

УДК [630\*561.21+630\*811.42]:582.475.4  
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80

## РЕАКЦИЯ ШИРИНЫ ГОДИЧНОГО КОЛЬЦА И ДОЛИ ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

*С.Р. Кузьмин*<sup>1,2</sup>, канд. с.-х. наук; ст. науч. сотр.; ResearchID: [T-6977-2019](https://orcid.org/0000-0002-5391-6536),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-6536>

<sup>1</sup>Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Академгородок 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: skr\_7@mail.ru

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, просп. Свободный, д. 79, г. Красноярск, Россия, 660041; e-mail: srkuzmin@sfu-kras.ru

Изучена ширина годичного кольца и доля поздней древесины у деревьев шести контрастных по месту происхождения климатических экотопов (климатипов) сосны обыкновенной, выращиваемых в географических культурах в южной тайге Средней Сибири (Богучанское лесничество) и лесостепи Западной Сибири (Сузунское лесничество) для оценки реакции древесины на условия произрастания. Проведен сравнительный дисперсионный анализ средних значений исследуемых признаков между климатипами в пределах каждого пункта испытания и между пунктами. Исследована динамика элементов древесины и их реакция на погодные условия за многолетний период с помощью корреляционного анализа. Выявлено, что в условиях лесостепи у климатипов в среднем максимальные радиальные приросты отмечаются в возрасте 9 лет, в южной тайге – позднее, в 12–16 лет. У климатипов с юга ареала в условиях лесостепи ширина годичного кольца имеет достоверно меньшие значения, чем у представителей северного происхождения. Для климатипов, перемещенных из более тепло-го климата в южную тайгу, характерны достоверно большие значения ширины годичного кольца, чем у самого северного из исследуемых. Доля поздней древесины у всех изученных климатипов сосны в южной тайге уменьшается по сравнению с лесостепью. Значимая связь доли поздней древесины у климатипов в лесостепи отмечается не только со среднемесячными погодными условиями второй половины вегетационного периода, но и первой, что свидетельствует о более высокой чувствительности структуры их древесины к комплексу климатических и экологических условий географических культур по сравнению с южной тайгой. Результаты исследования показывают, что по средним значениям ширины годичного кольца и доле поздней древесины в лесостепи и южной тайге генетически стабильным является богучанский климатип.

**Для цитирования:** Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 64–80. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0356-2019-0024 (Биоразнообразие коренных хвойных и производных лесных экосистем), а также при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ (№ 14-04-31366; 20-05-00540).

**Благодарность:** Автор выражает благодарность Р.В. Роговцеву (начальнику отдела Новосибирской лесосеменной станции Центра защиты леса Новосибирской области, филиала Российского центра защиты леса в г. Новосибирске) за помощь в полевых исследованиях.

**Ключевые слова:** географические культуры, сосна обыкновенная, ширина годичного кольца, доля поздней древесины.

### Введение

Успешность роста сосны в географических культурах зависит от наследственных свойств климатипов и экологических факторов в пункте испытания. Большая часть работ в области изучения географических культур,

включая современные исследования, посвящена росту в высоту, сохранности и стволовой продуктивности [10, 12, 47]. Обобщения результатов географических испытаний содержатся в работах Л.Ф. Правдина и А.Д. Вакурова [16], В.П. Тимофеева [27], А.И. Ирошникова [2], А.И. Чернодубова с соавт. [28], Е.Н. Наквазиной с соавт. [13], В.В. Тараканова с соавт. [26], П.Г. Мельника и М.Д. Мерзленко [9], М.Д. Мерзленко с соавт. [11] и др. Значительно меньше работ, посвященных структуре древесины в географических культурах [18, 19, 37, 39, 46]. В основном эти исследования проведены в одном пункте испытания, однако анализ роста климатипов сосны в разных условиях произрастания позволяет выявить особенности их адаптации, обусловленные разным происхождением и реакцией на экологические факторы, а также установить перспективные климатические экотипы для дальнейшего использования в лесоразведении.

Основные показатели роста деревьев (средняя высота, диаметр, сохранность деревьев) в географических культурах применяются для построения моделей и прогнозов роста потомства сосны обыкновенной в разных климатических условиях [29, 45]. Результаты, полученные для серии географических культур в Швеции и Финляндии, положены в основу моделей для прогнозирования влияния климатических изменений на запас древесины и сохранность потомства сосны обыкновенной при перемещении семян [44]. Изучение реакции ширины годичного кольца (ШГК) и доли поздней (ДП) древесины на погодные условия в разных лесорастительных условиях позволяет выявлять особенности формирования структуры древесины и их лимитирующие факторы у климатипов сосны. В трех географических культурах сосны обыкновенной в Латвии исследование ширины годичного кольца показало, что более продуктивные происхождения из теплых мест имеют меньшую чувствительность роста к погодным условиям и более устойчивы к неблагоприятным погодным изменениям благодаря способности использовать более длинный вегетационный период и усваивать большее количество питательных веществ [39]. Важно отметить, что по сравнению с Сибирью различия по климату в пунктах испытания в Европе [39, 47] менее выражены.

Исследования реакции деревьев на температуру в зависимости от продолжительности вегетационных периодов показали, что деревья из участков с коротким вегетационным периодом реагируют быстрее на повышение температуры и раньше останавливают рост, чем деревья на территориях с более длинным вегетационным периодом [41]. Несовпадение между фенологией роста и окружающей средой может приводить к снижению адаптации и неудовлетворительным показателям роста растений [43].

Переход от ранней древесины к поздней у хвойных находится под влиянием как климатических, так и эндогенных факторов [35, 36, 48]. Во время засухи хвойные виды обычно формируют трахеиды с более толстыми стенками [30, 31, 38], но у сосны обыкновенной, произрастающей в очень сухих местах, встречаются исключения [32].

Цель исследования – анализ реакции ширины годичного кольца и доли поздней древесины на изменение погодных условий у потомства шести контрастных по происхождению климатипов сосны обыкновенной, произрастающих в географических культурах в лесостепи и южной тайге Сибири, а также выявление различий и закономерностей в реакции потомства контрастного происхождения.

*Объекты и методы исследования*

Объектами исследования являются 6 климатических экотипов (далее условно называемые климатипами) сосны обыкновенной (плесецкий, енисейский, богучанский, сузунский, чемальский, балгазынский), тестируемых в 35-летних географических культурах Западной и Средней Сибири. Исследование ШГК и ДП проводилось ранее на примере контрольных климатипов и содержало описание основных методических подходов [4]. Географические культуры в разное время исследовались по росту в высоту, диаметру [6, 17], особенностям ассимиляционного аппарата [3, 7, 15], свойствам почв [14], анатомии древесины [6], устойчивости к грибным патогенам [8].

По климатическим характеристикам районы испытания географических культур в лесостепи и южной тайге имеют различия. Источником современной климатической и погодной информации являются данные проекта «Европейская оценка и база данных климата» (ЕСА&D) [33]. Климатическая характеристика мест происхождения 6 климатипов по архивным справочным материалам [20–25] приведена в табл. 1, показатели роста в 35-летнем возрасте культур – в табл. 2. Подробные данные о географических культурах в лесостепи опубликованы ранее [17].

