

УДК 630\*561.24

**РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЭКСТРАЗОНАЛЬНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СУХОЙ СТЕПИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ**

© 2022 г. Н.В. Рыгалова\*, Н.И. Быков\*\*, А.А. Шигимага\*\*

\*Алтайский государственный университет

Россия, 656049 г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

\*\*Институт водных и экологических проблем СО РАН

Россия, 656038 г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: natalia.ml@mail.ru, nikolai\_bykov@mail.ru

Поступила в редакцию 03.09.2021. После доработки 04.10.2021. Принята к публикации 10.10.2021

В работе представлен дендроклиматический анализ древесно-кольцевых хронологий хвойных (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb.) и лиственных (*Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera* L.) пород деревьев, произрастающих в естественных экстрозональных ландшафтах ленточных боров и природно-антропогенных ландшафтах полезащитных лесополос в сухостепной подзоне юга Западной Сибири. Максимальный годичный прирост отмечен у тополя, минимальный – у лиственницы. Наибольшей климатической чувствительностью характеризуются ряды радиального роста деревьев лесополос (максимальные значения отмечены для березы). Отмечено сходство древесно-кольцевых рядов березы и лиственницы, которые наиболее подвержены водному стрессу в условиях сухой степи. Установлена значимость гидротермических условий августа-сентября предыдущего года, а также мая (для хвойных пород) и преимущественно июня (для лиственных) текущего года. Положительная статистически значимая связь отмечена с осадками и показателем увлажнения территории (с гидротермическим коэффициентом Селянинова), с температурой – отрицательная. Для хронологий сосны естественных ленточных боров вклад первой компоненты определяет 80.6% изменчивости ряда, что больше, чем для хронологий лесополос. Это свидетельствует о смешанном природно-антропогенном сигнале в годичных кольцах деревьев искусственных лесопосадок.

*Ключевые слова:* сухая степь, радиальный рост деревьев, дендроклиматический анализ, ленточные боры, полезащитные лесополосы, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза повислая, тополь бальзамический.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-73-79**

В последние годы неизменно растет интерес и число публикаций по дендроклиматическим исследованиям засушливых территорий (Агафонов, Кукарских, 2008; Андреев и др., 2001; Вахнина и др., 2018; Вахнина, Малых, 2013; Малышева, Быков, 2011; Babushkina et al., 2019; Khansaritoreh et al., 2018; Ling et al., 2015; Tabakova et al., 2020; Dulamsuren et al., 2018). Это обусловлено тем, что древесные растения здесь испытывают дефицит влаги и являются индикаторами увлажнения территории, а также тенденций его многолетних изменений под влиянием глобальных трансформаций климата. Наиболее исследованными на засушливых территориях являются сосна (Агафонов, Кукарских, 2008; Андреев и др., 2001; Вахнина и др., 2018; Малышева, Быков, 2011; Рыгалова, Быков, 2015; Babushkina et al., 2019; Matveev et al., 2018; Ling et al., 2015; Tabakova et al., 2020; Dulamsuren et al., 2018), меньше береза (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018; Вахнина, Малых, 2013), лиственница (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018; Khansaritoreh et al., 2018) и тополь (Edmondson et al., 2014; Ling et al., 2015). При этом в фокусе дендроклиматических исследований находятся прежде всего естественные лесные ландшафты (в частности, ленточные боры, протягивающиеся от подзоны южной лесостепи до сухой степи (Магда, 2003; Малышева, Быков, 2011; Оленин, Мазепа, 1987; Рыгалова, Быков, 2015; Tabakova et al., 2020), антропогенные леса представлены незначительно: есть отдельные работы по дендроклиматическому изучению городских лесов (Вахнина, 2011; Матвеев и др., 2015; Vasconcellos et al., 2019) в различных физико-географических зонах, подобных исследований полезащитных лесополос практически не

представлено. Можно отметить работу Е.А. Бабушкиной с соавторами (Babushkina et al., 2019), где в качестве одного из объектов исследования выступают полезащитные лесополосы из вяза, и пионерные работы по Алтайскому краю (Быков и др., 2020).

