

УДК 630*181.65:630*174.754

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-69-81

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus sylvestris* L.) ПРИ ИНГИБИРОВАНИИ

В.П. Иванов, д-р биол. наук, проф.; *ResearcherID: G-7378-2019.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4997-5576>

С.И. Марченко, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID: G-7754-2019.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5107-6839>

Д.И. Нартов, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID: G-7725-2019.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-5914>

Л.П. Балухта, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID: ABE-1507-2020.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4003-6705>

Брянский государственный инженерно-технологический университет, ул. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: ivpinfo@mail.ru

Аннотация. Прогнозирование процессов роста деревьев важно в связи с исключительной экосистемной ролью лесов, осуществляющих глобальную регуляцию климата за счет поглощения углерода, сохранения питьевой воды, обеспечения среды обитания для живых организмов. Известно, что деревья реагируют на любые колебания внешней среды. Цель исследования – выявление погодно-климатических факторов, существенно влияющих на ингибирование роста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях постоянного дефицита влаги. Исследования проводились в восточной части Брянской области на территории Брянского административного района – в Учебно-опытном лесхозе Брянского государственного инженерно-технологического университета и Стяжновском участковом лесничестве. Методами дендрохронологии оценивалась реакция 93 деревьев сосны на колебания внешней среды по изменению ширины годичных колец (доступного анатомического признака дерева) с использованием индексов радиальных приростов. Предложен оригинальный подход к анализу причин резкого спада годичного радиального прироста под влиянием температур и осадков. Выявлены годы с аномально низкими приростами (1963, 1972, 1985, 2002, 2010 гг.) на фоне погодно-климатической ситуации за 5 лет до и после падения прироста. Установлена сходная динамика абсолютных значений радиальных приростов и их индексов, что обусловлено колебаниями природных факторов, проявлением наследственных признаков и т. д. Отмечены существенные различия между показателями прироста при средних многолетних значениях температур воздуха января, мая и августа и аналогичными показателями в годы аномально низких радиальных приростов, которые наблюдаются у сосны на фоне более холодного января и более теплых мая и августа текущего года, а также при условии более теплого января предыдущего года. При этом значимой роли осадков не выявлено. Полученная информация, расширяющая представление об особенностях ростовых процессов и формирования годичных приростов по диаметру сосны обыкновенной в условиях изменяющегося климата на рубеже XX–XXI вв., позволила высказать предположение о возможном проявлении физиологических особенностей вида, зона оптимума гомеостаза которого находится в условиях более холодного бореального климата.

Для цитирования: Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И., Балухта Л.П. Радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при ингибировании // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 69–81. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-69-81

Финансирование: Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ № 16-14-10224 по теме: «Физиологические и молекулярные механизмы адаптации хвойных растений к засухе».

Ключевые слова: сосна обыкновенная, радиальный прирост, ингибирование роста, дендрохронология, погодно-климатические аномалии.

Введение

Глубокое понимание механизмов процесса роста деревьев и его прогнозирование важны в связи с исключительной экосистемной ролью лесов – глобального регулятора климата. Они осуществляют эту функцию посредством поглощения углерода, сохранения питьевой воды, обеспечения среды обитания для многих видов организмов. В то же время леса становятся особенно чувствительны к изменениям климата, регистрируемым в XXI в. [11, 17, 18].

Деревья реагируют на любые колебания внешней среды, что проявляется в изменении ширины годичного кольца – хорошо выраженного и легко доступного анатомического признака. Деревья, испытавшие воздействие различных факторов, имеют одинаковый порядок чередования широких и узких годичных слоев, причем узкие кольца указывают на годы засух и иные ограничительные факторы роста, широкие – на благоприятные годы [1, 3, 9, 14].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – один из основных лесообразователей – особенно ценна для проведения дендрохронологических исследований. Она образует много форм в пределах популяции на обширной территории Евразии, где широко проявляются ее морфологические, биологические, эколого-физиологические особенности и лесоводственные свойства. Рост и продуктивность древостоев весьма изменчивы под влиянием почвенно-климатических условий в различных географических районах. Например, отдельные авторы прогнозируют во второй половине XXI в. возможное ингибирование роста деревьев в лесах западной части Северной Америки (до 70 %) по сравнению с первой половиной XX в. [12], что актуально и для европейских лесов в связи с начавшимися климатическими изменениями.

