

А.В. Чудаков, Д.А. Данилов, Д.А. Зайцев

**ВЛИЯНИЕ МЕТЕОФАКТОРОВ
НА ФОРМИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ
В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Введение. Оценить состояние лесных экосистем в условиях постоянно меняющихся природно-экологических и антропогенных факторов можно только по индикационному параметру самих экосистем – радиальному приросту. Именно он является объективным показателем происходящих изменений в природной среде и не зависит от субъективного восприятия ее трансформаций. Пестрота эдафических условий их местонахождения заставляет самое пристальное внимание уделить локальному анализу с позиций дендрохронологии, дендроклиматологии и дендрокольцевой информации [Матюшевская, 2017; Бабушкина и др., 2010]. Годичные кольца являются интеграторами влияния внешних условий, и их характеристики регистрируют зависимость скорости роста от этих условий, изменяющихся со временем [Babushkina et al., 2011]. Различные характеристики структуры годичных колец отражают условия разных промежутков сезона роста и по-разному регистрируют изменения в окружающей среде [Ваганов, Терсков, 1977; Ваганов, Шашкин, 2000; Vaganov, Hughes, Shashkin, 2006; Cuny et al., 2013; Methods of Dendrochronology, 1990].

Влияние климата на рост деревьев при менее жестком лимитировании нестабильно и зависит от вида древесного растения и конкретного местообитания [Schweingruber, 1996; Ваганов, Шашкин, 2000; Tardif et al., 2003; Wilson, Elling, 2003]. В бореальной зоне южной и средней тайги наблюдается значимое влияние на рост годичных колец как температуры, так и количества осадков, в этих условиях взаимосвязь между климатом и структурой годичных колец носит более сложный характер [Eklund, 1957; Aakala, Kuuluvainen, 2011; Ловелиус, Колесников, 2010; Ловелиус, Лежнева, 2015].

Обычно у хвойных пород умеренной зоны максимума прирост достигается в первой половине вегетационного сезона, в условиях неуклонного повышения температуры и максимального освещения, хотя иногда прирост в толщину имеет 2–3 пика в течение сезона [Belokopytova et al., 2019]. Время прекращения роста существенно колеблется у разных деревьев в различные

годы. Например, у сосны ход роста в толщину в отдельные годы соответствовал ходу изменения температуры воздуха. Некоторые ученые считают, что эти колебания наиболее сильно зависят от времени истощения запасов влаги в почве. С наступлением периода засухи рост деревьев в толщину прекращается почти внезапно [Larson, 1964; Tardif et al., 2003].

В большом числе исследований проанализирована зависимость внутреннего строения годичных колец от погодных и экологических условий. Например, показано, что на Скандинавском полуострове у ели ширина ранней зоны годичного кольца тесно коррелирует с температурой за период с середины мая по конец июля [Rossi et al., 2008]. По данным Микола [Mikola, 1962] у ели, произрастающей в Финляндии, ширина ранней зоны определяется средними июньскими температурами, а в этих же условиях у сосны относительная величина поздней древесины зависит от продолжительности вегетационного периода и коррелирует с температурой июля.

Значительное число исследований по физиологии роста камбия посвящено вопросу о механизмах, контролирующих соотношения ранней и поздней древесины в годичном кольце. Согласно Ларсону [Larson, 1962, 1964] гормоны, продуцируемые в кроне, играют очень важную роль в регуляции диаметра трахеид. Установлено, что в деревьях сосны клетки ранней древесины с большим диаметром были произведены в течение роста побега и высокого синтеза ауксинов. Узкие клетки поздней древесины образовывались при последующем прекращении терминального роста и уменьшении синтеза ауксинов.

В исследованиях, проведенных в Вологодской области, установлено, что оптимальными для роста ели среди гидрометеорологических факторов являются пониженные температуры и повышенное количество осадков, а снижающими прирост – высокие температуры и сильное переувлажнение мест произрастания [Ловелиус, Лежнева, 2015].

Для условий зоны хвойно-широколиственных лесов установлено, что на долю поздней древесины в годичном кольце ели во всех типах леса влияют только метеоусловия в конце вегетационного сезона, когда и формируется поздняя древесина [Румянцев, Мельник, 2009]. Ранее к таким же выводам пришел Эклунд: им было установлено, что изменчивость поздней древесины от году к году соответствует изменчивости ранней древесины и зависит от температур июня и конца мая [Eklund, 1957].