Сухостепная зона остается малоисследованной в этом отношении, прежде всего по причине естественного отсутствия деревьев. Произрастание древесной растительности здесь возможно в условиях азонального проявления, а также в искусственно созданных экосистемах. При этом функционирование природно-антропогенных ландшафтов определяется не только природными условиями, но также зависит от воздействия человека.

Цель данной работы заключается в сравнительном анализе динамики радиального роста различных древесных пород (лиственных и хвойных), произрастающих в пределах сухой степи. Главной задачей является установление климатической чувствительности древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) деревьев различных пород, что позволит судить о специфике реакции на изменения экстремальности фактора среды и климатических условий последних десятилетий. Другой задачей является сравнение особенностей роста деревьев в естественных и антропогенных ландшафтах, что позволит выявить наличие антропогенного сигнала.

### Материалы и методы

Работа основана на анализе обобщенных хронологий ширины годичных колец деревьев разных пород: 7 ДКХ сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в ленточных борах (рис. 1); 1 ДКХ лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), 2 ДКХ березы повислой (*Betula pendula* Roth.), 4 ДКХ тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), представленных в качестве основных пород в полезащитных лесополосах в сухостепной подзоне Западной Сибири в юго-западной и западной частях Алтайского края (на границе с Казахстаном). В орографическом плане модельные участки лесополос характеризуются равнинным рельефом (142-246 м н.у.м. БС), сбор образцов сосны обыкновенной проводился на выровненных участках долин древнего стока (153-220 м н.у.м. БС). При выборе деревьев в ленточных борах предпочтение отдавалось отдельно стоящим деревьям (с целью снижения внутриценотического фактора конкуренции), в лесополосах такая возможность была исключена (кроме модельной площадки Рубцовск\_Б, где деревья произрастали на значительном удалении друг от друга).

Сбор, обработка, измерение, индексирование и построение обобщенных остаточных хронологий (residual) производились по общепринятым дендрохронологическим методикам (Методы дендрохронологии, 2000; Cook, Kairiukstis, 1990) с использованием специального оборудования LINTAB 6 и программного обеспечения TSAP, программы пакета DPL.

Расчет коэффициента чувствительности, который является мерой относительной изменчивости значений ширины годичных колец от года к году, был произведен по стандартной формуле (Fritts, 1976). Анализ коэффициентов чувствительности хронологий позволят оценить степень влияния лимитирующих факторов среды на рост деревьев (в сухостепной подзоне основным фактором является дефицит осадков). Хронология считается чувствительной, если значение данного коэффициента выше 0.3 (Ferguson, 1969), но может быть использована в дендроклиматическом анализе при значении 0.2 и выше (Ваганов и др., 1996).

В качестве метеорологической базы исследования использованы данные среднемесячных значений температуры воздуха и атмосферных осадков (Федеральная служба ..., 2021), расчетные значения ГТК Селянинова с 1977 по 2012 гг. по ГМС Рубцовск. За указанный период среднегодовая сумма осадков составила 322 мм, среднее значение ГТК – 0.74, что соответствует переходной зоне от засушливой к сухой (ГТК ниже 0.7) степи (Грингоф, Павлова, 2013).