Таблица 1

**Характеристика мест происхождения климатипов**

Климатип	Координаты мест происхождения (с. ш. / в. д.)	Сумма температур >10 °С	Сумма осадков, мм		Число дней со среднесуточной температурой >5 °С
			с апреля по сентябрь	за год	
Плесецкий	62° 54' / 40° 24'	1353	387	691	141
Енисейский	58° 25' / 93° 00'	1640	332	572	142
Богучанский <sup>1</sup>	58° 22' / 97° 12'	1682	297	458	139
Сузунский <sup>2</sup>	53° 45' / 82° 16'	2050	358	583	161
Чемальский	51° 24' / 86° 00'	2010	437	561	173
Балгазынский	51° 00' / 95° 12'	1772	303	398	158

Примечание. Места расположения пунктов испытания: 1 – южная тайга; 2 – лесостепь.

Таблица 2

**Средние показатели роста климатипов в 35-летних географических культурах**

Климатип	Южная тайга			Лесостепь		
	С, %	В, м	Д, см	С, %	В, м	Д, см
Плесецкий	59	15,2	11,8	27	16,3	16,3
Енисейский	24	14,6	14,0	11	12,7	15,5
Богучанский	46	15,8	14,6	30	16,4	16,1
Сузунский	18	16,8	15,6	35	16,8	16,9
Чемальский	17	15,8	15,1	35	16,1	15,3
Балгазынский	44	15,7	12,3	28	17,9	17,8

Примечание. С – сохранный; В – высота; Д – диаметр.

По сравнению с работой по контрольным климатипам [4] в данном исследовании увеличена выборка исследуемых деревьев. В сравнительном анализе анатомических характеристик изучалось по 10 деревьев каждого климатипа. Образцы отбирались в средних рядах древостоя каждого климатического экотипа, высота и диаметр отобранных деревьев достоверно не отличались от средних показателей для климатипа. Для отбора образцов на высоте 20 см от поверхности почвы использовался приростной бурав. Древесный керн включал два противоположных радиуса, результаты по ним усреднялись для дерева. Усредненные значения получены по данным, показывающим значимые внутренние межсерийные корреляции для каждого климатипа. Трахеиды в радиальных рядах относились к поздним в том случае, когда радиальный диаметр просвета клеток не превышал радиальную толщину клеточной стенки более чем в 4 раза [42].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

**ШГК в южной тайге.** При сравнении ШГК у сосны разного происхождения необходимо иметь представление о динамике радиального роста, одним из важных моментов при этом является возраст формирования максимальных приростов. В ходе анализа радиального роста за 23-летний период были выявлены максимальные значения ШГК у исследуемых климатипов. Деревья плесецкого и богучанского климатипов, являющихся северными по месту происхождения, в условиях южной тайги формируют максимальные радиальные приросты в среднем на 1 год раньше, чем южные (чемальский и балгазынский), и на 4 года раньше, чем южный сузунский климатип. Средний возраст максимального радиального роста у плесецкого и богучанского составляет 12 лет, у енисейского – 13 лет, при этом индивидуальное варьирование признака находится в пределах 11–17 лет. Средний возраст максимальных приростов у климатипов с юга ареала наступает у чемальского и балгазынского в 13 лет, у сузунского – в 16 лет с индивидуальным варьированием признака 12–17 лет.

Наибольшие средние значения ШГК за 23-летний период отмечаются у сузунского (3,12 мм) и енисейского (2,61 мм) климатипов (рис. 1). Согласно ранговому дисперсионному анализу Краскера–Уоллиса, выборка сузунского климатипа достоверно отличается от остальных при наибольшем среднем значении ( $p < 0,001$ ), енисейский климатип также имеет достоверные различия с остальными ( $p < 0,05$ ). Средняя ШГК у чемальского (2,45 мм) и контрольного сузунского (2,23 мм) климатипов имеет промежуточное значение, их выборки не отличаются достоверно друг от друга, но чемальский климатип достоверно ( $p < 0,001$ ) отличается от плесецкого (1,99 мм) и балгазынского (2,17 мм). Таким образом, наименьшая средняя ширина годичного кольца в южной тайге регистрируется у самого северного из исследуемых – плесецкого климатипа.

**ШГК в лесостепи.** В географических культурах в лесостепи различий по возрасту формирования максимальных радиальных приростов между климатипами не выявлено. Средний максимум у всех климатипов сосны отмечается в возрасте 9 лет. У северных климатипов (плесецкого, богучанского и енисейского) индивидуальные максимальные приросты фиксируются в 9–12 лет, у южных (сузунского, чемальского и балгазынского) – в 6–12 лет. Наибольшие средние значения ШГК за 23-летний период регистрируются у енисейского (2,37 мм), богучанского (2,10 мм) и плесецкого (2,04 мм) климатипов. Все они достоверно отличаются от контрольного сузунского климатипа и остальных южных климатипов (рис. 1).

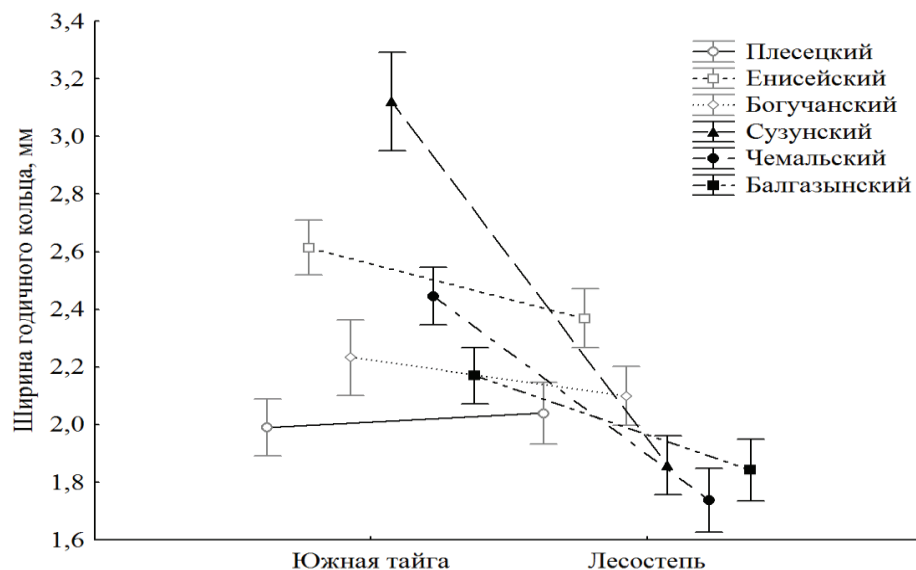


Рис. 1. Средняя ШГК (планки погрешности – 95 %-й доверительный интервал)

Fig. 1. Average tree-ring width (error bars – 95 % confidence interval)

Сравнительный анализ между двумя участками показал, что у всех климатипов в лесостепи ШГК достоверно меньше, чем в южной тайге, исключения составляют богучанский и плесецкий, у которых достоверных различий нет.

**Связь ШГК с погодными условиями в южной тайге.** В географических культурах в южной тайге у климатипов отмечаются существенные различия в корреляционной связи между индексами средней ШГК и погодными условиями. При анализе связи с температурным фактором выявлено, что значимое положительное влияние температуры на ШГК проявляется в разной степени в апреле, мае и августе (рис. 2).

На формирование ШГК плесецкого и сузунского климатипов достоверное влияние оказывает температура апреля. С температурой мая значимая связь проявляется только у ШГК северных климатипов. Достоверные связи выявлены с температурой августа у енисейского, контрольного богучанского, чемальского и балгазынского климатипов. При усреднении температуры нескольких месяцев высокие коэффициенты корреляции ( $r = 0,40-0,55$ ;  $p < 0,01-0,05$ ) со средними температурами мая и августа получены у балгазынского, апреля и августа – у сузунского, августа и сентября – у чемальского, апреля, мая и августа – у плесецкого, мая, августа и сентября – у енисейского и богучанского климатипов. Причиной значимой корреляции ШГК у плесецкого климатипа с температурой апреля в южной тайге является его реакция на более теплые условия в пункте испытания по сравнению с местом его происхождения в средней тайге, которая выражается в раннем начале вегетации. Реакция сузунского климатипа, проявляющаяся в наличии значимой положительной корреляционной связи индекса ШГК с температурой апреля, показывает более широкую норму реакции у него по сравнению с остальными климатипами из теплообеспеченных мест происхождения. Известно, что норма реакции популяций достигает максимального значения в более жестких для них экологических условиях, чем условия окружающей среды в пункте их происхождения [40]. Вероятно, благодаря этому деревья сузунского климатипа в условиях южной тайги способны демонстрировать относительно большую ширину годичных колец.