На неблагоприятные условия сосна в разных условиях произрастания реагирует более синхронно, чем на оптимальные [Бабушкина и др., 2010].

Для практики лесоводства необходимо понимание аспектов формирования прироста в зависимости от воздействий на древостой. Древостой

различного породного состава отличаются разной устойчивостью к био- и абиотическим факторам среды [Румянцев и др., 2019]. Для определения наиболее зависимых к внешним воздействиям смешанных древостоев сосны и ели необходим анализ влияния метеопараметров на формирование годовичного прироста и его структурных элементов. Определяя состав насаждения менее зависимый от колебаний лимитирующих метеофакторов в различных почвенно-гидрологических и лесотипологических условиях, можно формировать устойчивые к внешним воздействиям древостои.

Поэтому целью проводимого исследования стала оценка влияния климатических факторов на показатели радиального прироста деревьев сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*) в насаждениях естественного происхождения, не затронутых рубками.

Методика исследования. Объектами исследования выбраны спелые (85–90 лет) древостои сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea abies* L.) Karst.) естественного происхождения, не затронутые рубками, с разной долей участия этих пород в условиях Оредежского плато Лужско-Оредежского ландшафта Ленинградской области. Исследование проводили в однородных условиях произрастания на почвах с двучленными отложениями наиболее характерных для произрастания смешанных древостоев сосны и ели. Данные почвы занимают до 40% территорий в данных ландшафтных местоположениях района исследования [Чертов, 1981].

Образцы древесины (керны) отбирали посредством шведского возрастного бурава на высоте 1,3 м не менее чем с 20–25 деревьев породы на пробной площади. Сбор образцов проводился согласно с представленностью пород по ступеням толщины. Размеры пробных площадей составляли 0,2–0,3 га, полнота древостоя 0,7–0,8. Всего было обследовано 8 пробных площадей с преобладанием сосны и 12 площадей с преобладанием ели разных составов [Зайцев, 2018]. Сбор, транспортировку, первичную обработку кернов и измерение ширины годовичных колец проводили по стандартным методикам, принятым в дендрохронологии [Schweingruber, 1988; Тишин, 2011; Methods of Dendrochronology, 1990; Зайцев, 2018].

Средняя температура воздуха за вегетационный период и сумма осадков за вегетационный период взяты по данным ближайшей к объектам метеостанции¹. Использованы данные за 54 года (1960–2014) в связи с тем, что 1960 г. – год начала измерений осадков на метеостанции, а в 2014 г.

¹ Согласно данным метеостанции «Белогорка» (д. Белогорка, Ленинградская область), на электронном ресурсе: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml>

были собраны самые ранние образцы на пробных площадях (сбор образцов проводился последовательно в течение нескольких лет). Показатели прироста сосны и ели использовались соответственно за аналогичный период.

Анализ связи климата с параметрами древесины хвойных проводили на основе поиска статистически значимых ранговых коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями и климатическими факторами в насаждениях с разной долей участия сосны и ели [Тишин, 2011; *Methods of Dendrochronology*, 1990]. Вычислялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена как количественная оценка связи между исследуемыми явлениями [Боровиков, 2003].

Результаты исследования. Процесс формирования разных структурных элементов годичного прироста ксилемы имеет разные временные рамки за период вегетации с мая по сентябрь в регионе исследования, следовательно, взаимосвязь с метеофакторами за период формирования древесины будет разная в зависимости от месяца. [Ловелиус, Колесников, 2010].

Нами рассмотрены обобщенные древесно-кольцевые хронологии в зависимости от доли участия сосны и ели за период с мая по сентябрь по зонам ранней и поздней древесины и ширине годичного кольца в целом. Проведенный анализ взаимосвязи годичного прироста в древостоях сосны и ели со средними температурами и суммой осадков за вегетационный период показал в ряде случаев невысокие ранговые корреляции (R_s по Спирмену) для обобщенных древесно-кольцевых хронологий. Этот анализ позволил на статистически значимом уровне оценить вклад средних температур и суммы осадков по месяцам в формирование макроструктурных элементов этих хвойных пород (табл. 1, 2).

Для древостоев сосны полученные корреляции (R_s) прироста структурных элементов ксилемы со средней температурой за период исследования показали большую значимость, чем сумма осадков. Произрастание в климатической зоне промывного режима увлажнения древостоев сосны и ели на двучленных по строению почвах на объектах исследования, по-видимому, является оптимальным по влагообеспеченности для формирования ксилемы этих пород, следовательно, воздействие этого фактора не является лимитирующим для них [Роде, 1963; Чертов, 1981]. При рассмотрении влияния метеофакторов на формирование макроструктурных элементов ксилемы сосны и ели можно отметить различия со средней температурой во взаимосвязях в зависимости от доли участия породы (табл. 1, 2).