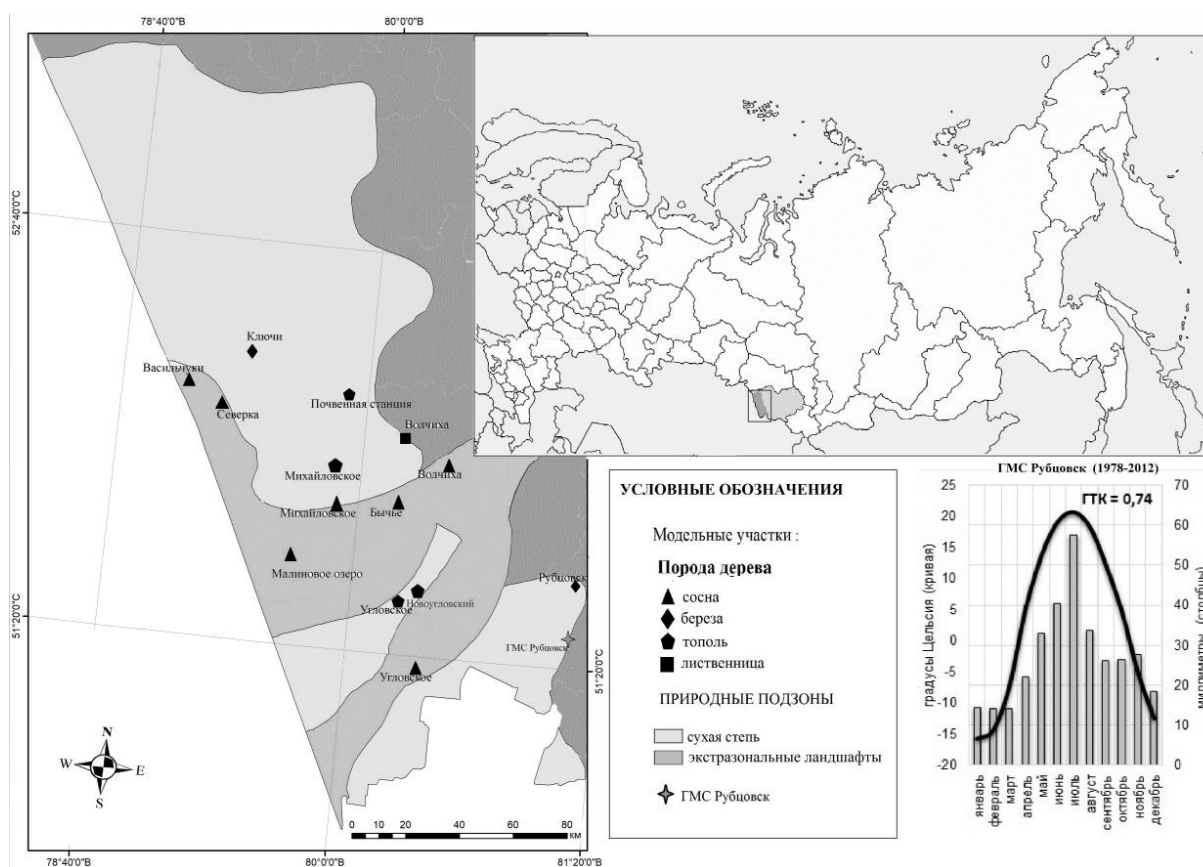
Взаимосвязь между хронологиями, а также климатическими данными и приростом определялась с помощью расчета коэффициентов корреляции Пирсона (взяты метеоданные с августа прошлого года по сентябрь текущего года прироста). Кроме этого для исследования взаимосвязи ДКХ разных пород между собой использовался кластерный анализ (метод Уарда – как правило объединения и мера расстояний 1-г Пирсона (Магда и др., 2004)); для выявления наличия единого фактора, который определяет прирост деревьев, был использован метод главных компонент (Peters et al., 1981).

### Результаты и их обсуждение

Было проанализировано 14 обобщенных ДКХ (табл.), представленных 4 породами деревьев, произрастающих в местообитаниях, отличных друг от друга по экологическим характеристикам.

Древесно-кольцевые ряды лесополос являются по большей части одновозрастными и короткими в отличие от ДКХ естественных боров. В связи с короткочерностью хронологий лесополос общий период анализа составил 35 лет (1978-2012 гг.).