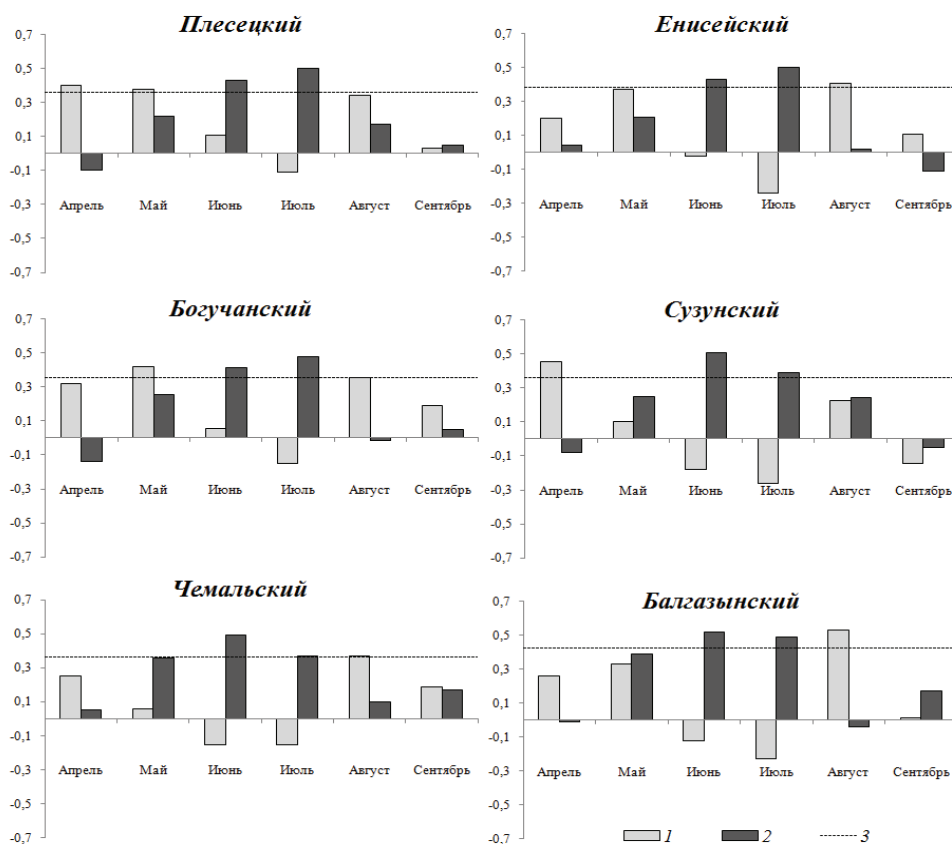


Рис. 2. Коэффициенты корреляции индексов ШГК со среднемесячной температурой (1) и месячным количеством осадков (2) в условиях южной тайги (3 – уровень значимости,  $p < 0,05$ )

Fig. 2. Correlation coefficients of tree-ring width indices with average monthly temperature (1) and monthly precipitation (2) in the southern taiga conditions (3 – level of significance,  $p < 0.05$ )

Анализ связи ШГК с осадками в южной тайге показал значимые коэффициенты корреляции с осадками июня и июля у всех климатипов. Наибольшие коэффициенты корреляции для южных климатипов выявлены с осадками июня, для северных – с осадками июля ( $r = 0,48-0,52$ ;  $p < 0,01$ ). Высокие коэффициенты корреляции ( $r = 0,61-0,77$ ;  $p < 0,001$ ) между ШГК климатипов и суммой осадков с мая по июль отмечены у богучанского, с апреля по июль – у енисейского и балгазынского, с апреля по сентябрь – у чемальского, с мая по август – у плесецкого и сузунского климатипов.

Благодаря анализу средней ШГК у сосны в географических культурах и оценке ее связи с температурой и осадками в период вегетации за 23-летний период можно объяснить особенности роста древесины у некоторых климатипов. Так, сузунский климатип в южной тайге сохраняет способность к формированию большего количества трахеид в конце сезона за счет генетической памяти о длинном вегетационном периоде в пункте происхождения. По сравнению с другими климатипами у сузунского отмечается наибольший коэффициент корреляции с осадками августа, очевидно, что условия увлажнения в южной тайге способствуют формированию широких годичных колец.

Северный плесецкий климатип, несмотря на высокие корреляции с температурой и осадками в начале вегетации, имеет наименьшую среднюю ширину годичного кольца. Причиной является общий низкий темп роста в высоту и по диаметру, обусловленный генетическими особенностями, сформированными в пункте происхождения.

**Связь ШГК с погодными условиями в лесостепи.** В лесостепи у всех исследуемых климатипов отмечаются отрицательные коэффициенты корреляции между индексами ШГК и среднемесячными значениями температуры (рис. 3).

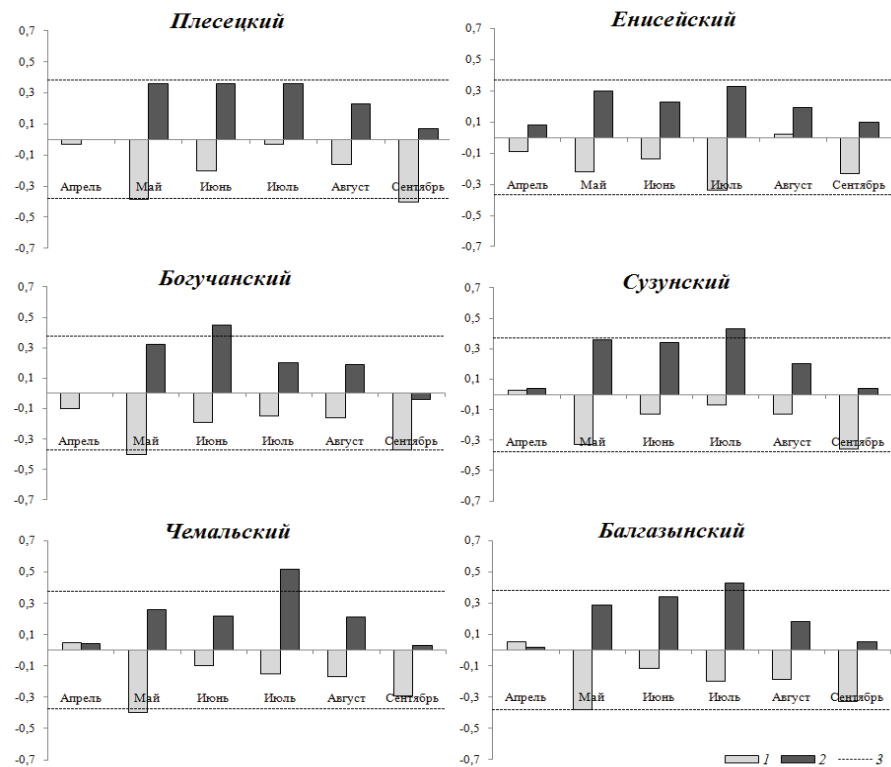


Рис. 3. Коэффициенты корреляции индексов ШГК со среднемесячной температурой (1) и месячным количеством осадков (2) в условиях лесостепи (3 – уровень значимости,  $p < 0,05$ )

Fig. 3. Correlation coefficients of tree-ring width indices with average monthly temperature (1) and monthly precipitation (2) in the forest-steppe conditions (3 – level of significance,  $p < 0.05$ )

Значимые отрицательные коэффициенты корреляции выявлены между средней температурой мая и индексами ШГК у плесецкого, богучанского, чемальского и балгазынского климатипов ( $r = -0,38-0,40$ ;  $p < 0,05$ ). Достоверная связь отмечается между ШГК и температурой сентября у плесецкого климатипа ( $r = -0,40$ ;  $p < 0,05$ ). При анализе средней температуры за 5 месяцев (с мая по сентябрь) достоверные коэффициенты корреляции обнаружены у всех климатипов, кроме плесецкого и енисейского.