Годичный прирост деревьев зависит от множества внешних и внутренних факторов: вида, наследственных свойств, возраста, условий местопроизрастания дерева, сроков плодоношения, климата, солнечной радиации, стихийных явлений, взаимного затенения, охлестывания крон, химических выделений корневых систем (аллелопатия) и др. Принято считать, что на ширину годичного кольца влияют два ведущих фактора: изменение возраста дерева и погодно-климатические условия. Иногда под влиянием антропогенных и биогенных факторов (рубки, мелиорация, энтомо- и фитовредители, плодоношение и т. д.) классические максимумы радиального прироста искажаются. В крайне неблагоприятных условиях у деревьев могут выпадать годичные кольца или образовываться очень узкие кольца, ширина которых ближе к сердцевине часто не подчиняется линейной зависимости [1, 6, 7, 15, 16].

Известны результаты исследований изменчивости факторов внешней среды, стимулирующих интенсивность прироста древесных растений. В начале вегетационного периода она зависит от дневной температуры воздуха, в середине периода – от термического режима ночи, а в конце – от дефицита влаги в воздухе и влажности почвы. Надежные прогнозы и лучшее понимание комплекса факторов, влияющих на рост отдельных деревьев, могут быть получены путем интеграции данных нескольких источников с дополнительной информацией [14].

Некоторые авторы [19] отмечают связь интенсивности формирования репродуктивных органов в отдельные годы со снижением величины радиальных приростов, так как пластические вещества в большем количестве расходуются на формирование органов размножения, т. е. цветение ограничивает прирост древесины в том же году.

Ю.П. Демаков и Н.В. Андреев [2] считают, что текущий прирост у многих деревьев тесно связан с приростом предшествующего года. Наличие данной связи свидетельствует, что колебания прироста могут происходить и под действием внутренних факторов. Текущие условия среды оказывают лишь модифицирующее воздействие, а значительные нарушения собственного ритма роста дерева происходят только в годы с погодными аномалиями. Интересный вывод делает Г.Г. Хамидуллина с соавторами [11, с. 14]: «...температура воздуха и осадки на местности – это независимые переменные, отдельно взятый климатический фактор не оказывает существенного влияния на рост сосны, и только совместное сочетание 2-х параметров – температуры и осадков, играет ведущую роль в ее ростовых процессах».

Реакция деревьев на одинаковые изменения внешних условий неоднозначна и, наоборот, разные воздействия могут проявляться идентично. Годичный прирост сосны варьирует в значительных пределах: прирост верхушечного побега – от 1 до 90 см, ширина годичных колец – от 0,05 до 15 мм, что указывает на высокую отзывчивость вида на изменения условий среды и значительную экологическую пластичность. Различия возрастного тренда приводят к дифференциации размеров деревьев, и в течение жизни они не сохраняют своего рангового положения в ценозе. Различия в реакции деревьев на изменение условий среды затрудняют оценку зависимости прироста от метеофакторов, поэтому часто используют индексы прироста, которые изменяются в значительных пределах более информативны для оценки, хотя средняя величина индекса ширины годичных колец варьируется во времени весьма специфически [2].

Сопоставление данных об изменчивости метеоэлементов за отдельные месяцы позволяет приблизительно судить о степени их влияния на отложение ранней и поздней древесины и, как следствие, формирование годичного прироста. Метеофакторы, существенно влияющие на образование ранней и поздней древесины в отдельности, еще не определены [8].

Некоторые исследователи отмечают отрицательную корреляцию радиального прироста с температурой января, объясняя ситуацию ускорением физиологических процессов в деревьях в условиях теплой зимы, большим расходом питательных веществ, чем в холодные зимы, что отражается на приросте древесины в вегетационный период. Известна положительная связь прироста ранней древесины сосны с температурами воздуха в декабре предшествующего года и марте текущего года. Анализ научной информации, выполненный О.Н. Соломиной с соавторами [10], выявил ряд факторов, ограничивающих рост сосны, среди которых выделяется высокая температура начала лета. В лесостепи основным фактором, влияющим на прирост сосны, является сумма осадков с апреля по октябрь, причем сильные засухи (1939, 1972 и 2010 гг.) наблюдались только после 2–3 лет с дефицитом осадков и высокими температурами воздуха. Глубокие минимумы прироста отмечены в 1939–1940, 1949, 1972–1973,

1995–1996 гг. [9]. Известен тот факт, что у сосны в большей степени заметен эффект «замедленного действия», т. е. неблагоприятные условия в данное лето могут сказаться на ширине годичных колец в следующий год или последующие годы [5, 7].