Наибольшими средними значениями ширины годичных колец (в том числе максимальными и минимальными) характеризуется тополь. Внутри данной видовой группы рост указанных параметров происходит в юго-восточном направлении (как и для березы), совпадая с восточным вектором увеличения атмосферных осадков. По ДКХ сосны отмечается обратная тенденция: увеличение параметров годичных колец происходит при движении на северо-запад сухостепной подзоны (исключением является ДКХ Угловское). При движении на север подзоны снижается сумма активных температур (Kharlamova, 2020), вероятнее всего, ослабевает действие термического фактора на прирост деревьев, несмотря на сохраняющееся недостаточное количество осадков. Произрастание сосны в границах значительной по площади экстразональной геосистемы делает ее более устойчивой к дефициту влаги. Хронология лиственницы, произрастающей в лесополосах, демонстрирует самые низкие значения средней и минимальной ширины годичного прироста.



**Рис. 1.** Территория исследования, физико-географические границы даны по атласу «Алтайский край» (1978).

Результаты исследований показали, что ДКХ сухостепной подзоны характеризуются высокой чувствительностью, при этом пороговое значение 0.3 (Ferguson, 1969) преодолевают только хронологии березы и лиственницы, также отдельные ДКХ тополя и сосны. В целом береза демонстрирует наибольший дендроиндикационный потенциал на данной территории в связи с ее уязвимостью к воздействию засух, характерных для сухой степи, что отмечалось ранее и для других засушливых территорий (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018). Лиственница, произрастающая в условиях дефицита влаги на равнине, уступает по засухоустойчивости сосне обыкновенной, что также отмечалось ранее (Babushkina et al., 2019), и достаточно чувствительна к динамике увлажнения территории. Тополиные хронологии по ряду причин (Edmondson et al., 2014) редко используются в дендроклиматических исследованиях. Тем не менее, на рассматриваемой территории

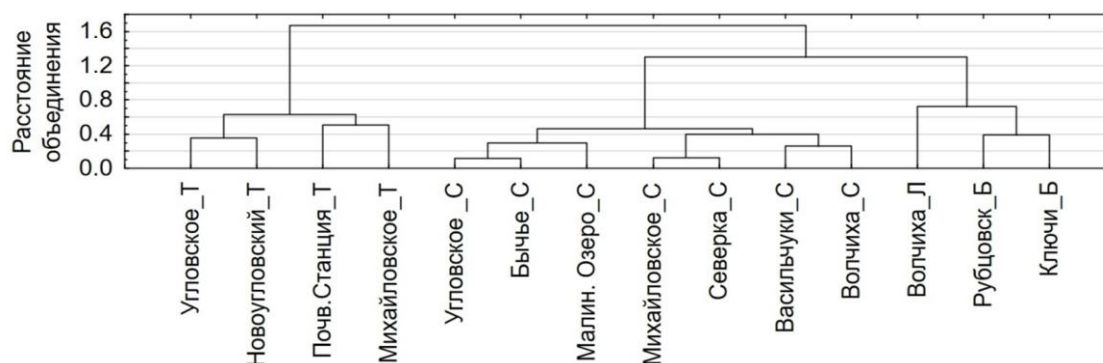
они характеризуются значительным потенциалом (особенно северные ДКХ).

Проведенный кластерный анализ позволил выделить 3 группы, оформившиеся по породному составу: тополиную, сосновую и березово-лиственничную (рис. 2). Образование последнего кластера объясняется высокой чувствительностью радиального прироста обеих пород к дефициту влаги, характерной в сухой степи. При дальнейшем объединении сосновая и березово-лиственничная группы ДКХ образуют единый кластер, что говорит о большей схожести реакции данных пород на изменения условий среды по сравнению с топодем.