В лесостепи в отличие от условий в южной тайге корреляция индексов ШГК и температуры только отрицательная. Причиной этого является тот

факт, что в данных условиях лимитирующим фактором роста деревьев служат осадки, а повышение температуры усиливает дефицит влаги и оказывает негативное влияние на продолжительность формирования клеток ксилемы. Связь индексов ШГК исследуемых климатипов с суммой осадков с мая по август в лесостепи выражена четче ( $r = 0,52-0,64$ ;  $p < 0,01$ ) у всех климатипов, за исключением енисейского, имеющего наибольшую связь с суммой осадков с апреля по август ( $r = 0,52$ ;  $p < 0,01$ ). Все 3 северных климатипа (плесецкий, енисейский, богучанский) в условиях лесостепи формируют в среднем более широкие годовые кольца по сравнению с южными за счет удлинения вегетационного периода при раннем начале и позднем конце вегетации.

Сравнительный анализ ДП у одних и тех же климатипов в разных географических культурах показал значимое ( $p < 0,01$ ) увеличение значения признака в условиях лесостепи (рис. 4). Слабые различия между участками отмечаются у контрольных вариантов – богучанского и сузунского климатипов ( $p < 0,05$ ).

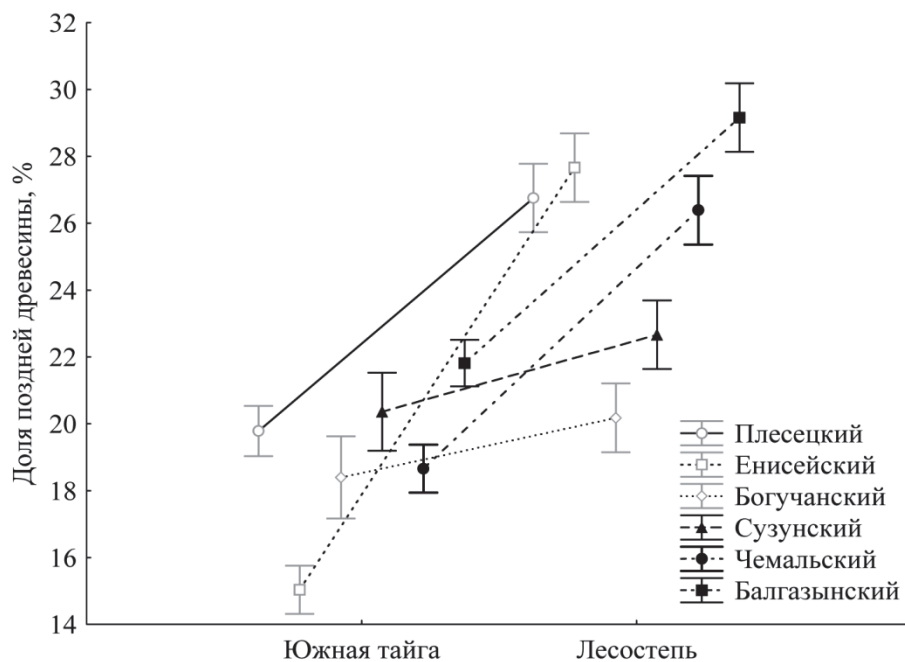


Рис. 4. Доля поздней древесины (планки погрешности – 95 %-й доверительный интервал)

Fig. 4. Latewood content (error bars – 95 % confidence interval)

В лесостепных условиях у богучанского климатипа из южной тайги значение ДП достоверно меньше, чем у контрольного сузунского, у остальных климатипов этот показатель значительно выше. В географических культурах в южной тайге ДП енисейского климатипа меньше, чем в контроле и у остальных климатипов. Достоверно большая ДП, как в условиях южной тайги, так и лесостепи, отмечается у балгазынского климатипа с юга ареала. Сузунский климатип в качестве интродуцента в южной тайге достоверно отличается большей ДП от контроля.



**Связь ДП с погодными условиями в южной тайге.** В отличие от выявленной корреляции погодных условий с индексами ШГК, корреляции с индексами ДП у климатипов более разнообразны и показывают связи с разными этапами вегетации. ДП всех климатипов в условиях южной тайги имеет положительную связь с температурой августа. Отрицательные связи у большинства климатипов проявились с температурой июля, значимая связь отмечена только для контрольного богучанского, который имеет достоверно высокую отрицательную корреляцию между индексом ДП и средней температурой июля ( $r = -0,56$ ;  $p < 0,01$ ), с осадками июля связь значимая положительная ( $r = 0,41$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 5). Вероятно, в июле у богучанского климатипа происходит формирование дополнительных клеток, которые обладают характеристиками поздней древесины, поэтому более влажные условия способствуют увеличению их количества.

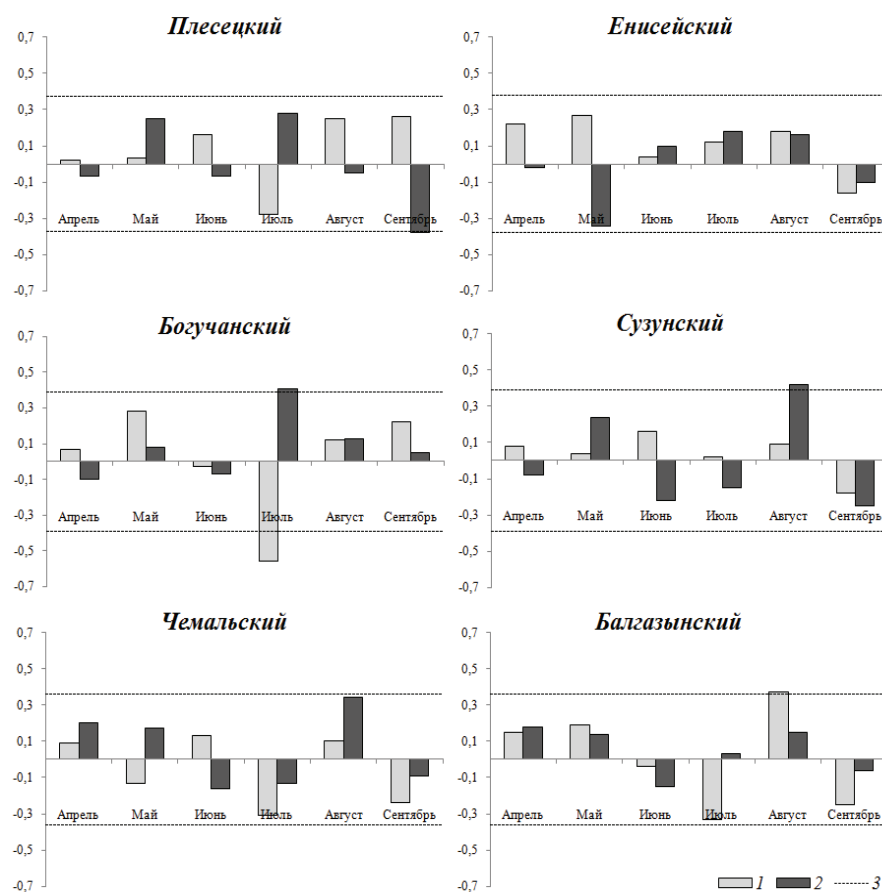


Рис. 5. Коэффициенты корреляции индексов ДП со среднемесячной температурой (1) и месячным количеством осадков (2) в условиях южной тайги (3 – уровень значимости,  $p < 0,05$ )