Поиск климатических и иных факторов, влияющих на динамику радиальных приростов древесных растений, продолжается, и к настоящему времени вопрос остается открытым. Рост отдельных деревьев зависит от их размера, особенностей на популяционном и индивидуальном уровнях развития, климата, абсолютной полноты насаждений, антропогенных и биогенных воздействий, почвенно-грунтовых условий и т. д. [4, 14]. Необходимо продолжение разносторонних исследований различных древесных видов для получения объективных результатов в области дендрохронологии.

Цель работы – выявление погодно-климатических факторов, оказывающих существенное влияние на ингибирование роста сосны обыкновенной, произрастающей при постоянном дефиците влаги на территории Брянского лесного массива; а также изучение радиальных приростов в годы их минимального проявления (1963, 1972, 1985, 2002, 2010 гг.) и особенностей погодно-климатической ситуации в течение 5 предыдущих и 5 последующих лет.

Объекты и методы исследования

Исследования выполнены на 6 участках, расположенных в восточной части Брянской области на территории Брянского административного р-на – в Учебно-опытном лесхозе Брянского государственного инженерно-технологического университета и в Стяжновском участковом лесничестве ГКУ Брянской области «Брянское лесничество», на которых были заложены временные пробные площади. Объекты находятся в зоне хвойно-широколиственных лесов левобережья р. Десна, на территории Брянского лесного массива.

Природно-климатические условия района исследований благоприятны для произрастания высокопродуктивных чистых и смешанных насаждений сосны обыкновенной. В работе использованы средневозрастные древостои на участках со слабовыраженным микрорельефом и постоянным гидрологическим режимом, связанным с преимущественным поступлением влаги весеннего снеготаяния и затяжных дождей. Преобладающие типы лесорастительных условий – A_1 и A_2 , признаков болезней и вредителей леса в древостоях не отмечено.

На каждом участке у 15–16 учетных деревьев были отобраны керны древесины с использованием возрастных буров Пресслера для анализа динамики радиального прироста и его корреляции с погодными условиями прошлых лет (по данным Брянской метеостанции). Всего проанализированы результаты измерений радиальных приростов у кернов 93 учетных деревьев сосны обыкновенной.

После зачистки (для лучшего проявления границ радиальных приростов) и сканирования кернов древесины с использованием компьютерных технологий измерена ширина годичных колец с точностью $\pm 0,1$ мм. Затем проведено перекрестное датирование каждого радиального прироста методом экспертных оценок (с учетом общего мнения трех исследователей, каждый из которых выполнял процедуру датирования индивидуально). Выпадающих колец и двойных приростов за один год при анализе полученных результатов не выявлено.

Математическая обработка данных, выполненная средствами Excel, включала: формирование дендрохронологического ряда; выявление возрастного тренда (использовали полиномы не выше 4-й степени); расчет индексов радиальных приростов и основных статистических показателей; определение закономерностей изменчивости радиальных приростов с динамикой абиотических факторов. Существенность различий средних величин оценивали с использованием критерия Стьюдента для доверительных уровней $p = 0,05; 0,01; 0,001$.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании анализа средних радиальных приростов сосны обыкновенной за последние 60 лет (рис. 1) были выявлены годы с аномально низкими его значениями (1963, 1972, 1985, 2002, 2010 гг.), в которые наблюдалось падение величины радиального прироста ниже нормы у большинства деревьев (их доля – 65,2...81,7 % выборки). В работе впервые использован оригинальный подход к анализу причин резкого спада годичного радиального прироста сосны обыкновенной под влиянием погодных факторов – температуры и осадков. Изучена погодно-климатическая ситуация в течение 5 лет до падения прироста и дополнительно проанализирован рост по диаметру в течение последующих 5 лет (рис. 2). Следует отметить, что радиальный прирост на протяжении предшествующих аномальным событиям 5 лет не был одинаковым и варьировал в пределах 1,2...2,3 мм.