**Таблица.** Характеристика древесно-кольцевых хронологий.

Название места и порода дерева (ДКХ_порода*)	Координаты мест отбора проб	Период ДКХ, гг. (количество лет)	Среднее / максимальное / минимальное значение ШГК**, осредненное по ИДКХ*** (мм)	Стандартное отклонение к чувствительности для ДКХ за 1978-2012 гг.	
Ключи_Б	52°13' с.ш., 79°11' в.д.	1969-2018 (50)	2.2 / 7.2 / 0.3	0.39	0.43
Рубцовск_Б	51°40' с.ш., 81°03' в.д.	1965-2018 (54)	2.6 / 8.4 / 0.4	0.29	0.37
Почв.Станция_Т	52°03' с.ш., 79°54' в.д.	1949-2018 (70)	3.2 / 9.8 / 0.5	0.29	0.33
Михайловское_Т	51°51' с.ш., 79°42' в.д.	1978-2018 (41)	3.3 / 7.9 / 0.7	0.23	0.27
Новоугловский_Т	51°26' с.ш., 80°13' в.д.	1971-2018 (48)	3.6 / 9.1 / 1.4	0.22	0.25
Угловское_Т	51°22' с.ш., 80°03' в.д.	1973-2018 (46)	3.4 / 9.4 / 1.0	0.25	0.29
Волчиха_Л	52°02' с.ш., 80°18' в.д.	1961-2018 (58)	1.2 / 6.1 / 0.1	0.32	0.32
Васильчуки_С	52°14' с.ш., 78°55' в.д.	1781-2019 (239)	2.1 / 7.0 / 0.5	0.21	0.23
Северка_С	52°07' с.ш., 79°18' в.д.	1858-2007 (150)	2.0 / 5.7 / 0.4	0.26	0.31
Волчиха_С	51°59' с.ш., 80°25' в.д.	1768-2018 (251)	1.8 / 5.1 / 0.4	0.25	0.26
Бычьё_С	51°50' с.ш., 80°08' в.д.	1803-2012 (210)	1.9 / 5.3 / 0.3	0.19	0.19
Михайловское_С	51°49' с.ш., 79°47' в.д.	1822-2007 (186)	1.7 / 5.7 / 0.3	0.28	0.34
Малинов.Озеро_С	51°32' с.ш., 79°52' в.д.	1733-2013 (281)	1.3 / 4.8 / 0.2	0.21	0.27
Угловское_С	51°18' с.ш., 80°20' в.д.	1779-2013 (235)	1.9 / 6.4 / 0.4	0.27	0.28

**Примечания к таблице:** ДКХ\_порода\* – порода деревьев: Б – береза, Т – тополь, Л – лиственница, С – сосна; ШГК\*\* – ширина годичных колец деревьев, ИДКХ\*\*\* – индивидуальные ДКХ.

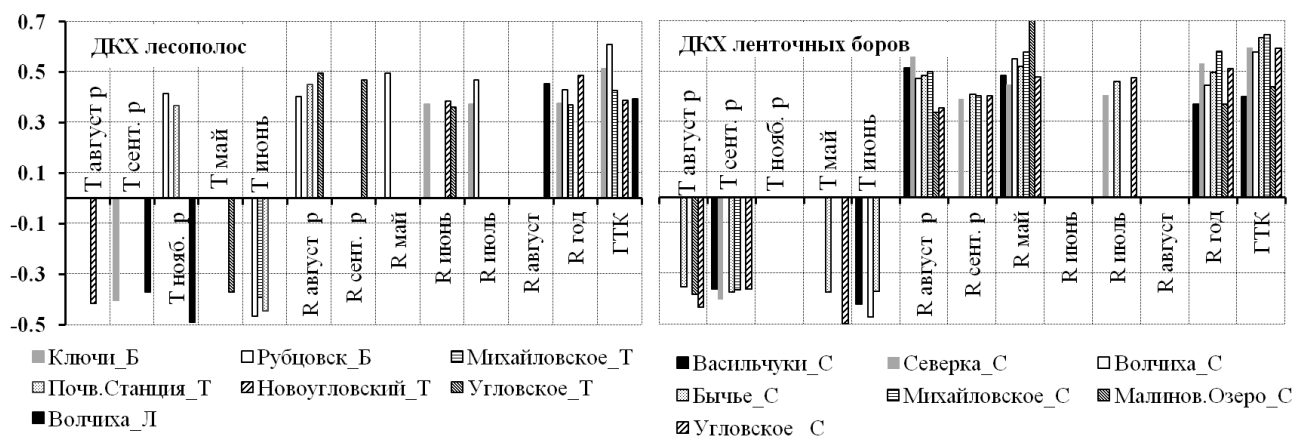


**Рис. 2.** Кластеризация ДКХ за период 1978-2012 гг.

Корреляционный анализ стандартизированных хронологий различных породных групп показал слабую связь между радиальным приростом сосны естественных боров и лесополос. С тополиными хронологиями среднее значение коэффициента корреляции ДКХ ленточных боров составило 0.35. Отмечаются отдельные корреляционные связи на уровне 0.50 (при этом не отмечается четкой территориальной закономерности в их проявлении). С березовой хронологией Ключи\_Б средний