Fig. 5. Correlation coefficients of latewood content indices with average monthly temperature (1) and monthly precipitation (2) in the southern taiga conditions (3 – level significance,  $p < 0.05$ )

Достоверная корреляционная связь ДП отмечается у енисейского климата с комбинацией температуры и осадков (отношением средней температуры апреля и мая к количеству осадков апреля и мая ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,05$ )), небольшие положительные температуры и высокое количество осадков в начале вегетационного периода увеличивают долю ранней древесины (ДР) у енисейского климата, уменьшая ДП. Значимого прямого влияния среднемесячной температуры во второй половине вегетационного периода на ДП у енисейского климата не выявлено по сравнению с остальными климатами, поэтому основная продукция клеток у этого происхождения в географических культурах южной тайги связана с формированием клеток ранней древесины. У плесецкого климата во второй половине вегетационного периода отмечается достоверная корреляционная связь ДП с отношением средней температуры августа и сентября к количеству осадков за этот период ( $r = 0,64$ ;  $p < 0,001$ ). Высокие температуры и низкое количество осадков августа и сентября способствуют снижению радиальных размеров трахеид, тем самым увеличивая ДП у плесецкого климата.

Процессы развития поздних трахеид в южной тайге у сузунского климата протекают активно: чем больше осадков выпадает в августе, тем больше у этого климата ДП ( $r = 0,42$ ;  $p < 0,05$ ). В новых условиях роста у сузунского климата активное формирование ДП сдвинуто на более поздний срок по сравнению с контрольным богучанским, у которого основное влияние на ДП оказывают погодные условия июля.

Отрицательная корреляционная связь отмечается у ДП южного чемальского климата со средней температурой июля и сентября ( $r = -0,42$ ;  $p < 0,05$ ). У балгазынского климата имеется положительная связь с отношением средней температуры августа к средней температуре июля и сентября ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,05$ ). Низкие температуры июля обеспечивают условия формирования большего количества клеток, которые впоследствии под воздействием высоких температур августа демонстрируют уменьшенные радиальные размеры и более толстые стенки, соответствующие клеткам поздней древесины [1, 34]. Низкие температуры сентября позволяют клеткам поздней древесины формироваться с повышенным радиальным размером, способствуя увеличению общей ДП древесины.

**Связь ДП с погодными условиями в лесостепи.** В лесостепи у местного сузунского климата отмечается значимая положительная корреляционная связь ДП со средней температурой апреля (рис. 6).

Достоверная связь ДП со средней температурой апреля и июня наблюдается у богучанского климата ( $r = 0,39$ ;  $p < 0,05$ ). Кроме того, у него имеется значимая отрицательная корреляционная связь с осадками апреля. Сузунский климат показывает значимую отрицательную корреляционную связь с количеством осадков апреля и июня ( $r = -0,50$ ;  $p < 0,01$ ), как и балгазынский климат ( $r = -0,40$ ;  $p < 0,05$ ). Через прямое влияние погоды на формирование числа клеток в ранней древесине проявляется косвенное влияние на ДП. Вероятно, из-за раннего начала вегетационного периода и высокой продуктивности ДР в условиях лесостепи у богучанского и сузунского климатов отмечаются низкие значения ДП по сравнению с остальными климатами (см. рис. 4).

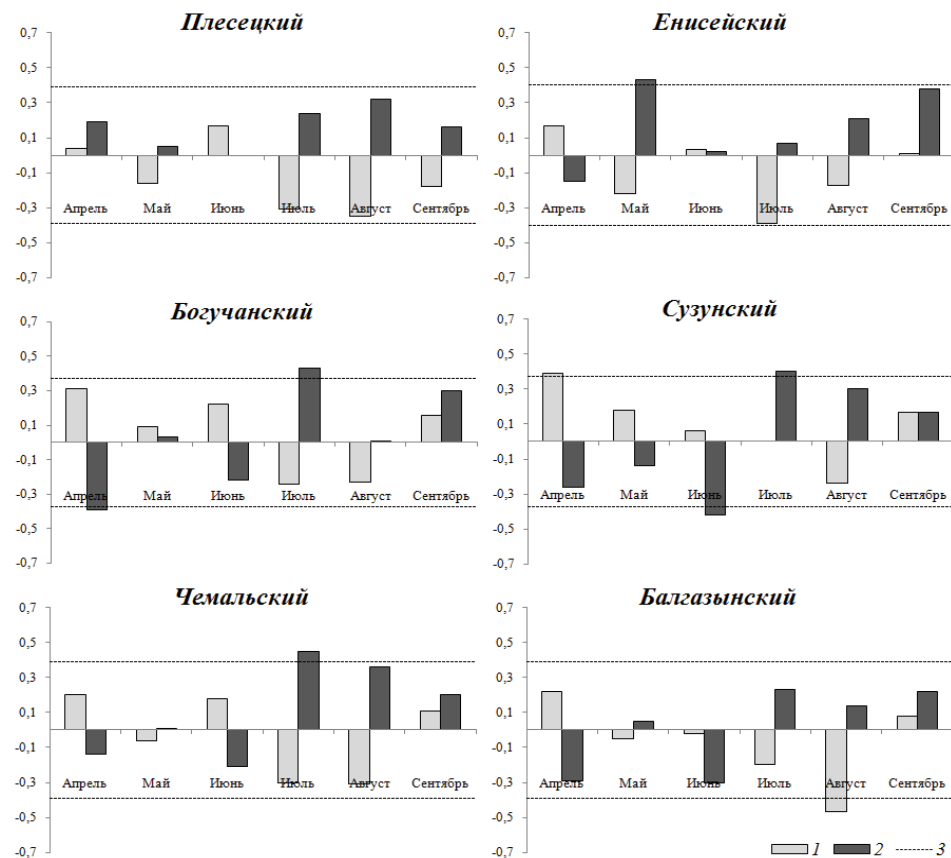


Рис. 6. Коэффициенты корреляции индексов ДП со среднемесячной температурой (1) и месячным количеством осадков (2) в условиях лесостепи (3 – уровень значимости,  $p < 0,05$ )

Fig. 6. Correlation coefficients of latewood content indices with average monthly temperature (1) and monthly precipitation (2) in the forest-steppe conditions (3 – level of significance,  $p < 0.05$ )

Достоверные отрицательные связи ДП со средними температурами летних месяцев у 4 климатипов имеют схожие значения ( $r = -0,41-0,47$ ;  $p < 0,05$ ). У енисейского климатипа отмечается связь с температурой мая и июля, у чемальского – июля и августа, у балгазынского – августа, у плесецкого – с июля по сентябрь. Дефицит влаги в условиях лесостепи приводит к более раннему переходу к поздней древесине, в связи с чем высокие температуры отрицательно сказываются на количестве клеток в ней.