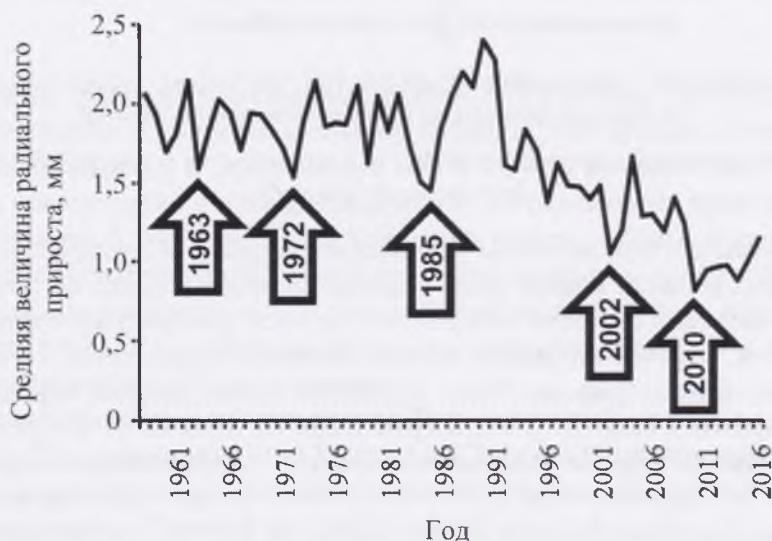


Рис. 1. Годы с аномально низкими приростами сосны обыкновенной

Fig. 1. Years with abnormally low growth rates of Scots pine

Казалось бы, ситуацию с ингибированием прироста можно объяснить погодно-климатическими аномалиями, в первую очередь высокими среднегодовыми температурами. Однако их сравнение показало неоднозначную ситуацию: среднегодовая температура в 1963 г. составила 4,3 °С, в 2010 г. – 7,3 °С;

в 1985 г. – 4,0 °С в 2002 г. – 7,0 °С. По-видимому, использование данного параметра при анализе годичного радиального прироста сосны не вполне корректно. Очевидно, что более глубокое понимание особенностей динамики радиального прироста дает детализация температурного воздействия на уровне среднемесячных температур текущего и предшествующего вегетационных периодов, а также и использование показателей среднемесячного количества осадков.



Рис. 2. Изменение радиального прироста (по вертикали) сосны обыкновенной за 5-летние периоды до и после аномальных событий

Fig. 2. Changes in radial growth (vertically) of Scots pine over 5-year periods; before and after the anomalous events

Анализ средней величины радиального прироста за предыдущие 5 лет до аномальных событий выявил более стабильный прирост сосны до 1963, 1972 и 1985 гг., после них он продолжился в течение последующих 5 лет с небольшими перепадами. Отмечен небольшой всплеск активности прироста на 2-й год после аномально низкого прироста 2002 г. Стабильно низкий прирост зафиксирован в 2010 г., причем в июле (23,3 °С), августе (22,6 °С), июне (20,4 °С) наблюдались наиболее высокие среднемесячные температуры за вегетационный период. Кроме того, в последующие годы (2011–2014 и 2016 гг.) также были зафиксированы весьма высокие температуры в летние месяцы (до 21,9 °С), что могло негативно отразиться на характере годичных приростов.

Хотя индексы радиальных приростов более объективно характеризуют наблюдаемые изменения (рис. 3), в целом отмечена сходная динамика относительных показателей с величиной абсолютных значений радиальных приростов. Однако значения годичных индексов приростов обусловлены не только колебаниями различных природных факторов, но и проявлением наследственных признаков, положением дерева в древостое и др. [1, 13, 14].



Рис. 3. Изменение индексов радиальных приростов сосны обыкновенной за 5-летние периоды до и после аномальных событий

Fig. 3. Changes in Scots pine radial growth indices over 5-year periods before and after the anomalous events

Анализ выявил существенные различия изучаемых параметров (радиальный прирост и индекс радиального прироста) при средних многолетних значениях температур воздуха января, мая и августа по сравнению с аналогичными показателями в годы аномально низких радиальных приростов сосны обыкновенной. На фоне более холодного января и более теплых мая и августа (рис. 4) наблюдается аномально низкий прирост у сосны. Возможно, в этом проявляются физиологические особенности данного вида высших древесных растений, зона оптимума гомеостаза которых находится в условиях более холодного бореального климата.

Диапазон температур воздуха (рис. 5) за период наблюдений в январе составил -16°C (варьирование от $-17,5$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$), в годы ингибирования роста по диаметру сосны обыкновенной он составил $-11,2^{\circ}\text{C}$ (от $-16,3$ до $-5,2^{\circ}\text{C}$); в мае соответственно $9,0^{\circ}\text{C}$ (от $8,8$ до $17,8^{\circ}\text{C}$) и $3,0^{\circ}\text{C}$ (от $13,9$ до $16,9^{\circ}\text{C}$); в августе $-8,2^{\circ}\text{C}$ (от $14,4$ до $22,6^{\circ}\text{C}$) и $3,9^{\circ}\text{C}$ (от $18,7$ до $22,6^{\circ}\text{C}$). Следует отметить, что достаточно значительное колебание диапазона температур (от -16 до $+9^{\circ}\text{C}$) за исследуемый период всего в пяти случаях отразилось на снижении годовых радиальных приростов: в 1963, 1972, 1985, 2002 и 2010 гг.

