

Д.В. Тишин, Н.А. Чижикова, П.Ю. Искандиров, Г.П. Лебедева
Казанский (Приволжский) федеральный университет, dtishin@kpfu.ru

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ БОЛОТ МАРИЙСКОГО ПОЛЕСЬЯ

В статье приведены результаты анализа ширины годичных колец сосны обыкновенной, произрастающей в климаксовых сосняках Марийского Полесья (олиготрофное болото «Илюшкино», Медведевский район, Республика Марий Эл). На основании хронологий радиального прироста 25 модельных деревьев пробной площади получена одна обобщенная древесно-кольцевая хронология ILU01 (1740–2017 гг.). Вейвлет-анализ этой хронологии выявил циклы с периодом в 7 и 14 лет. Дендроклиматический анализ показал, что лимитирующие факторы радиального прироста болотной сосны формируются погодными условиями мая. Минимальный прирост годичных колец деревьев на болоте будет наблюдаться при жарком и сухом мае текущего года.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; годичные кольца; олиготрофное болото; осадки; температура.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.20.24>

Введение

Реакции лесных экосистем на глобальное потепление климата становятся все более значимыми, особенно с учетом региональных особенностей. Наиболее удачным объектом для оценки таких процессов являются хвойные деревья, которые, благодаря своим годичным кольцам, способны фиксировать различную экологическую информацию (Шиятов, 1986; Комин, 1990; Ваганов и др., 1996).

Одной из важных задач исследования радиального прироста деревьев является изучение ширины годичных колец в зависимости от температуры воздуха и количества выпадающих осадков. На территории Среднего Поволжья сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является наиболее распространенным хвойным древесным растением. В научной литературе накоплен значительный фактический материал по влиянию климатических факторов на радиальный прирост сосны в регионе (Тишин, 2006; Соломина и др., 2016; Искандиров и др., 2019), тем не менее, современных сведений о приросте деревьев, произрастающих на болотах Средней Волги, фактически нет. Торфяные болота играют важную роль в депонировании углерода, уменьшая тем самым последствия парникового эффекта, поэтому изучение таких экосистем всегда сохраняет свою актуальность (Вомперский, 1994; Strack, 2008).

К западу Марийско-Вятского увала широкой полосой вдоль левого берега р. Волги тянется Марийская песчаная низменность (Марийское

Полесье), уступом переходящая в ее долину. Здесь выявлено и учтено 188 торфяных болот общей площадью 40.5 тыс. га и запасом торфа 139 млн. тонн (Кусакин, 2000). Крупнейшие болота приурочены к слабо дренированному участку песчаной равнины между реками Рутка и Большая Кокшага, являющемуся самой заболоченной частью территории Республики Марий Эл (Демаков и др., 2012).

В настоящей работе была предпринята попытка определить основные климатические факторы, оказывающие значительное влияние на радиальный прирост хвойных растений на данной территории. Предполагается, что деревья, произрастающие на верховых болотах, в большей степени должны испытывать негативное влияние избытка осадков, по сравнению с возможным негативным воздействием температур (Оленин, 1976).

Цель исследования – анализ ширины годичных колец сосны обыкновенной, произрастающей в климаксовых сосняках Марийского Полесья, на примере олиготрофного болота «Илюшкино», где ранее (Демаков и др., 2007; Демаков и др., 2012) был выполнен анализ хода роста и возраста деревьев.

Материал и методика исследования

В 2017 г. на территории Старожильского лесничества были отобраны керны радиального прироста сосны обыкновенной, произрастающей на верховом болоте «Илюшкино» (N 56.570956, E 47.312907), Медведевский район Республики Ма-

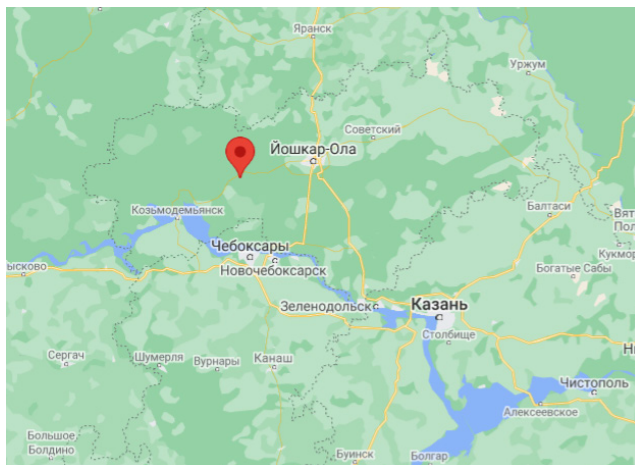


Рис. 1. Карта расположения исследуемого участка (слева) и общий вид фитоценоза болота «Илюшкино» (справа)

Fig. 1. Location map of the study area (left) and general view of the phytocenosis of the «Ilyushkino» bog (right)

рий Эл (рис. 1).