Таблица 1

Данные ранговой корреляции Спирмена для макроструктурных показателей древесины сосны с метеоданными по месяцам вегетационного периода на почвах на двучленных отложениях

Spearman's rank correlation data for pine wood macrostructural elements with meteorological data for the months of vegetation period on soils formed on binary deposits

Для состава древостоя 9С1Е					
Структурный элемент древесины	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Корреляции со средней температурой				
Поздняя	-0,24	0,09	-0,16	-0,24	-0,21
Ранняя	-0,16	0,01	-0,29	-0,30	-0,20
ШГС	-0,17	0,03	-0,27	-0,29	-0,21
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,11	-0,11	0,07	-0,08	-0,26
Ранняя	-0,11	-0,11	0,17	0,01	-0,15
ШГС	-0,10	-0,12	0,17	-0,01	-0,17
Для состава древостоя 8С2Е					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,15	0,21	-0,19	-0,25	-0,21
Ранняя	-0,15	0,14	-0,28	-0,32	-0,28
ШГС	-0,16	0,16	-0,27	-0,32	-0,25
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,06	-0,23	0,05	-0,04	-0,06
Ранняя	-0,12	-0,22	0,07	-0,01	-0,07
ШГС	-0,11	-0,21	0,06	0,00	-0,05
Для состава древостоя 8С1Е1Б					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,14	0,09	-0,27	-0,33	-0,26
Ранняя	-0,17	0,07	-0,31	-0,34	-0,24
ШГС	-0,16	0,09	-0,28	-0,34	-0,25

Окончание табл. 1

Для состава древостоя 9С1Е					
Структурный элемент древесины	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Корреляции со средней температурой				
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,08	-0,13	0,08	0,05	-0,03
Ранняя	-0,11	-0,16	0,05	0,05	-0,03
ШГС	-0,09	-0,14	0,06	0,05	-0,02
Для состава древостоя 4С4Е2Б1Ос					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,15	0,18	-0,25	-0,45	-0,35
Ранняя	-0,26	0,13	-0,26	-0,38	-0,32
ШГС	-0,23	0,15	-0,24	-0,41	-0,31
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,16	-0,13	0,15	0,08	-0,07
Ранняя	-0,17	-0,09	0,16	0,02	-0,16
ШГС	-0,17	-0,08	0,15	0,06	-0,15
Для состава древостоя 2С1Е6Б1Ос					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,14	0,08	-0,04	-0,23	-0,19
Ранняя	-0,22	0,01	-0,10	-0,17	-0,18
ШГС	-0,20	0,05	-0,09	-0,19	-0,19
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,03	0,03	0,10	-0,07	-0,21
Ранняя	-0,06	0,00	0,10	-0,10	-0,22
ШГС	-0,04	0,01	0,12	-0,10	-0,24

Для соснового элемента древостоя наиболее значимые ранговые корреляции (R_s) наблюдаются для зоны ранней ксилемы и ширины годичного слоя (ШГС) и средней температурой за период с июля по сентябрь. Для зоны поздней ксилемы, взаимосвязь со средней температурой за этот же пе-

риод меньше. Однако прослеживается явно выраженная тенденция, что с уменьшением доли участия сосны в древостое ранговые коэффициенты взаимосвязи зоны поздней древесины и средних температур возрастают, а зоны ранней ксилемы и общего годовичного прироста снижаются.

По-видимому, при обострении взаимодействия между породами возрастает зависимость от внешних условий среды, т. е. и метеопараметров в том числе. Более высокие показатели взаимосвязи между элементами ксилемы сосны и средней температурой за определенные месяцы вегетационного периода тому подтверждение.