Непосредственно в годы ингибирования роста по диаметру сосны обыкновенной и за год до снижения приростов наблюдаются существенные различия среднемесячных температур января, мая и августа со средними многолетними значениями в эти месяцы.

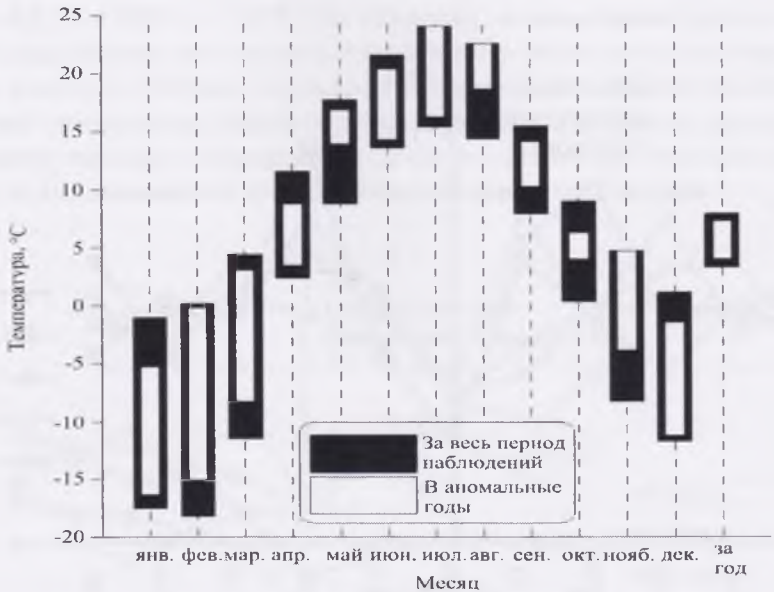


Рис. 4. Динамика температуры воздуха за весь период наблюдений (с 1947 по 2016 г.) и в годы с аномально низкими значениями радиального прироста у сосны обыкновенной

Fig. 4. Air temperature dynamics for the observation period (1947–2016) and in the years of abnormally low values of radial growth in Scots pine

Установлено, что за год до аномально низких значений радиального прироста у сосны обыкновенной в январе отмечается существенное (при $p = 0,001$) различие средних температур воздуха: $-(4,4 \pm 0,4)^\circ\text{C}$ на фоне средних многолетних значений $-(7,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Диапазон температур января при этом за год до ингибирования роста по диаметру составил $-3,4 \dots -5,3^\circ\text{C}$ (разница в $1,9^\circ\text{C}$) на фоне средних многолетних значений $-1,0 \dots -17,5^\circ\text{C}$ (разница в $16,5^\circ\text{C}$). Наблюдается явное смещение показателей в сторону более высоких температур.

Непосредственно в год ингибирования роста по диаметру у сосны обыкновенной температура января существенно (при $p = 0,05$) ниже средних многолетних значений и составляет $-(12,0 \pm 1,9)^\circ\text{C}$; диапазон температур $-5,2 \dots -16,3^\circ\text{C}$ (разница в $11,1^\circ\text{C}$), что на $5,5^\circ\text{C}$ ниже средних многолетних значений.

В год ингибирования роста по диаметру у сосны обыкновенной температуры мая существенно (при $p = 0,05$) выше средних многолетних значений и составляют $(15,3 \pm 0,6)^\circ\text{C}$; диапазон температур $-13,9 \dots 16,9^\circ\text{C}$ (разница в $3,0^\circ\text{C}$), в то время как среднее многолетнее значение составляет $(13,5 \pm 0,3)^\circ\text{C}$; диапазон температур $-8,8 \dots 17,8^\circ\text{C}$ (разница в $9,0^\circ\text{C}$), что на $1,8^\circ\text{C}$ выше средних многолетних значений.