Положительное влияние осадков на ДП у енисейского климатипа начинается раньше всех – в мае ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,05$ ), объединенная сумма осадков мая и сентября показывает наибольшее значение связи ( $r = 0,1$ ;  $p < 0,01$ ). Причем с осадками сентября значимый коэффициент выявлен только для енисейского климатипа, что свидетельствует о длительном формировании поздней древесины у этого климатипа в лесостепи.

Для чемальского климатипа из лесостепной зоны Алтая наибольший коэффициент корреляции отмечается с суммой осадков с июля по август ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ), как и у сузунского из лесостепи Западной Сибири ( $r = 0,49$ ;  $p < 0,05$ ). Плесецкий климатип из средней тайги Европейского Севера имеет

корреляцию с суммой осадков с июля по сентябрь ( $r = 0,37$ ;  $p < 0,05$ ), богучанский из южной тайги – с суммой осадков июля и сентября ( $r = 0,47$ ;  $p < 0,05$ ).

У богучанского климатипа в лесостепи основную роль в ШГК играют осадки июня, в этот месяц происходит развитие радиальных диаметров ранних трахеид, поздних – в июле [1], поэтому доля поздней древесины у богучанского климатипа в лесостепи ниже, чем у остальных климатипов, у которых основное влияние на ШГК оказывают осадки июля.

#### *Заключение*

Среднее значение ширины годичного кольца (ШГК) у климатипов с юга Сибири и енисейского из южной тайги Красноярского края в условиях географических культур в лесостепи достоверно меньше, чем в южной тайге. Увеличение ШГК в южной тайге происходит за счет ранней древесины, поэтому ДП в условиях южной тайги у всех исследуемых климатипов меньше, чем в лесостепи. Причина этих различий – климатические условия лесостепи, которые являются более сухими в течение вегетационного периода из-за более высоких среднесуточных температур.

ШГК климатипов, перемещенных из более теплого климата в южную тайгу, превышает или достигает ШГК контрольного климатипа и отличается от северных, в том числе и самого северного плесецкого, имеющего самые низкие значения за многолетний период. В южной тайге ШГК северных климатипов имеют меньшие значения по сравнению с контролем, причиной является медленный характер роста, который наследуется в условиях южной тайги.

В условиях южной тайги доля поздней древесины (ДП) у всех климатипов сосны уменьшается относительно лесостепи в связи с адаптацией к более влажным условиям, при которых дефицит влаги, стимулирующий у деревьев переход к формированию поздних трахеид, наступает в южной тайге позднее. Наибольшими значениями ДП в южной тайге и лесостепи отличается балгазынский климатип, что свидетельствует о его наследственной реакции, способствующей раннему формированию поздней древесины по сравнению с остальными.

Реакция ШГК климатипов сосны на погодные условия в лесостепи и южной тайге различается. В лесостепи из-за дефицита влаги влияние среднемесячной температуры на ШГК в течение вегетационного периода отрицательное, в южной тайге (как в начале, так и в конце вегетационного периода) – положительное. В лесостепи у южных климатипов проявляется положительное влияние осадков июля, у северных – первых месяцев вегетации (апреля–июня). В южной тайге влияние количества осадков июня и июля на ШГК выявлено у всех климатипов, что свидетельствует об эффективном использовании влаги в течение более длительного времени по сравнению с лесостепью.

Реакция на погодные условия вегетационного периода у климатипов по ДП более сложная и разнообразная, так как связана с комплексным влиянием погоды всего сезона на этот показатель: отрицательная связь с количеством осадков и положительная с температурой в начале вегетационного периода; отрицательная с температурой и положительная с количеством осадков во второй половине вегетационного периода. В южной тайге значимые корреляционные связи по отдельным месяцам отмечаются только во второй половине

вегетационного периода, в лесостепи – как в первой, так и во второй его половине. Часть климатипов имеют схожие корреляционные связи, что говорит об их относительно одинаковой норме реакции, выравненной дефицитом влаги в географических культурах в лесостепи. По формированию ШГК и ДП у исследуемых климатипов сосны в условиях географических культур для лесостепи и южной тайги наиболее генетически стабильным является богучанский климатип.

Полученные результаты исследований могут использоваться при отборе перспективных климатипов для создания лесных культур и плантаций в соответствующих лесорастительных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антонова Г.Ф. Рост клеток хвойных. Новосибирск: Наука, 1999. 232 с. [Antonova G.F. *Cell Growth in Conifers*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 232 p.]
2. Прошников А.И. Географические культуры хвойных в южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. М.: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 4–110. [Iroshnikov A.I. Provenance Trials of Conifers in Southern Siberia. *Provenance Trials and Coniferous Plantations in Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, pp. 4–110].
3. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Морфологические особенности хвои у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным болезням // Экология. 2015. № 2. С. 156–160. [Kuzmin S.R., Kuzmina N.A. Morphological Distinctions of Needles in Scots Pine with Various Resistance Levels to Fungal Diseases. *Ekologia* [Russian Journal of Ecology], 2015, no. 2, pp. 156–160]. DOI: [10.7868/S0367059715010084](https://doi.org/10.7868/S0367059715010084)
4. Кузьмин С.Р., Роговцев Р.В. Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах Западной и Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 113–125. [Kuzmin S.R., Rogovtsev R.V. Radial Growth and Percent of Latewood in Scots Pine Provenance Trials in Western and Central Siberia. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 6, pp. 113–125]. DOI: [10.15372/SJFS20160611](https://doi.org/10.15372/SJFS20160611)
5. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А., Ваганов Е.А. Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2013. № 1. С. 30–38. [Kuzmin S.R., Kuzmina N.A., Vaganov E.A. Growth Dynamics of Scots Pine in Provenance Trial Plantations. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2013, no. 1, pp. 30–38].
6. Кузьмин С.Р., Ваганов Е.А., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И. Особенности трахеид древесины у климатипов *Pinus sylvestris* L. (*Pinaceae*) в географических культурах // Ботан. журн. 2008. Т. 93, № 1. С. 10–21. [Kuz'min S.R., Vaganov E.A., Kuz'mina N.A., Milyutin L.I. Specificity of Wood Tracheids of *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) Climatypes in the Provenance Trial. *Botanicheskii Zhurnal*, 2008, vol. 93, no. 1, pp. 10–21].
7. Кузьмин С.Р., Ваганов Е.А., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И., Силкин П.П. Плотность устьиц хвои сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья // Лесоведение. 2009. № 2. С. 35–40. [Kuz'min S.R., Vaganov E.A., Kuz'mina N.A., Milyutin L.I., Silkin P.P. Density of Needle Stomata in Different Scots Pine Provenances in Provenance Trials (the Angara River Basin). *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2009, no. 2, pp. 35–40].
8. Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 4–5. С. 454–461. [Kuzmina N.A., Kuzmin S.R. Resistance of Pine of Different Origin to Pathogenic Fungus in Geographical Cultures of Priangariye. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2007, vol. 24, no. 4-5, pp. 454–461].

9. Мельник П.Г., Мерзленко М.Д. Результат выращивания климатипов сосны в географических культурах северо-восточного Подмосковья // Лесотехн. журн. 2014. № 4. С. 36–44. [Mel'nik P.G., Merzlenko M.D. The Result of Scots Pine Climatic Provenances Growth in the Geographical Plantations of the North-East of the Moscow Region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, no. 4, pp. 36–44]. DOI: [10.12737/8438](https://doi.org/10.12737/8438)

10. Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д. Рост и производительность архангельского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосковья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 1. С. 9–20. [Mel'nik P.G., Glazunov Yu.B., Merzlenko M.D. The Growth and Productive Capacity of the Arkhangelsk Climatype of Scots Pine in the Moscow Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 9–20]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.1.9](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.9), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f25/melnik.pdf>

11. Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182. [Merzlenko M.D., Glazunov Y.B., Mel'nik P.G. Growing Geographic Trial Provenances of the Scots Pine in Serebryany Bor Forestry. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 176–182].

12. Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93. [Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 82–93]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.5.82](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.5.82), URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/418/82\\_93.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/418/82_93.pdf)

13. Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: АГТУ, 2008. 308 с. [Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Provenance Trials in Gene-Ecological Research in the European North*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 308 p.].

14. Наумова Н.Б., Макарикова Р.П., Тараканов В.В., Кузьмина Н.А., Новикова Т.Н., Милютин Л.И. Влияние климатипов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сиб. экол. журн. 2009. Т. 16, № 2. С. 287–292. [Naumova N.B., Makarikova R.P., Tarakanov V.V., Kuz'mina N.A., Novikova T.N., Milyutin L.I. Influence of Climatotypes of Scots Pine on Certain Chemical and Microbiological Characteristics of Soils. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2009, vol. 16, no. 2, pp. 287–292]. DOI: [10.1134/S1995425509020106](https://doi.org/10.1134/S1995425509020106)

15. Пахарькова Н.В., Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р., Ефремов А.А. Морфофизиологические особенности хвои у разных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21, № 1. С. 107–113. [Pakharkova N.V., Kuzmina N.A., Kuzmin S.R., Efremov A.A. Morphophysiological Traits of Needles in Different Climatotypes of Scots Pine in Provenance Trial. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2014, vol. 21, no. 1, pp. 107–113]. DOI: [10.1134/S1995425514010107](https://doi.org/10.1134/S1995425514010107)

16. Правдин Л.Ф., Вакуров А.Д. Рост сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов // Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосковья. М.: Наука, 1968. С. 160–195. [Pravdin L.F., Vakurov A.D. Growth of Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) of Various Geographical Origin in the Subzone of Coniferous Broad-Leaved Forests. *Multi-Storeyed Woods of Coniferous Broad-Leaved Forests and Ways of Forest Management in the Forest-Park Conditions of Podmoskovye*. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 160–195].

17. Роговцев Р.В., Богун И.А. Географические культуры сосны обыкновенной в Новосибирской области // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 3, № 2. С. 295–302. [Rogovtsev R.V., Bohun I.A. The Geographical Cultures of the Common Pine in the Novosibirsk Region. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 295–302].

18. Савва Ю.В. Рост и структура годичных колец сосны обыкновенной в географических культурах Средней Сибири в зависимости от климатических факторов: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2001. 142 с. [Savva Yu.V. Scots Pine Tree Ring Growth and Structure in Provenance Trials of Central Siberia in Dependence to Climatic Factors: Cand. Biol. Sci. Diss. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2001. 142 p.].

19. Савва Ю.В., Ваганов Е.А., Милютин Л.И. Влияние климатических условий Красноярской лесостепи на рост и структуру годичных колец сосны в условиях географических культур // Лесоведение. 2003. № 3. С. 3–14. [Savva Yu.V., Vaganov E.A., Milyutin L.I. Influence of Climatic Changes on Annual Ring Growth and Structure in Scots Pine Trees of Provenances in Krasnoyarsk Forest-Steppe. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2003, no. 3, pp. 3–14].

20. Справочник по климату СССР. Вып. 01. Архангельская и Вологодская области, Карельская и Коми АССР. Ч. 2. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 360 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 01. Arkhangelsk and Vologda Regions, Karelian and Komi ASSRs. Part 2. Air and Soil Temperature.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1968. 360 p.].

21. Справочник по климату СССР. Вып. 01. Архангельская и Вологодская области, Карельская и Коми АССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 348 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 01. Arkhangelsk and Vologda Regions, Karelian and Komi ASSRs. Part 4. Air Humidity, Precipitation, Snow Cover.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1968. 348 p.].

22. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край. Ч. 2. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 398 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 20. Tomsk, Novosibirsk and Kemerovo Regions and Altayskiy Krai. Part 2. Air and Soil Temperature.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965. 398 p.].

23. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 333 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 20. Tomsk, Novosibirsk and Kemerovo Regions and Altayskiy Krai. Part 4. Air Humidity, Precipitation and Snow Cover.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969. 333 p.].

24. Справочник по климату СССР. Вып. 21. Красноярский край и Тувинская АССР. Ч. 2. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 507 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 21. Krasnoyarsk Krai and Tuvan ASSR. Part 2. Air and Soil Temperature.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1967. 507 p.].

25. Справочник по климату СССР. Вып. 21. Красноярский край и Тувинская АССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 403 с. [*Handbook on the Climate of the USSR. Iss. 21. Krasnoyarsk Krai and Tuvan ASSR. Part 4. Air Humidity, Precipitation and Snow Cover.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969. 403 p.].

26. Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2001. 230 с. [Tarakanov V.V., Demidenko V.P., Ishutin Ya.N., Bushkov N.T. *Scots Pine Selective Breeding in Siberia.* Novosibirsk, Nauka Publ., 2001. 230 p.].

27. Тимофеев В.П. Особенности роста сосны различного происхождения в Лесной опытной даче Тимирязевской академии // Изв. ТСХА. 1973. Вып. 2. С. 130–146. [Timofeyev V.P. Growth Features of Scots Pine of Different Origin in the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Academy. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 1973, iss. 2, pp. 130–146.].

28. Чернодубов А.И., Галдина Т.Е., Смогунова О.А. Географические культуры сосны обыкновенной на юге Русской равнины. Воронеж: ВГЛТА, 2005. 128 с. [Chernodubov A.I., Galdina T.E., Smogunova O.A. *Scots Pine Provenance Trials in the South of the Russian Plane.* Voronezh, VGLTA Publ., 2005. 128 p.].

29. Berlin M.E., Persson T., Jansson G., Haapanen M., Ruotsalainen S., Barring L., Andersson Gull B. Scots Pine Transfer Effect Models for Growth and Survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, no. 3, art. 1562. DOI: [10.14214/sf.1562](https://doi.org/10.14214/sf.1562)

30. Bryukhanova M., Fonti P. Xylem Plasticity Allows Rapid Hydraulic Adjustment to Annual Climatic Variability. *Trees*, 2013, vol. 27, pp. 485–496. DOI: [10.1007/s00468-012-0802-8](https://doi.org/10.1007/s00468-012-0802-8)

31. DeSoto L., De la Cruz M., Fonti P. Intra-Annual Patterns of Tracheid Size in the Mediterranean Tree *Juniperus thurifera* as an Indicator of Seasonal Water Stress. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, vol. 41, no. 6, pp. 1280–1294. DOI: [10.1139/x11-045](https://doi.org/10.1139/x11-045)

32. Eilmann B., Rigling A. Tree-Growth Analyses to Estimate Tree Species' Drought Tolerance. *Tree Physiology*, 2012, vol. 32, iss. 2, pp. 178–187. DOI: [10.1093/treephys/tps004](https://doi.org/10.1093/treephys/tps004)

33. *European Climate Assessment & Dataset Project (ECA&D)*. Available at: <https://www.ecad.eu> (accessed 20.09.17).