Для древостоев с преобладанием ели в данных условиях произрастания можно наблюдать несколько другую по направленности взаимосвязь с метеофакторами и образованием ксилемы за вегетационный период (табл. 2). Для ели также наибольшее влияние на формирование элементов ксилемы оказывают средние положительные температуры. Однако фактически во всех древостоях с разной долей участия этой породы в мае прослеживается значимая ранговая корреляция (R_s) или слабая корреляция в отличие от древостоев сосны. Это, вероятно, связано с разным сроком начала вегетации у этих пород. Ель в среднетаежной подзоне представлена, в основном, поздно распускающейся формой и вегетировать начинает при среднесуточной температуре $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ градусов, а в юго-западной части ареала южнотаежной подзоны и в зоне хвойно-широколиственных лесов преобладает рано распускающаяся форма, у которой вегетация начинается при $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Чертовской, 1978; Булыгин, 1982]. У сосны обыкновенной рост побегов начинается в зависимости от предшествующей погоды при температуре $+8...14\text{ }^{\circ}\text{C}$. [Сазонова и др., 2011; Кищенко, Ольхина, 2017].

Наибольшая взаимосвязь макроструктурных элементов ксилемы со средней температурой за период ее формирования наблюдается в древостоях с долей участия ели от 8 до 4 единиц в составе. Однако наиболее значимые ранговые корреляции не совпадают по месяцам. Так, с уменьшением доли ели в составе наибольшая корреляция (R_s) формируемых анатомических элементов древесины с температурными показателями смещается на август–сентябрь. Для условно чистых древостоев ели значимая связь элементов макростроения годовичного прироста древесины со средней температурой фактически наблюдается только в мае–сентябре. По структурным элементам ксилемы взаимосвязь за летний период более значима для зоны ранней древесины и годовичного кольца со средней температурой (табл. 2).

Таблица 2

Данные ранговой корреляции Спирмена для макроструктурных показателей древесины ели с метеоданными по месяцам вегетационного периода на почвах на двучленных отложениях

Spearman's rank correlation data for spruce wood macrostructural elements with meteorological data for the months of vegetation period on soils formed on binary deposits

Для состава древостоя: 10Е					
Структурный элемент древесины	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Корреляции со средней температурой				
Поздняя	0,23	-0,11	0,09	-0,08	0,00
Ранняя	0,11	0,02	0,12	0,11	0,19
ШГС	0,14	-0,01	0,14	0,09	0,18
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	0,06	0,28	0,08	0,35	0,13
Ранняя	-0,09	0,12	-0,13	0,06	0,00
ШГС	-0,05	0,18	-0,11	0,12	0,04
Для состава древостоя 9Е1С+Б,Ос					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	0,22	-0,12	0,14	0,12	0,20
Ранняя	0,22	0,06	0,15	0,16	0,21
ШГС	0,24	0,02	0,15	0,18	0,23
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	0,04	0,02	-0,23	0,05	-0,08
Ранняя	0,13	-0,09	-0,19	-0,01	-0,08
ШГС	0,13	-0,06	-0,22	0,00	-0,08
Для состава древостоя 8Е2С+Б+Ос					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	0,24	-0,07	-0,09	-0,02	-0,10
Ранняя	0,12	-0,05	-0,38	-0,30	-0,25
ШГС	0,14	-0,04	-0,36	-0,29	-0,23

Продолжение табл. 2

Для состава древостоя: 10Е					
Структурный элемент древесины	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Корреляции со средней температурой				
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	0,06	-0,13	0,00	0,12	0,29
Ранняя	-0,06	-0,21	0,04	0,13	0,21
ШГС	-0,06	-0,19	0,06	0,15	0,22
Для состава древостоя 8Е1Б1Ос+С					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,09	-0,07	-0,14	-0,25	-0,20
Ранняя	-0,10	-0,02	-0,19	-0,25	-0,17
ШГС	-0,10	-0,04	-0,19	-0,25	-0,19
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,14	-0,10	0,01	0,02	0,05
Ранняя	-0,08	-0,19	0,00	-0,05	0,05
ШГС	-0,07	-0,17	0,01	-0,06	0,03
Для состава древостоя 7Е2С1Б+Ос					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	0,31	-0,02	0,09	0,01	0,20
Ранняя	0,12	-0,07	0,20	0,13	0,22
ШГС	0,14	-0,07	0,16	0,08	0,24
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,09	0,05	0,03	0,12	0,14
Ранняя	0,12	0,19	-0,04	0,08	0,18
ШГС	0,06	0,16	-0,04	0,09	0,19
Для состава древостоя 6Е1С2Ос1Б/6ЕЗБ1Ос+С					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	0,23	-0,09	0,21	0,34	0,30
Ранняя	0,29	-0,02	0,17	0,31	0,33
ШГС	0,27	-0,04	0,17	0,32	0,32

