней древесины.

Для степной зоны связи между ДКХ и ГТК выражены слабее, максимальные коэффициенты корреляции в пределах 0,37–0,39 отмечаются между стандартными хронологиями по ширине годичных колец и ранней древесины и значениями ГТК за общий период вегетации (май–сентябрь) и отдельные периоды: май–август, май–сентябрь и июнь–август. Самые низкие значения коэффициентов корреляции получены для хронологий по ширине и оптической плотности поздней древесины.

С SI у деревьев в лесостепной зоне достоверные связи проявляются в меньшем числе случаев, чем в степной. Максимальные значения коэффициентов корреляции получены между остаточной хронологией по ширине ранней древесины и средними показателями SI за май–июль ($r = -0,34$). Значимые отрицательные связи отмечены только для ДКХ по ранней древесине и остаточной хронологии по ширине годичного кольца. Положительная достоверная корреляция получена между остаточной хронологией по оптической плотности и SI в августе ($r = 0,27$). Для хронологий по поздней древесине достоверных значений корреляции с SI не выявлено.

В степной зоне наиболее тесная связь получена между стандартной хронологией по ширине ранней древесины и средним значением индекса засушливости за май–август ($r = -0,37$). Наиболее чувствительными параметрами к засушливым условиям по SI в степной зоне являются ширина годичного кольца и ширина ранней древесины, соответственно, наименее чувствительными – ширина и оптическая плотность поздней древесины.

Таким образом, изменения значений коэффициентов корреляции между параметрами годичных колец и метеоданными синхронны за рассматриваемые периоды. Наибольший вклад в динамику исследуемых параметров годичных колец *Pinus sylvestris* в лесостепной и степной зонах Забайкальского края вносят атмосферные осадки, особенно их суммарные значения за год, и период вегетации (с мая по сентябрь). И хотя значимая корреляционная связь с температурой воздуха в большинстве случаев выявлена для деревьев, произрастающих в лесостепной зоне, ее влияние в степной зоне косвенно проявляется в связях хронологий с режимом увлажнения территории. С индексами засушливости и увлажнения (ГТК, SI и PDSI) значимые связи получены для ДКХ по обеим зонам. При этом деревья степной зоны по сравнению с лесостепной более чувствительно реагируют на засухи, обусловленные снижением количества атмосферных осадков на фоне высоких температур (по SI, PDSI), а лесостепной – на увеличение увлажненности на фоне снижения температур воздуха (по ГТК). Из рассматриваемых коэффициентов наиболее тесные связи получены между параметрами хронологий и индексом суровости засухи Палмера. Ширина годичного кольца и ширина ранней древесины демонстрируют более высокие корреляционные связи с метеопараметрами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенной работы показывают расхождение в сигнале древесно-кольцевых хронологий степной и лесостепной зон, которое выражается наличием периодов нестабильной связи между ними. Динамика изменений скользящих коэффициентов корреляции хорошо согласуется с режимом увлажнения территории. Так, выявленные ранее [Вахни-

на, Носкова, 2021] две полные аридные фазы (1963–1982, 1999–2011 гг.) приходятся на увеличение значений коэффициентов и одна – гумидная (1983–1998 гг.) – на период их падения. Похожие результаты получены в ходе исследований ленточных и приобских боров Алтайского края [Рыгалова, Быков, 2015], где на основании кластерного анализа и расчета скользящих коэффициентов корреляции были выявлены две зональные группы хронологий (лесостепная и степная). Расхождение климатического сигнала здесь, возможно, также является признаком смены засушливых и влажных периодов. Дендрохронологические исследования для территории Западного Забайкалья [Демина и др., 2017] также показали различия в отклике прироста сосны, обусловленные пространственно-временной неравномерностью выпадения атмосферных осадков. Хотя в более ранних работах [Андреев и др., 2001] по данной территории была построена региональная (генерализованная) хронология, объединяющая 25 обобщенных древесно-кольцевых хронологий для трансекта около 600 км. Таким образом, на сегодняшний день в хронологиях, созданных для лесостепной и степной зон, как минимум в трех регионах проявляется мезоклиматический сигнал, обусловленный межгодовой сменой режима увлажнения. Это поднимает вопрос учета данной закономерности при проведении аналогичных исследовательских работ в других регионах, представленных лесостепными и степными ландшафтами.