В год ингибирования роста по диаметру у сосны обыкновенной температуры августа существенно (при $p = 0,001$) выше средних многолетних значений и составляют $(20,0 \pm 0,7)^\circ\text{C}$; диапазон температур $-18,7 \dots 22,6^\circ\text{C}$ (разница в $3,9^\circ\text{C}$), в то время как среднее многолетнее значение составляет $(17,2 \pm 0,2)^\circ\text{C}$; диапазон температур $-14,4 \dots 22,6^\circ\text{C}$ (разница в $8,2^\circ\text{C}$), что на $2,8^\circ\text{C}$ выше средних многолетних значений.



Рис. 5. Диапазоны температур воздуха за весь период наблюдений в годы ингибирования роста по диаметру сосны обыкновенной

Fig. 5. Air temperature ranges for the entire observation period in the years of growth inhibition by Scots pine diameter

Как известно, древесные растения в январе находятся в состоянии глубокого покоя, при этом практически все физиологические процессы крайне замедлены, осуществляются лишь газообмен с окружающей средой и перидермальная транспирация, что сопровождается расходом запасных питательных веществ. В сезоны с январскими температурами выше климатической нормы радиальный прирост сосны достаточно стабилен: средняя величина радиального прироста составляет $(1,61 \pm 0,04)$ мм (различия со средними многолетними значениями, равными $(1,64 \pm 0,01)$ мм, незначительны при $p = 0,05$). Ситуация резко меняется и напоминает стрессовую, если в следующем году средняя температура января оказывается существенно ниже климатической нормы – в этом случае наблюдается значительное снижение радиального прироста: по данным для 93 модельных деревьев средняя величина прироста существенно отличается от средней многолетней на самом высоком доверительном уровне (при $p = 0,001$) и составляет $(1,29 \pm 0,03)$ мм, коэффициент существенности различий $t_{st} = 11,1$ выше критического значения, равного 3,3. Причем это событие происходит на фоне аномально высоких температур мая и августа текущего года, во время формирования ранней и поздней древесины, что можно объяснить особенностями биологии вида, который эволюционировал в условиях более холодного бореального климата.

Заключение

Исследования показали, что ингибирование роста по диаметру у сосны обыкновенной на территории Брянской области в сухих и свежих боровых условиях отмечается в годы с более холодным январем (на $11,1$ °C), более теплыми

маем (на 1,8 °С) и августом (на 3,9 °С) текущего года и в случае более теплого января предыдущего года (на 1,9 °С) относительно средних многолетних данных. Значимого влияния среднемесячного количества осадков на радиальный прирост исследуемой породы в условиях лимитирования влаги не выявлено. Полученная информация расширяет представление об особенностях ростовых процессов и формирования годичного прироста по диаметру сосны обыкновенной в условиях изменяющегося климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с. [Bitvinskis T.T. *Dendroclimatic Studies*. Leningrad, Hidrometeoizdat Publ., 1974. 172 p.]
2. Демаков Ю.П., Андреев Н.В. Закономерности радиального прироста деревьев сосны в приозерных биотопах национального парка «Марий Чодра» // Эко-потенциал. 2014. № 3(7). С. 48–58. [Demakov Yu.P., Andreyev N.V. Patterns of Radial Growth of Pine Trees in Lacustrine Biotopes of the Mari Chodra National Park. *Eko-potentsial*, 2014, no. 3(7). pp. 48–58].
3. Демина А.В., Белокопытова Л.В., Андреев С.Г., Костякова Т.В., Бабушкина Е.А. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья // Сиб. экол. журн. 2017. № 5. С. 553–566. [Demina A.V., Belokopytova L.V., Andreev S.G., Kostyakova T.V., Babushkina E.A. Radial Growth Dynamics of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) as an Indicator of the Hydrothermal Regime of the Western Transbaikalia Forest-Steppe. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2017, no. 5, pp. 553–566]. DOI: 10.15372/SEJ20170503
4. Ергина Е.И., Лисецкий Ф.Н., Акулов В.В., Репецкая А.И., Новикова Ю.А. Дендроклиматические исследования условий произрастания сосны крымской или Палласа – *Pinus pallasiana* D.Don, в предгорном Крыму // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: География. 2012. Т. 25(64), № 2. С. 60–68. [Yergina E.I., Lysetskiy F.N., Akulov V.V., Repetska A.I., Novikova Yu.A. Dendroclimate Study of Growth Conditions the Crimean Pine in Foothills of Crimea. *Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta. Seriya Geografiya* [Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Geography Sciences], 2012, vol. 25(64), no. 2, pp. 60–68].
5. Иванов В.П., Марченко С.И., Балухта Л.П. Длительная изменчивость радиального прироста и женской генеративной сферы сосны обыкновенной на фоне погодных условий региона // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. Вып. 43. С. 20–25. [Ivanov V.P., Marchenko S.I., Baluhta L.P. Long Ring Growth Variation and Female Generative Services Pine on the Background of the Region Weather Conditions. *Aktualnyye problemy lesnogo kompleksa*, 2015, iss. 43, pp. 20–25].
6. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Соболева Л.М. Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 г. // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 25–35. [Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I., Soboleva L.M. Biogeocenosis Changes in Central Part of the Braynsk Region after Hot Summer-2010. *Vestnik PGTU. Ser. «Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie»* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series «Forest. Ecology. Nature management»], 2013, no. 1, pp. 25–35].
7. Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И., Балухта Л.П., Красикова Ю.С. Сравнительный анализ радиальных приростов хвойных лесообразователей в одинаковых лесорастительных условиях // Роль учебно-опытных лесхозов вузов России в подготовке кадров для лесного сектора: материалы науч.-практ. конф., 21–23 сент. 2017 г.