Окончание табл. 2

Для состава древостоя: 10Е					
Структурный элемент древесины	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	Корреляции со средней температурой				
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	0,15	0,10	-0,15	-0,07	-0,09
Ранняя	0,10	0,00	-0,13	-0,01	-0,16
ШГС	0,11	0,02	-0,14	-0,03	-0,13
Для состава древостоя 5Е5С					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	0,23	-0,09	0,10	0,22	0,03
Ранняя	0,29	-0,18	0,11	0,20	0,14
ШГС	0,28	-0,17	0,10	0,19	0,10
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,04	-0,12	-0,17	-0,06	0,22
Ранняя	-0,09	-0,05	-0,14	-0,04	0,15
ШГС	-0,09	-0,08	-0,13	-0,04	0,18
Для состава древостоя 4ЕЗС2Ос1Б					
Корреляции со средней температурой					
Поздняя	-0,09	0,14	-0,14	-0,40	-0,22
Ранняя	-0,07	0,13	0,02	-0,41	-0,07
ШГС	-0,07	0,15	-0,02	-0,43	-0,13
Корреляции с суммой осадков					
Поздняя	-0,23	0,04	0,12	0,16	-0,04
Ранняя	-0,22	-0,02	0,05	0,26	-0,13
ШГС	-0,22	-0,02	0,08	0,24	-0,09

Отличительной особенностью для еловых древостоев в данных почвенно-гидрологических условиях, в противоположность сосновым ценозам, является значимая связь образования элементов ксилемы с суммой осадков (табл. 1, 2). Для древостоев ели с уменьшением ее доли в составе

прослеживается тенденция увеличения взаимосвязи ширины зоны поздней древесины и количества осадков в сентябре. Исключение составляет только древостой состава 4ЕЗС2Ос1Б, где зависимость для всех структурных элементов годичного прироста ели от количества осадков больше в мае. Анализируя взаимосвязи формирования структуры ксилемы ели с показателями метеоусловий за период наблюдений, можно отметить, что, в отличие от сосны, она более метеозависима в данных условиях произрастания.

За вегетационный период вклад средней температуры по месяцам на радиальный прирост древесины ели более вариабелен в древостоях с уменьшением в составе доли этой породы, чем для древостоев сосны. Для ели, как и сосны, наблюдается тенденция увеличения связи с изучаемыми изменениями метеоусловий и образованием зоны ранней ксилемы, как и годичного прироста, с уменьшением доли породы в составе насаждения.

Выводы. Проведенное исследование показало, что в зависимости от доли участия хвойной породы в составе древостоя образование структурных элементов ксилемы годичного прироста имеет разную степень по силе связи со средними температурами и суммой осадков по месяцам вегетационного периода.

Для соснового элемента смешанных хвойных древостоев наибольшая зависимость образования элементов радиального прироста выявлена с температурными показателями в июле-сентябре. Тогда как для ели выявлена ярко выраженная зависимость элементов радиального прироста с этими факторами только в мае для всех древостоев с различной долей ее участия.

Наблюдается увеличение связи образования зоны поздней древесины сосны со средними температурами при уменьшении доли участия этой породы в составе насаждения. Для еловых насаждений в ряде случаев, в отличие от сосновых, прослеживается значимая зависимость величины зоны поздней древесины в годичном приросте от суммы осадков.

В целом необходимо отметить, что, в отличие от еловых насаждений, в древостоях сосны с разной долей ее участия наблюдается более тесная взаимосвязь образования для всех ее макроструктурных элементов ксилемы со средними температурами. С уменьшением доли участия ели или сосны в составе насаждения прослеживается тенденция увеличения связи формирования макроструктуры древесины с изменениями метеофакторов за период вегетации.

Библиографический список

Бабушкина Е.А., Ваганов Е.А., Силкин П.П. Влияние климатических факторов на клеточную структуру годичных колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2010. Т. 3, № 2. С. 159–177.

Боровиков В.В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

Бульгин Н.Е. Биологические основы дендрофенологии. Л., 1982. 80 с.

Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние. 1977. 98 с.

Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.

Зайцев Д.А. Влияние структуры хвойных дендроценозов на строение и плотность древесины ели: дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2018. 240 с.

Кищенко И.Т., Ольхина Е.С. Особенности фенологического развития деревьев *Picea abies* (L.) Karst. в древостоях различной степени нарушенности в Южной Карелии // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 4. С. 336–345.

Ловелус Н.В., Колесников А.П. Влияние факторов среды на изменчивость прироста древесных растений (на примере ели и сосны в долине р. Луги) // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2010. № 2. С. 231–238.