Особое внимание стоит обратить на выявленное влияние адаптационных биологических особенностей на формирование годичных колец, которое в нашем случае проявляется в том, что у деревьев, произрастающих на степном участке, на протяжении всей их жизни наблюдаются более высокие значения исследуемых параметров, чем на лесостепном, несмотря на более жесткие условия местообитания. Это связано с тем, что засушливые климатические и лесорастительные условия островного степного бора в результате приспособления вида, вероятно, привели к образованию новой географической расы (экотипа) сосны обыкновенной – сосна Крылова (*Pinus sylvestris* subsp. *Krylovii*), описанной Л. Ф. Правдиным [1964] и В. Л. Черепным [1980].

Другим важным аспектом обсуждения в рамках данной статьи является оценка эффективности измерения нескольких параметров годичного кольца: ширины годичного кольца, ширины ранней и поздней древесины, а также относительно нового параметра – оптической плотности поздней древесины. Перспективы использования многопараметрических древесно-кольцевых хронологий на сегодняшний день связаны с активным внедрением новой методики измерения характеристик годичного кольца, основанной на получении высококачественных цифровых изображений клеточной структуры деревьев, позволяющей извлекать сразу несколько параметрических и непараметрических (линейных и нелинейных) характеристик. Их применение в рамках данной статьи предполагало получение более широкого спектра климатической информации, позволяющей уточнить границы вегетационного сезона, оценить тесноту связи прироста годичных колец с метеоданными по температуре и осадкам, а также индексами засушливости и увлажнения. В работе показано, что все исследуемые параметры годичного кольца оказались тесно связаны между собой и синхронно (с разной степенью чувствительности) реагируют на изменение климатических условий. Наиболее тесными связями с внешними факторами в Восточном Забайкалье характеризуются ширина годичного кольца и ширина ранней древесины.

Анализ лет, когда в обеих зонах отмечалась экстремальная засуха (2007–2008 гг.) согласно индексу Палмера с данными о годах выпадения годичных колец, показал, что выпавшие кольца приходятся только на 2007 г. Это характерно как для степной, так и лесостепной зоны. Сравнение месячных сумм атмосферных осадков и среднемесячных температур воздуха за период вегетации в эти годы показало, что с апреля по июль различия между температурой воздуха в 2007 и 2008 гг. незначительны. В то время как осадков в 2007 г. по сравнению с 2008 г. выпало на 40 % меньше в лесостепной зоне и на 60 % – в степной. Таким образом, дефицит осадков в первую половину лета приводит к выпадению годичного кольца. Этот вывод хорошо согласуется с данными дендрохронологических исследований по аридным и семиаридным территориям Сибири, что ведущее влияние

на формирование годичных колец оказывают засушливые условия в весенне-летний период [Рыгалова, Харламова, 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для лесостепной и степной зон Восточного Забайкалья с использованием методов цифровой анатомии годичного кольца построены две древесно-кольцевые хронологии по четырем параметрам сосны обыкновенной (RW, EW, LW, BI). Выполненный в работе корреляционный анализ между полученными хронологиями за общий период времени выявил наличие значимых связей между разными природными зонами. В то же время анализ скользящих коэффициентов корреляции показал нестабильность связи между хронологиями разных зон, что связано с периодичностью в режиме увлажнения территории. Это указывает на невозможность построения обобщенной региональной хронологии для лесостепной и степной зон Восточного Забайкалья. Дендроклиматический анализ свидетельствует о том, что построенные древесно-кольцевые хронологии характеризуются высокой чувствительностью к гидротермическим условиям территории. В лесостепной зоне наибольшие значения коэффициентов корреляции получены между суммой атмосферных осадков за календарный год и шириной годичного кольца и ранней древесины, а также между средней температурой воздуха за гидрологический год и шириной поздней древесины. Для деревьев степной зоны наибольшие значимые коэффициенты корреляции выявлены между атмосферными осадками за гидрологический год и хронологиями по ширине годичных колец и ранней древесины, а также индексом суровости засухи Палмера за июль–сентябрь и шириной ранней древесины.