коэффициент корреляции составил также 0.35, при этом для хронологий ленточных боров и ДКХ Рубцовск\_Б получена умеренно высокая связь: среднее значение коэффициента корреляции – 0.6. Можно предположить, что это связано с особенностью произрастания деревьев на модельной площадке Рубцовск\_Б (разреженно), что позволяет получить более чистый климатический сигнал (без шума внутриценотической конкуренции). Коэффициент корреляции хронологий сосны ленточных боров и лиственницы лесополос составил 0.24, отсутствие связи подтверждается кластерным анализом. Средние корреляционные значения между хронологиями березы и тополя составили 0.34; березы и лиственницы – 0.44 (Ключи\_Б/Волчиха\_Л) и 0.28 (Рубцовск\_Б/Волчиха\_Л), связь между ДКХ тополя и лиственницы отсутствует.

Результаты корреляционного анализа обобщенных хронологий и климатических данных отражены на рисунке 3 (представлены месяцы, для которых получены значимые коэффициенты корреляции при  $p < 0.05$ ). Лимитирующими факторами для деревьев, произрастающих в сухостепной подзоне, являются гидротермические условия предыдущего августа/сентября и первой половины вегетационного периода текущего года (с осадками – положительная связь, с температурой – отрицательная). Для прироста большинства лиственных пород деревьев значимы гидротермические условия июня (для «южных» ДКХ Угловское\_Т – температура мая, ДКХ Рубцовск\_Б – осадки мая и июня). Прирост сосны определяют прежде всего осадки мая, а также предыдущего августа/сентября, в меньшей степени – температуры прошлых августа/сентября и текущих мая-июня. Хронология лиственницы демонстрирует иной отклик: фиксируется отрицательная связь прироста с температурой сентября-ноября прошлого года и положительная с осадками августа текущего года. Все ДКХ коррелируют с ГТК Селянинова ( $r = 0.4-0.6$  при  $p < 0.05$ ), что указывает на значимость совокупного фактора тепла и влаги для роста деревьев в сухой степи, при этом реакция деревьев (в значительной степени сосны) на осадки имеет более выраженный характер, что также отмечалось для засушливых территорий в ряде работ (Агафонов, Кукарских, 2008; Вахнина и др., 2018; Babushkina et al., 2019; Matveev et al., 2018; Tabakova et al., 2020; Edmondson et al., 2014). Зависимость прироста лиственницы преимущественно от гидротермических условий прошлого года, также отмечалась исследователями ранее (Khansaritoreh et al., 2018).



**Рис. 3.** Коэффициенты корреляции ДКХ лесополос/ленточных боров и данных ГМС Рубцовск за период 1978-2012 гг. (значимы при  $p < 0.05$ ). Условные обозначения: Т – температура воздуха, R – осадки, ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова, обозначение «р» – месяц предыдущего года.

Анализ главных компонент группы индексированных хронологий сосны ленточных боров показал, что первая компонента описывает 80.6% изменчивости рядов за указанный период (вторая – 7.3%), для группы ДКХ лесополос на первую компоненту приходится только 45.5%, на вторую – 19.8% изменчивости рядов. Вклад главной компоненты отдельно по ДКХ тополиной группы и березово-лиственничной, выделенных ранее при кластерном анализе, составил для обоих 63% (второй компоненты – 16.4% и 24.6% соответственно). Для роста деревьев в сухой степи климатическая компонента безусловно будет основной (что доказано выше установленными статистическими

зависимостями). Снижение вклада главной компоненты для деревьев полезащитных полос доказывает влияние дополнительных (возможно, антропогенных) факторов на их радиальный рост.