Брянск: БГИТА, 2017. С. 125–130. [Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Balukhta L.P., Krasikova Yu.S. Comparative Analysis of Radial Growth of Coniferous Forest Species in the Same Forest Site Conditions. *The Role of Educational and Experimental Forestries of Russia Universities in Training for the Forestry Sector: Proceedings of Scientific and Practical Conference, September 21–23, 2017*. Bryansk, BGITA Publ., 2017, pp. 125–130].

8. Лобжанидзе Э.Д. Камбий и формирование годичных колец древесины. Тбилиси: АН ГрузССР, 1961. 159 с. [Lobzhanidze E.D. *Cambium and the Formation of Annual Rings of Wood*. Tbilisi, AN GruzSSR Publ., 1961. 159 p.].

9. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 140 с. [Matveyev S.M., Rumyantsev D.E. *Dendrochronology*. Voronezh, VGLTU Publ., 2013. 140 p.].

10. Соломина О.Н., Кузнецова В.В., Мацковский В.В., Долгова Е.А. От чего зависит ширина годичных колец деревьев в центральной части Восточно-Европейской равнины? // Изв. РАН. Сер.: Географическая. 2016. № 3. С. 47–64. [Solomina O.N., Kuznetsova V.V., Matskovskii V.V., Dolgova E.A. What Determines the Width of Annual Tree-Rings in the Central Part of East-European Plain? *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2016, no. 3, pp. 47–64]. DOI: [10.15356/0373-2444-2016-3-47-64](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-47-64)

11. Хамидуллина Г.Г., Исхаков Ф.Ф., Кулагин А.А., Зайцев Г.А., Давыдычев А.Н. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от топоэкологических условий произрастания // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2014. №1(45). С. 12–14. [Khamidullina G.G., Iskhakov F.F., Kulagin A.A., Zaitsev G.A., Davydychev A.N. Dependence Of Scotch Pine Radial Increment (*Pinus silvestris* L.) on Topoecological Growth Conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia Orenburg State Agrarian University], 2014, no. 1(45), pp. 12–14].

12. Allen C.D., Breshears D.D., McDowell N.G. On Underestimation of Global Vulnerability to Tree Mortality and Forest Die-off from Hotter Drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 2015, vol. 6, iss. 8, pp. 1–55. DOI: [10.1890/ES15-00203.1](https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1)

13. Charney N.D., Babst F., Poulter B., Record S., Trouet V.M., Frank D., Enquist B.J., Evans E.K. Observed Forest Sensitivity to Climate Implies Large Changes in 21st Century North American Forest Growth. *Ecology Letters*, 2016, vol. 19(9), pp. 1119–1128. DOI: [10.1111/ele.12650](https://doi.org/10.1111/ele.12650)

14. Evans M.E.K., Merow C., Record S., McMahon S.M., Enquist B.J. Towards Process-Based Range Modeling of Many Species. *Trends in Ecology & Evolution*, 2016, vol. 31, iss. 11, pp. 860–871. DOI: [10.1016/i.tree.2016.08.005](https://doi.org/10.1016/i.tree.2016.08.005)