Данная работа демонстрирует сложность процессов взаимодействия радиального прироста деревьев в аридных и семиаридных условиях с гидротермическим режимом территории. Построенные хронологии восполняют недостаточную дендрохронологическую и дендроклиматическую изученность степной и лесостепной зон Восточной Сибири.

Отбор образцов, их обработка и построение древесно-кольцевых хронологий проведены при финансовой поддержке Российского научного фон-

да (проект № 19-14-00028), анализ климатических характеристик и расчет климатического отклика древесно-кольцевых хронологий осуществлены в рамках государственного задания по теме “Механизмы обеспечения экономической устойчивости и экологической безопасности в новой модели развития регионов Востока РФ в условиях трансграничных отношений и глобальных вызовов 21 в.” (№ гос. регистрации 121032200126-6).

ЛИТЕРАТУРА

Андреев С. Г., Ваганов Е. А., Наурызбаев М. М., Тулоханов А. К. Радиальный прирост деревьев как индикатор длительных изменений гидрологического режима в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2001. № 4. С. 49–54.

Атлас Забайкальского края. Чита: Экспресс-издательство, 2010. 48 с.

Вахнина И. Л., Носкова Е. В. Изменения климатических условий Юго-Восточного Забайкалья за период вегетации по метеорологическим и дендрохронологическим данным // Гидрометеорол. исследования и прогнозы. 2021. № 3 (381). С. 83–101. doi: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-77-94>

Воронин В. И., Осколков В. А., Буянтуев В. А., Сизых А. П. Тенденции динамики верхней границы леса в высокогорьях Северного Прибайкалья // Сиб. лесн. журн. 2016. № 4. С. 77–85.

Галимова Р. Г., Переведенцев Ю. П., Яманаев Г. А. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. 2019. № 3. С. 29–39.

Демина А. В., Белокопытова Л. В., Андреев С. Г., Костякова Т. В., Бабушкина Е. А. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24, № 5. С. 553–566. [Demina A. V., Belokopytova L. V., Andreev S. G., Kostyakova T. V., Babushkina E. A. Radial increment dynamics of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as an indicator of hydrothermal regime of the western Transbaikalia forest steppe // Contemporary Problems of Ecology. 2017. Т. 10, Vol. 5. С. 476–487.]

Дэви Н. М., Кукарских В. В., Галимова А. А., Бубнов М. О., Зыков С. В. Современная динамика высокогорных лесов на Северном Урале: основные тенденции // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Серия: Биология. 2018. Т. 11, № 3. С. 248–259.

Мыглан В. С., Жарников З. Ю., Сидорова М. О., Баринов В. В., Тайник А. В. Применение метода Blue Intensity для датирования памятников деревянного зодчества Сибири // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. Т. 46, № 4. С. 109–113. [Myglan V. S., Zharnikov Z. Yu., Sidorova M. O., Barinov V. V., Tainik A. V. Application of the blue-intensity method for dating wooden buildings in Siberia // Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. 2018. Т. 46, Vol. 4. С. 109–113.]

Носкова Е. В., Обязов В. А. Климат. Энциклопедия Забайкалья. Чита – Новосибирск: Наука, 2014. С. 255–257.

Носкова Е. В., Вахнина И. Л., Курганович К. А. Характеристика условий увлажненности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25, № 3. С. 22–30. doi: [10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30](https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30)

Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция). М.: Наука, 1964. 189 с.

Рыгалова Н. В., Быков Н. И. Пространственно-временная изменчивость климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий ленточных и Приобских боров // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Серия: Биология. 2015. Т. 8, № 4. С. 394–409. doi: [10.17516/1997-1389-2015-8-4-394-409](https://doi.org/10.17516/1997-1389-2015-8-4-394-409)

Рыгалова Н. В., Харламова Н. Ф. Пространственно-временной анализ формирования узких годичных колец сосны ленточных боров степной зоны Западной Сибири // Изв. РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85, № 1. С. 109–119.