Ловелус Н.В., Лежнева С.В. Изменения прироста годичных колец сосны и ели в восточноевропейской тайге в связи с геофизическими факторами среды. СПб.; Вологда: ВОУНБ, 2015. 178 с.

Матюшевская Е.В. Факторы изменчивости радиального прироста деревьев / под общ. ред. В.Н. Киселева. Минск: БГУ, 2017. 231 с.

Роде А.А. Водный режим почв и его регулирование. М.: Академия наук СССР, 1963. 120 с.

Румянцев Д.Е., Мельник П.Г. Влияние экологических факторов на формирование технических свойств древесины ели в условиях Тверской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 2. С. 28–34.

Румянцев Д.Е., Стоноженко Л.В., Найденова Е.В. Теоретические основы для определения оптимального состава древостоя, устойчивого к воздействию климатических факторов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 2. С. 70–77.

Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 207 с.

Тишин Д.В. Дендрэкология (методика древесно-кольцевого анализа) / Казанский университет. Казань, 2011. 33 с.

Чертов О.Г. Экология лесных земель. Л.: Наука, 1981. 192 с.

Чертовской В.Г. Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.

Aakala T., Kuuluvainen T. Summer droughts depress radial growth of *Picea abies* in pristine taiga on the Arkhangelsk province, northwestern Russia // *Dendrochronologia*. 2011. Vol. 29. No. 2. P. 67–75.

Babushkina E.A., Vaganov E.A., Knorre A.A., Bryukhanova M.V. Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoecological conditions of their occurrence // *Geography and Natural Resources*. 2011. Vol. 32(1). P. 80–86.

Belokopytova, L.V., Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Panyushkina I.P., Vaganov E.A. Pine and larch tracheids capture seasonal variations of climatic signal at moisture-limited sites // *Trees: Structure and Function*. 2019. Vol. 33(1). P. 227–242.

Cuny H.E. et al. Generalized additive models reveal the intrinsic complexity of wood formation dynamics // *Journal of Experimental Botany*. 2013. No. 7. P. 1983–1994.

Eklund B. Om granens årsringsvariationer inom mellersta Norrland och deras samband // *Statens Skogsforskningsinstitut*. 1957. B. 47, no. 1. 63 p.

Larson P.P. Auxin gradient and the regulation of cambial activity / *Tree Growth*. N.Y.: Ronald press, 1962. Chapter 5. P. 97–117.

Larson P.P. Some indirect effects of environment on wood formation / *Formation of Wood in Forest Trees*. N.Y.: Acad. Press, 1964. P. 345–365.

Methods of Dendrochronology. Application in Environmental Science / eds. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

Mikola P. Temperature and tree growth near the northern timber line / *Tree Growth*. N.Y.: Ronald press, 1962. Chapter 16. P. 265–274.

Rossi S. et al. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates // *Global Ecology and Biogeography*. 2008. Vol. 17. P. 696–707.

Schweingruber F.H. *Tree-rings: Basics and Applications of Dendroecology*. Dordrecht: Reidel. Publ., 1988. 276 p.

Schweingruber F.H. *Tree-rings and Environment: Dendroecology*. Bern: Paul Haupt, 1996. 609 p.

Tardif J., Camarero J.J., Ribas M., Gutierrez E. Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences // *Ecological monographs*. Vol. 73(2). 2003. P. 223–239.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shaskin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings. Images of past and future environments. *Ecological Studies*. Berlin; Heidelberg; N.Y.: Springer Verlag, 2006. 354 p.

Wilson R., Elling W. Temporal instabilities of tree-growth climate response in the Lower Bavarian Forest Region: Implications for dendroclimatic reconstruction // *Trees*. 2003. Vol. 18(1). P. 19–28.

References

Babushkina E.A., Vaganov E.A., Silkin P.P. Influence of climatic factors on the cellular structure of annual coniferous rings growing in various topoecological conditions of the Khakassia forest-steppe zone. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 159–177. (In Russ.)

Borovikov V.V. STATISTICA: the art of computer analysis. St. Petersburg: Piter. 2003. 688 p. (In Russ.)

Bulygin N.E. Biological bases of dendrophenology. Leningrad, 1982. 80 p. (In Russ.)

Vaganov E.A., Terskov I.A. Analysis of tree growth by the structure of annual rings. Novosibirsk: Science, Siberian Department. 1977. 98 p. (In Russ.)