### Выводы

В ходе исследования впервые для России был проведен сравнительный дендроклиматический анализ хвойных и лиственных пород деревьев, произрастающих в условиях выраженного дефицита осадков в искусственно созданных и естественных (экстразональных) лесных экосистемах. Изучаемые полезащитные лесополосы были высажены в советское время (во второй половине XX века), что обусловило небольшую продолжительность периода (1978-2012 гг.), использованного для анализа при условии, что он обеспечен всеми древесно-кольцевыми хронологиями.

Снижение радиального прироста деревьев в лесополосах сухостепной подзоны и увеличение чувствительности обобщенных хронологий лиственных пород (представленных в лесополосах) происходит по направлению юго-восток – северо-запад. При этом у хвойных пород (сосна ленточных боров) увеличение параметров годичных колец происходит в прямо противоположную сторону, а при оценке чувствительности ДКХ сосны не обнаружено пространственных закономерностей.

Хронологии ленточных боров не обнаружили значимых связей с ДКХ лесополос (за исключением хронологии Рубцовск\_Б, предположительно, по причине слабого влияния фактора конкуренции на прирост березы на данном модельном участке и более выраженного климатического сигнала). В целом группы хронологий разных пород (хвойных и лиственных) в условиях засушливого климата слабо коррелируют друг с другом.

Хронологии лесополос (представленные преимущественно лиственными породами) более чувствительны к изменению условий окружающей среды по причине антропогенного генезиса (и, как следствие, усиленной акклиматизации), высокой ценотической конкуренции, а также своего фрагментированного размещения в пространстве. При этом корреляционный анализ показал более выраженный и согласованный отклик сосны ленточных боров на погодно-климатические изменения. Это связано с наличием иных (не метеорологических) факторов, которые определяют размер ежегодного радиального роста деревьев в антропогенных лесных ландшафтах в сухой степи, что подтверждает анализ главных компонент. Таким образом, можем говорить о смешанном природно-антропогенном сигнале в годичных кольцах деревьев лесополос. В этой связи рекомендуется проведение дополнительных манипуляций с ДКХ полезащитных лесополос с целью уменьшения влияния антропогенного фактора на рост деревьев (например, применение генерализации хронологий).

*Финансирование.* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-220011 р\_а «Реакция полезащитных лесных полос сухостепной зоны Алтайского края на изменения климата») и в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (номер госрегистрации 0306-2021-0007 «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг»).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафонов Л.И., Кукарских В.В. 2008. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Экология. № 3. С. 173-180.
- Алтайский край. Атлас. 1978. Т. I. М., Барнаул: ГУГК. 222 с.
- Андреев С.Г., Тулохонов А.К., Наурзбаев М.М. 2001. Региональные закономерности изменчивости прироста сосны в степной зоне Бурятии // География и природные ресурсы. № 1. С. 73-78.
- Быков Н.И., Рыгалова Н.В., Шигимага А.А. 2020. Особенности радиального роста древесных растений в полезащитных лесных полосах сухой степи Алтайского края // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар. С. 122-124
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. 1996. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 246 с.
- Вахнина И.Л. 2011. Радиальный рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зеленой зоне города Читы во второй половине прошлого столетия // География и природные ресурсы. № 1. С. 180-182.
- Вахнина И.Л., Мальх О.Ф. 2013. Деградация березняков бассейна реки Аргунь как показатель климатических изменений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 4. С. 122-126