Черенкова Е. А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах европейской территории России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 6. С. 76–85.

Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 184 с.

Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Shiya-tov S. G., Cook E. R. Unusual 20th-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia // Nature. 1995. Vol. 376. P. 156–159.

Campbell R., McCarroll D., Loader N. J., Grudd H., Robertson I., Jalkanen R. Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree-rings: developing a new palaeoclimate proxy // The Holocene. 2007. Vol. 17, Is. 6. P. 821–828. doi: [10.1177/0959683607080523](https://doi.org/10.1177/0959683607080523)

Cook E. R., Krusic P. J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN). 2008. URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (дата обращения: 18.10.2021).

Cook E. R., Solomina O., Matskovsky V., Cook B. I., Agafonov L., Dolgova E., Karpukhin A., Knzsh N., Kulakova M., Kuynetsova V., Kznel T., Kznel J., Maximova O., Panyushkina I., Seim A., Tishin D., Ważny T., Yermokhin M. The European Russia drought atlas (1400–2016 CE) // Climate Dynamics. 2020. Vol. 54, Is. 3–4. P. 2317–1335. doi: [10.1007/s00382-019-05115-2](https://doi.org/10.1007/s00382-019-05115-2)

Dai A., Trenberth K. E., Qian T. T. A global dataset of Palmer drought severity index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming // J. Hydrometeorol. 2004. Vol. 5, Is. 6. P. 1117–1130. doi: [10.1175/JHM-386.1](https://doi.org/10.1175/JHM-386.1)

Davi N. K., Rao M. P., Wilson R., Andreu-Hayles L., Oelkers R., D’Arrigo R., Nachin B., Buckley B., Pederson N., Leland C., Suran V. Accelerated Recent Warming and Temperature Variability Over the Past Eight Centuries in the Central Asian Altai From Blue Intensity in Tree Rings // Res. Lett. 2021. Vol. 48, Is. 16. P. 17–23.

Dolgova E. June – September temperature reconstruction in the Northern Caucasus based on blue intensity data // Dendrochronologia. 2016. Vol. 39. P. 17–23.

Fischer H., Meissner K. J., Mix A. C., Abram N. J., Austermann J., Brovkin V., Capron E., Colombaroli D., Daniau A. L., Dyez K. A., Felis T., Finkelstein S. A., Jaccard S. L., McClymont E. L., Rovere A., Sutter J.,