Vaganov E.A., Shashkin A.V. Growth and structure of coniferous annual rings. Novosibirsk: Science, 2000. 232 p. (In Russ.)

Zaytsev D.A. Influence of the coniferous dendrocenoses structure on the formation and density of pine and spruce wood PhD thesis Saint-Petersburg State Forest Technical University. 2018. 240 p. (In Russ.)

Kishchenko I.T., Ol'hina E.S. Characteristics of the phenological formation of *Picea abies* (L.) Karst. trees in stands of varying degrees of disturbance in South Karelia. *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 336–345. (In Russ.)

Lovelius N.V., Kolesnikov A.P. Effect of environmental factors on the variability of wood growth (on the example of spruce and pine in the Luga River valley). *Society. Environment. Development*, 2010, no. 2, pp. 231–238. (In Russ.)

Lovelius N.V., Lezhneva S.V. Changes in the annual growth of pine and spruce rings in the Eastern European taiga due to geophysical factors of the environment. St. Petersburg-Vologda: VOUNB. 2015. 178 p. (In Russ.)

Matyushevskaya E.V. Tree radial growth variability factors. V.N. Kiselev (Eds.). Minsk: BSU, 2017. 231 p. (In Russ.)

Rode A.A., Soil water regime and its regulation. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1963. 120 p. (In Russ.)

Rumyancev D.E., Mel'nik P.G. Influence of environmental factors on the formation of technical properties of spruce wood in the conditions of the Tver region. *Proceedings of higher education institutions. Forest Journal*, 2009, no. 2, pp. 28–34. (In Russ.)

Rumyancev D.E., Stonozhenko L.V., Najdenova E.V. Theoretical basis for determining optimal stands composition resistant to climatic factors. *Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 70–77. (In Russ.)

Sazonova T.A., Bolondinskij V.K., Pridacha V.B. Ecological and physiological characteristics of pine. Petrozavodsk: Verso Publishing House, 2011. 207 p. (In Russ.)

Tishin D.V. Dendroecology (wood-ring analysis technique). Kazan: Kazan University. 2011. 33 p. (In Russ.)

Chertov O.G. Ecology of forest soils. Leningrad: Science. 1981. 192 p. (In Russ.)

Chertovskoj V.G. Spruce forests in the European part of the USSR. Moscow: Forest industry, 1978. 176 p. (In Russ.)

Aakala T., Kuuluvainen T. Summer droughts depress radial growth of *Picea abies* in pristine taiga oa the Arkhangelsk province, northwestern Russia. *Dendrochronologia*, 2011, vol. 29, no. 2, pp. 67–75.

Babushkina E.A., Vaganov E.A., Knorre A.A., Bryukhanova M.V. Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoecological conditions of their occurrence. *Geography and Natural Resources*, 2011, vol. 32(1), pp. 80–86.

Belokopytova L.V., Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Panyushkina I.P., Vaganov E.A. Pine and larch tracheids capture seasonal variations of climatic signal at moisture-limited sites. *Trees: Structure and Function*, 2019, vol. 33(1), pp. 227–242.

Cuny H.E. et al. Generalized additive models reveal the intrinsic complexity of wood formation dynamics. *Journal of Experimental Botany*, 2013, no. 7, pp. 1983–1994.

Eklund B. Om granens årsrings variationer inom mellersta Norrland och deras samband. *Statens Skogsforskningsinstitut*, 1957, B. 47, no. 1. 63 p.

Larson P.P. Auxin gradient and the regulation of cambial activity / *Tree Growth*. N.Y.: Ronald press. 1962. Chapter 5, pp. 97–117.

Larson P.P. Some indirect effects of environment on wood formation / *Formation of Wood in Forest Trees*. N.Y.: Acad. press. 1964, pp. 345–365.

Methods of Dendrochronology. Application in Environmental Science / eds. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Boston; London: Kluwer Acad.Publ. 1990. 394 p.

Mikola P. Temperature and tree growth near the northern timber line / *Tree Growth*. N.Y.: Ronald press. 1962. Chapter 16, pp. 265–274.

Rossi S. et al. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 2008, vol. 17, pp. 696–707.

Schweingruber F.H. *Tree-rings: Basics and Applications of Dendroecology*. Dordrecht: Reidel. Publ. 1988. 276 p.

Schweingruber F.H. *Tree-rings and Environment: Dendroecology*. Bern: Paul Haupt. 1996. 609 p.