- Вахнина И.Л., Обязов В.А., Замана Л.В. 2018. Динамика увлажнения в степной зоне юго-восточного Забайкалья с начала XIX столетия по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. № 2. С. 28-33
- Грингоф И.Г., Павлова В.Н. 2013. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. III. Ч. 1. Основы агроклиматологии. Ч. 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 384 с.
- Магда В.Н. 2003. Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск. 21 с.
- Магда В.Н., Ойдунаа О.Ч., Блок Й. 2004. Исследование географических особенностей климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий методами кластерного анализа // Известия Русского географического общества. Т. 136. Вып. 6. С. 46-53.
- Мальшева (Рыгалова) Н.В., Быков Н.И. 2011. Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири. Барнаул: Азбука. 125 с.
- Матвеев С.М., Мироненко А.В., Тимащук Д.А. 2015. Лесоводственный и дендроклиматический анализ искусственных сосновых фитоценозов, подверженных рекреационной дигрессии в пригородной зоне г. Воронежа // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. биол. Т. 8. № 4. С. 410-425.
- Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. 2000 / Сост. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. Красноярск: КрасГУ. 80 с.
- Оленин С.М., Мазена В.С. 1987. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны в ленточных борах Казахстана // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Ч. II. Каунас. С. 53-61.
- Рыгалова Н.В., Быков Н.И. 2015. Пространственно-временная изменчивость климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий ленточных и Приобских боров // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. биол. Т. 8. № 4. С. 394-409.
- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Специализированные массивы. 2021 [Электронный ресурс: <http://mete.ru/data> (дата обращения: 10.11.2020)].
- Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Tychkov I.I., Vaganov E.A., Krutovsky K.V. 2019. Response of Four Tree Species to Changing Climate in a Moisture-Limited Area of South Siberia // Forests. No. 10 (11). P. 999.
- Cook E.R., Kairiukstis L. 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in Environmental Sciences. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 394 p.
- Dulamsuren C., Abilova S.B., Bektayeva M., Eldarov M., Schuldt B., Leuschner C., Hauck M. 2018. Hydraulic Architecture and Vulnerability to Drought-Induced Embolism in Southern Boreal Tree Species of Inner Asia // Tree Physiology. Vol. 39. P. 463-473.
- Edmondson J., Friedman J., Meko D., Touchan R., Scott J., Edmondson A. 2014. Dendroclimatic Potential of Plains Cottonwood (*Populus deltoides* Subsp. *Monilifera*) from the Northern Great Plains, USA // Tree-Ring Research. Vol. 70 (1). P. 21-30.
- Ferguson C.W. 1969. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California // Tree-Ring Bull. Vol. 29. No. 3-4. P. 3-29.
- Fritts H.C. 1976. Tree rings and climate. L. etc.: Acad. press. 567 p.
- Khansaritoreh E., Schuldt B., Dulamsuren C. 2018. Hydraulic Traits and Tree-Ring Width in *Larix sibirica* Ledeb. as Affected by Summer Drought and Forest Fragmentation in the Mongolian Forest Steppe // Annals of Forest Science. Vol. 75. P. 30.
- Kharlamova N.F. 2020. Climatic Variability of the Kulunda Steppe // KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research / Eds. M. Frühauf, G. Guggenberger, T. Meinel, I. Theesfeld, S. Lentz. Springer, Cham. P. 19-32.
- Ling H., Zhang P., Xu H., Zhao X. 2015. How to Regenerate and Protect Desert Riparian *Populus euphratica* Forest in Arid Areas // Scientific Reports. Vol. 5. P. 15418.
- Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. 2018. The Effects of Limiting Climate Factors on the Increment of Native Tree Species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh Region // Journal of Forest Science. Vol. 64. P. 427-434.
- Peters K., Jacoby G.C., Cook E.R. 1981. Principal Component Analysis of Tree-Ring Sites // Tree-Ring Bulletin. Vol. 41. P. 1-21.
- Tabakova M.A., Arzac A., Martínez E., Kirilyanov A.V. 2020. Climatic Factors Controlling *Pinus sylvestris* Radial Growth along a Transect of Increasing Continentality in Southern Siberia // Dendrochronologia. Vol. 62. P. 125709.
- Vasconcellos T.J., Tomazello-Filho M., Callado C.H. 2019. Dendrochronology and Dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (*Malvaceae*) Exposed to Urban Pollution in Rio de Janeiro City, Brazil // Dendrochronologia. Vol. 53. P. 104-113.