15. Foster J.R., Finley A.O., D'Amato A.W., Bradford J.B., Banerjee S. Predicting Tree Biomass Growth in the Temperate-Boreal Ecotone: Is Tree Size, Age, Competition, or Climate Response Most Important? *Global Change Biology*, 2016, vol. 22, iss. 6, pp. 2138–2151. DOI: [10.1111/gcb.13208](https://doi.org/10.1111/gcb.13208)

16. Ivanov Yu.V., Kartashov A.V., Ivanova A.I., Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Kuznetsov V.V. Long-Term Impact of Cement Plant Emissions on the Elemental Composition of Both Soils and Pine Stands and on the Formation of Scots Pine Seeds. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 243, part B, pp. 1383–1393. DOI: [10.1016/i.envpol.2018.09.099](https://doi.org/10.1016/i.envpol.2018.09.099)

17. Jetschke G., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M. Towards the Extremes: A Critical Analysis of Pointer Year Detection Methods. *Dendrochronologia*, 2019, vol. 53, pp. 55–62. DOI: [10.1016/i.dendro.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/i.dendro.2018.11.004)

18. Millar C.I., Stephenson N.L. Temperate Forest Health in an Era of Emerging Megadisturbance. *Science*, 2015, vol. 349, iss. 6250, pp. 823–826.

19. Theuerkauf M., Engelbrecht E., Dräger N., Hupfer M., Mrotzek A., Prager A., Schamweber T. Using Annual Resolution Pollen Analysis to Synchronize Varve and Tree-Ring Records. *Quaternary*, 2019, vol. 2, iss. 3, art. 23. DOI: [10.3390/quat2030023](https://doi.org/10.3390/quat2030023)

RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE (*Pinus sylvestris* L.) UNDER INHIBITION

Valery P. Ivanov, Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: [G-7378-2019](https://orcid.org/0000-0002-4997-5576).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4997-5576>

Sergey I. Marchenko, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [G-7754-2019](https://orcid.org/0000-0001-5107-6839). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5107-6839>

Dmitry I. Nartov, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [G-7725-2019](https://orcid.org/0000-0001-6886-5914).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-5914>

Leonid P. Balukhta, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [ABE-1507-2020](https://orcid.org/0000-0003-4003-6705). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4003-6705>

Bryansk State Engineering and Technology University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk. 241037, Russian Federation; e-mail: ivpinfo@mail.ru

Abstract. Predicting tree growth processes is important due to the exceptional ecosystem role of forests, which carry out global climate regulation by sequestering carbon, conserving drinking water, and providing habitat for living organisms. Trees are known to respond to any fluctuations in the environment. The research purpose is to identify weather and climatic factors that significantly affect the inhibition of growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in conditions of constant moisture deficit. The studies were carried out in the eastern part of the Bryansk region within the territory the Bryansk administrative district, in the educational and experimental forestry of the Bryansk State Engineering and Technological University and the Styazhnovskoye forest district. Methods of dendrochronology were used to assess the response of 93 pine trees to fluctuations in the external environment by changing the width of annual rings (available anatomical feature of a tree) using indices of radial growth. An original approach was proposed to analyze the reasons for a sharp decline in the annual radial growth under the influence of temperature and precipitation. The years with abnormally low increments (1963, 1972, 1985, 2002 and 2010) were identified against the background of the weather-climatic situation for 5 years before and after the fall in growth. Similar dynamics of absolute values of radial increments and their indices was established, which is caused by fluctuations of natural factors, manifestation of hereditary traits, etc. Significant differences were revealed between the growth rates at average multi-year values of January, May and August air temperatures with growth rates in the years of abnormally low radial growth, which are observed in pine against the background of colder January and warmer May and August of the current year, as well as under the condition of warmer January of the previous year. At the same time, no significant role of precipitation was detected. The obtained data, expanding the idea of the features of growth processes and formation of annual increments in diameter of Scots pine in the conditions of changing climate at the turn of the 20th–21st centuries, allowed us to suggest a possible manifestation of physiological features of the species, the homeostasis optimum zone of which is located in the conditions of colder boreal climate. This information expands our understanding of the features of growth processes and formation of annual increments in diameter of Scots pine in changing climatic conditions.

For citation: Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Balukhta L.P. Radial Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) under Inhibition. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 1, pp. 69–81. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-69-81

Funding: The research was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 16-14-10224 on the theme “Physiological and Molecular Mechanisms of Adaptation of Coniferous Plants to Drought”.

Keywords: Scots pine, radial growth, growth inhibition, dendrochronology, weather and climatic anomalies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare that there is no conflict of interest

Поступила 24.10.19 / Received on October 24, 2019