Tardif J., Camarero J.J., Ribas M., Gutierrez E. Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences. *Ecological monographs*, vol. 73(2). 2003, pp. 223–239.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shaskin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings. Images of past and future environments. *Ecological Studies*. Berlin; Heidelberg; N.Y.: Springer Verlag, 2006. 354 p.

Wilson R., Elling W. Temporal instabilities of tree-growth climate response in the Lower Bavarian Forest Region: Implications for dendroclimatic reconstruction. *Trees*. 2003, vol. 18(1), pp. 19–28.

Материал поступил в редакцию 27.05.2020

Чудаков А.В., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Влияние метеофакторов на формирование радиального прироста деревьев в хвойных насаждениях Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2020. Вып. 232. С. 33–49. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.33-49

Проведено исследование влияния климатических факторов на показатели прироста древостоев сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*) естественного происхождения, не затронутых рубками. Объекты исследования – древостои с разной долей участия этих пород в однородных условиях произрастания на почвах

с двучленными отложениями. Длительность анализируемого периода составила 54 года, на текущий момент древостой являются спелыми. Была изучена связь прироста со средней температурой воздуха за вегетационный период и суммой осадков за вегетационный период. Анализ связей климата с параметрами древесины хвойных проводили на основе поиска статистически значимых ранговых коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями и климатическими факторами в насаждениях с разной долей участия сосны и ели. Вычислялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена как количественная оценка связи между исследуемыми явлениями. Ранговый корреляционный анализ позволил на статистически значимом уровне оценить вклад средних температур и суммы осадков по месяцам в формирование макроструктурных элементов древесины сосны и ели. Прослеживается большая метеозависимость элементов годичного прироста древесины ели, чем сосны, в данных условиях. Для соснового элемента смешанных хвойных древостоев наибольшая взаимосвязь с температурными показателями наблюдается в июле–сентябре, тогда как для ели выявлена ярко выраженная зависимость с этим фактором в мае для всех древостоев с ее участием. Проведенное исследование показало, что в зависимости от доли участия ели и сосны образование структурных элементов ксилемы годичного прироста имеет разную степень по силе связи со средними температурами и суммой осадков по месяцам вегетационного периода.

Ключевые слова: радиальный прирост, поздняя древесина, ранняя древесина, метеофакторы, сумма осадков, двучленные по строению почвы, смешанные древостой.

Chudakov A.V., Danilov D.A., Zaytsev D.A. Influence of meteorological factors on the formation of radial growth of trees in coniferous stands of the Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 232, pp. 33–49 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.33-49

A study was carried out on the impact of climatic factors on the increment rates of pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands of natural origin, not affected by forestry impact. Tree stands with different participation of these species in similar growth conditions on binary deposits soils were reviewed. The duration of the analyzed period was 54 years, at the present time stands are mature. The connection between the growth and average air temperature during the growing season and the amount of precipitation during the growing season was studied. The analysis of climate relationships with coniferous wood parameters was carried out on the basis of searching statistically significant rank coefficients of correlation between wood-ring chronologies and climate factors in stands with different participation shares of pine and spruce. Spearman's rank correlation coefficient was calculated as a quantitative evaluation of the connection between the observed effects. Rank correlation analysis allowed to estimate at statistically significant level the contribution of average temperatures and the sum of monthly precipitation on the formation of

macrostructural elements of pine and spruce wood. There is a higher meteorological dependence on the increment rate of spruce wood than pine wood in the given conditions. For the pine element of mixed coniferous trees the greatest correlation of increment with temperature indices is observed in July-September months, while for the spruce a marked dependence with this factor was revealed in May month for all stands with spruce participation. The study showed that depending on the share of conifers, the formation of structural elements of the xylem has a different strength of the relationship with average temperatures and the amount of precipitation in the months of the growing season.

Key words: radial growth, late wood, early wood, weather factors, precipitation amount, meteorological factors, binary soils, mixed stands.

ЧУДАКОВ Алексей Владимирович – соискатель кафедры лесоводства, Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 9213864343@mail.ru

CHUDAKOV Aleksej V. – degree seeker, «Forestry» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: 9213864343@mail.ru

ДАНИЛОВ Дмитрий Александрович – профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: stown200@mail.ru

DANILOV Dmitry A. – DSc (Forestry), Professor of «Forestry» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: stown200@mail.ru

ЗАЙЦЕВ Дмитрий Андреевич – выпускник кафедры лесоводства, Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: disoks@gmail.com

ZAYTSEV Dmitriy A. – PhD (Forestry), «Forestry» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: disoks@gmail.com