- Wolff E. W., Affolter S., Bakker P., Ballesteros-Cano-vas J. A., Barbante C., Caley T., Carlson A. E., Churakov O., Cortese G., Cumming B. F., Davis B. A. S., de Vernal A., Emile-Geay J., Fritz S. C., Gierz P., Gottschalk J., Holloway M. D., Joos F., Kucera M., Loutre M. F., Lunt D. J., Marcisz K., Marlon J. R., Martinez P., Masson-Delmotte V., Nehrbass-Ahles C., Otto-Bliesner B. L., Raible C. C., Risebrobakken B., Goni M. F. S., Arrigo J. S., Sarnthein M., Sjolte J., Stocker T. F., Alvarez P. A. V., Tinner W., Valdes P. J., Vogel H., Wanner H., Yan Q., Yu Z. C., Ziegler M., Zhou L. P. Palaeoclimate constraints on the impact of 2 °C anthropogenic warming and beyond // *Nat. Geosci.* 2018. Vol. 11, Is. 7. P. 474–485. doi: 10.1038/s41561-018-0146-0
- Fritts H. C. *Tree rings and climate*. N.Y.: Academic Press, 1976. 582 p.
- Hillebrand H., Donohue I., Harpole W. S., Hodapp D., Kucera M., Lewandowska A. M., Merder J., Montoya J. M., Freund J. A. Thresholds for ecological responses to global change do not emerge from empirical data // *Nat. Ecol. Evolut.* 2020. Vol. 4. P. 1502–1509. doi: 10.1038/s41559-020-1256-9
- Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-ring Bull.* 1983. Vol. 44. P. 69–75.
- Jensen W. B. The Origin of the Soxhlet Extractor // *J. Chem. Educat.* 2007. Vol. 84, Is. 12. P. 1913–1914. doi: 10.1021/ed084p1913
- Kirdyanov A. V., Saurer M., Siegwolf R. T. W., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova O. V., Fonti M. V., Büntgen U. Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia // *Environ. Res. Lett.* 2020. Vol. 15, N 3. 11 p. doi: 10.1088/1748-9326/ab7469
- Larsson L. CooRecorder and Cdendro programs of the CooRecorder // Cdendro package version 9.1. 2018. URL: <https://www.cybis.se/forfun/dendro/helpcoorecorder7/index.htm> (дата обращения: 18.10.2021).
- Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 269 p.
- Rydval M., Larsson L. Å., McGlynn L., Gunnarson B. E. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // *Dendrochronologia*. 2014. Vol. 32, Is. 3. P. 191–204.
- Tchebakova N. M., Parfenova E. I., Korets M. A., Conard S. G. Potential change in forest types and stand heights in central Siberia in a warming climate // *Environ. Res. Lett.* 2016. Vol. 11, Is. 3. 16 p. doi: 10.1088/1748-9326/11/3/035016
- Vaganov E. A., Hughes M. K., Shashkin A. V. *Growth dynamics of conifer tree rings: an image of past and future environments*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 2006. 368 p.
- Wigley T. M., Briffa K. R., Jones P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // *J. Climate and Appl. Meteorol.* 1984. Vol. 23, Is. 2. P. 201–213.
- Zhang H., Fan J., Cao W., Harris W., Li Y., Chi W., Wang S. Response of wind erosion dynamics to climate change and human activity in Inner Mongolia, China during 1990 to 2015 // *Sci. Tot. Environment*. 2018. Vol. 639. P. 1038–1050. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.082
- Zhao T., Dai A. Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part II: model-simulated historical and future drought changes // *Climatic Change*. 2017. Vol. 144, Is. 3. P. 535–548. doi: 10.1007/s10584-016-1742-x

Regional features of the radial growth of Scots pine in the climatic conditions of the forest-steppe and steppe zones of Eastern Transbaikalia according to multiparameter tree-ring chronologies

I. L. VAKHNINA^{1, 2}, V. S. MYGLAN¹, E. V. NOSKOVA², V. V. BARINOV¹, A. V. TAINIK¹

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

²*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
672002, Chita, Nedorezov str., 16a
E-mail: vahnina_il@mail.ru*

In this work, a dendroecological study of the parameters of annual rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in the forest-steppe and steppe zones of Eastern Transbaikalia was carried out. For the first time, two new tree-ring chronologies (Nov and Tz) were built for the study area. They were constructed using digital growth ring anatomy methods and include four parameters: tree ring width, early wood width, late wood width, and late wood optical density. The analysis of the obtained chronologies made it possible to

estimate the parameters of tree growth in the conditions of the forest-steppe (Nov) and steppe (Tz) zones and to reveal the presence of a reliable connection between them. Calculation of sliding correlation coefficients revealed periods of falling correlation coefficients below reliable values. This indicates the impossibility of constructing a generalized regional chronology for the forest-steppe and steppe zones of Eastern Transbaikalia. Comparison of the obtained chronologies with meteorological parameters (surface air temperature and atmospheric precipitation), with the calculated indices of aridity and moisture (Selyaninov's hydrothermal coefficient, Pedyu's aridity index, Palmer drought severity index) showed the most sensitive characteristics of the annual ring in the study area. In the forest-steppe zone, the highest values of the correlation coefficients were obtained between the average annual precipitation and the annual ring width ($r = 0.59$), early wood width ($r = 0.59$), and also between the average air temperature for a hydrological year and the late wood width ($r = 0.51$). For trees of the steppe zone, the largest significant correlation coefficients were obtained between water year precipitation and the annual ring width ($r = 0.43$), early wood width ($r = 0.43$), as well as between the Palmer drought severity index for June-September and the width of early wood ($r = 0.52$).

Key words: ecology, dendrochronology, tree ring, early wood, late wood, optical density.