34. Fajstavr M., Bednářová E., Nezval O., Giagli K., Gryc V., Vavrčík H., Horáček P., Urban J. How Needle Phenology Indicates the Changes of Xylem Cell Formation during Drought Stress in *Pinus sylvestris* L. *Dendrochronologia*, 2019, vol. 56, art. 125600. DOI: [10.1016/j.dendro.2019.05.004](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.05.004)

35. Fajstavr M., Paschová Z., Giagli K., Vavrčík H., Gryc V., Urban J. Auxin (IAA) and Soluble Carbohydrate Seasonal Dynamics Monitored During Xylogenesis and Phloemogenesis in Scots Pine. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2018, vol. 11, iss. 5, pp. 553–562. DOI: [10.3832/ifor2734-011](https://doi.org/10.3832/ifor2734-011)

36. Funada R., Kubo T., Tabuchi M., Sugiyama T., Fushitani M. Seasonal Variations in Endogenous Indole-3-Acetic Acid and Abscisic Acid in the Cambial Region of *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. Stems in Relation to Earlywood-Latewood Transition and Cessation of Tracheid Production. *Holzforschung*, 2001, vol. 55, iss. 2, pp. 128–134. DOI: [10.1515/HF.2001.021](https://doi.org/10.1515/HF.2001.021)

37. George J.-P., Schueler S., Karanitsch-Ackerl S., Mayer K., Klumpp R.T., Grabner M. Inter- and Intra-Specific Variation in Drought Sensitivity in *Abies spec.* and Its Relation to Wood Density and Growth Traits. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, vol. 214–215, pp. 430–443. DOI: [10.1016/j.agrformet.2015.08.268](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.268)

38. Liang W., Heinrich I., Simard S., Helle G., Liñán I.D., Heinken T. Climate Signals Derived from Cell Anatomy of Scots Pine in NE Germany. *Tree Physiology*, 2013, vol. 33, iss. 8, pp. 833–844. DOI: [10.1093/treephys/tpt059](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt059)

39. Matisons R., Jansone D., Elferts D., Adamovičs A., Schneck V., Jansons Ā. Plasticity of Response of Tree-Ring Width of Scots Pine Provenances to Weather Extremes in Latvia. *Dendrochronologia*, 2019, vol. 54, pp. 1–10. DOI: [10.1016/j.dendro.2019.01.002](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.01.002)

40. Matyas C. Genetic and Ecological Constraints of Adaptation. *Forest Genetics, Breeding and Physiology of Woody Plants: Proceedings of the IUFRO International Symposium, Voronezh, USSR, September 24–30, 1989*. Moscow, Nauka Publ., 1989, pp. 79–90.

41. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Growth and Biomass Partitioning of Populations of European *Pinus sylvestris* L. under Simulated 50° and 60° N Daylengths: Evidence for Photoperiodic Ecotypes. *New Phytologist*, 1992, vol. 120, iss. 4, pp. 561–574. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1992.tb01806.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01806.x)

42. Park Y., Spiecker H. Variations in the Tree-Ring Structure of Norway Spruce (*Picea abies*) under Contrasting Climates. *Dendrochronologia*, 2005, vol. 23, iss. 2, pp. 93–104. DOI: [10.1016/j.dendro.2005.09.002](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.09.002)

43. Persson B., Ståhl E.G. Survival and Yield of *Pinus sylvestris* L. as Related to Provenance Transfer and Spacing at High Altitudes in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1990, vol. 5, iss. 1-4, pp. 381–395. DOI: [10.1080/02827589009382621](https://doi.org/10.1080/02827589009382621)

44. Pukkala T. Transfer and Response Functions as a Means to Predict the Effect of Climate Change on Timber Supply. *Forestry*, 2017, vol. 90, iss. 4, pp. 573–580. DOI: [10.1093/forestry/cpx017](https://doi.org/10.1093/forestry/cpx017)

45. Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Intraspecific Responses to Climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology*, 2002, vol. 8, iss. 9, pp. 912–929. DOI: [10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x)



46. Savva Y., Koubaa A., Tremblay F., Bergeron Y. Effects of Radial Growth, Tree Age, Climate, and Seed Origin on Wood Density of Diverse Jack Pine Populations. *Trees*, 2010, vol. 24, pp. 53–65. DOI: [10.1007/s00468-009-0378-0](https://doi.org/10.1007/s00468-009-0378-0)

47. Taeger S., Fussi B., Konnerth M., Menzel A. Large-Scale Genetic Structure and Drought-Induced Effects on European Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings. *European Journal of Forest Research*, 2013, vol. 132, pp. 481–496. DOI: [10.1007/s10342-013-0689-y](https://doi.org/10.1007/s10342-013-0689-y)

48. Uggla C., Magel E., Moritz T., Sundberg B. Function and Dynamics of Auxin and Carbohydrates During Earlywood/Latewood Transition in Scots Pine. *Plant Physiology*, 2001, vol. 125, pp. 2029–2039. DOI: [10.1104/pp.125.4.2029](https://doi.org/10.1104/pp.125.4.2029)

## RESPONSE OF ANNUAL RING WIDTH AND LATEWOOD CONTENT OF SCOTS PINE TO WEATHER CONDITIONS IN PROVENANCE TRIALS

**S.R. Kuzmin**<sup>1,2</sup>, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist; ResearcherID: [T-6977-2019](https://orcid.org/0000-0002-5391-6536), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-6536>

<sup>1</sup>V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Akademgorodok, 50, str. 28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: skr\_7@mail.ru

<sup>2</sup>Siberian Federal University, prosp. Svobodnyy, 79, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: srkuzmin@sfu-kras.ru

Tree-ring width and latewood content were studied to assess the response of wood to growing conditions. Samples were taken from the trees of six Scots pine climatotypes with contrast origin, grown in the conditions of provenance trials in southern taiga of Central Siberia (Boguchany forestry) and forest-steppe of Western Siberia (Suzun forestry). A comparative analysis of variance of mean values of the studied features between the climatotypes within each test point and between the points is carried out. Correlation analysis was used to analyze the dynamics of the studied traits and as their response to weather conditions over a long period. It was revealed that in the forest-steppe conditions maximal radial increments for all climatotypes were observed on average at the age of 9 and in southern taiga at the age of 12–16. Tree-ring width of the climatotypes from the south is significantly lower in the forest-steppe conditions than that of the representatives of northern origin. Climatotypes transferred from a warmer climate to southern taiga are characterized by significantly larger values of tree-ring width than in the northernmost of the studied ones. The latewood content decreases in all studied climatotypes of pine in southern taiga in comparison with forest-steppe. Significant response of the latewood content of climatotypes in forest-steppe is observed not only with average monthly weather conditions of the second part of vegetation period but also with the first. It indicates a higher sensitivity of their wood structure to the complex of climatic and ecological conditions in the provenance trials of forest-steppe compared with southern taiga. The research results show that the Boguchany climatotype is genetically stable in terms of the average values of tree-ring width and latewood content in forest-steppe and southern taiga.

**For citation:** Kuzmin S.R. Response of Annual Ring Width and Latewood Content of Scots Pine to Weather Conditions in Provenance Trials. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 5, pp. 64–80. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-5-64-80](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-64-80)

**Funding:** The research was carried out within the framework of fundamental scientific research through the programs of the Russian Academy of Sciences No. 0356-2019-0024 (Biodiversity of Indigenous Coniferous and Induced Forest Ecosystems) as well as with partial financial support of the Russian Foundation for Basic Research projects (No. 14-04-31366; No. 20-05-00540).

**Acknowledgements:** The author is grateful to R.V. Rogovtsev (Head of the Novosibirsk Forest Seed Department of the Centre of Forest Health of Novosibirsk Region – Branch of Russian the Centre of Forest Health) for his assistance in the field work.

**Keywords:** provenance trials, Scots pine, tree-ring width, latewood content.

Поступила 11.07.19 / Received on July 11, 2019