Площадь болота 196 га. В верхнем ярусе доминирует сосна, полнота древостоя 0.4–0.5, бонитет IV–V. Лесная ассоциация – сосняк сфагново-кустарниковый. В нижнем ярусе доминируют багульник, голубика, хамедафне, подбел и клюква. Основным эдификатором фитоценоза являются сфагновые мхи разных видов. Субстратом является торф, мощность которого достигает 3.8 м.

Отбор кернов проводился возрастным буром Пресслера на высоте 0.5 м от шейки корня у 25 сосен по методике, описанной в работе (Шиятов и др., 2000). Дополнительно были отобраны керны с пяти деревьев, произрастающих на суходольном участке рядом с болотом. Для измерения ширины годичных колец с точностью 0.01 мм использовали полуавтоматическую установку Lintab-6 и программное обеспечение TSAPWin (Rinn, 2005). С помощью программы Cofecha (Holmes, 1983) проведён контроль качества измерений и поиск выпадающих и ложных колец. Всего проанализировано 5430 годичных колец.

Для удаления возрастного тренда из индивидуальных хронологий ширины годичных колец и осреднения серий в безразмерную мастер-хронологию использовалась программа ARSTAN (Holmes, 1986). Возрастной тренд из индивидуальных хронологий удалялся с помощью отрицательной экспоненты. Индексированные значения индивидуальных хронологий с удаленным трендом получены делением значения ширины кольца на значение аппроксимирующей функции в этот же год. Анализ древесно-кольцевой хронологии выполнен в пакете dplR среды статистического анализа R (Bunn, 2012). У хронологии был определен выраженный сигнал популяции (EPS) и отношение «сигнала к шуму» (SNR) (Wigley, 1984).

Для выявления цикличности временных серий был применён вейвлет-анализ.

Для анализа отклика радиального прироста деревьев на климатические условия использовались стандартные хронологии и данные среднемесячной температуры воздуха и количества осадков метеостанции Йошкар-Ола (WMO ID 27872), расположенной в 30 км от пробной площади (www.meteo.ru). Связь радиального прироста деревьев с погодными факторами проанализирована с помощью ранговой корреляции Спирмена в программе Past (Hammer, 2001).

Результаты и их обсуждение

Подсчет годичных колец показал, что максимальный возраст деревьев болота «Илюшкино» достигает 289 лет, минимальный – 217. Возможно, что здесь произрастают одни из самых старых деревьев Поволжья.

Средний прирост годичных колец сосны на болоте составил 0.64 мм, при этом на соседнем суходольном участке средняя ширина годичных колец деревьев в три раза больше – 1.75 мм. Низкие значения прироста у болотной сосны могут быть свидетельством неблагоприятных почвенно-грунтовых условиях ее роста.

На основании хронологий прироста модельных деревьев пробной площади была получена одна мастер-хронология (обобщенная древесно-кольцевая хронология) №ILU01 (1740–2017 гг.), длительность ряда составила 277 лет (рис. 2). В среднем на всю длину ряда показатели EPS и SNR достигли значений 0.91 и 9.8, соответственно.

В построенной хронологии выявлены годы с минимальным приростом – 1741, 1770, 1841, 1883, 1890, 1948, 2003; с максимальным – 1760,

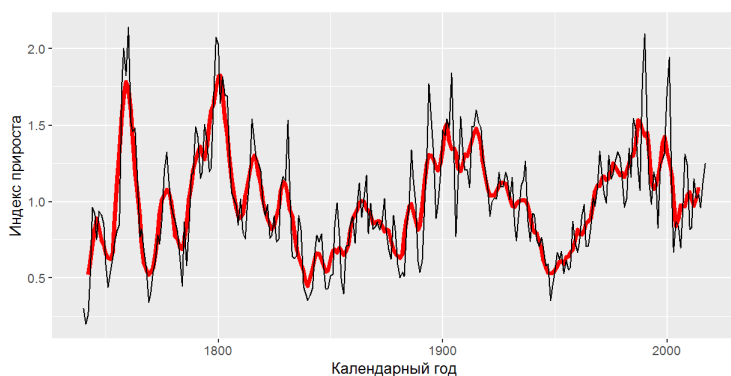


Рис. 2. Мастер-хронология ILU01 по сосне обыкновенной (1740–2017 гг.) (черная линия) и сглаженное среднее (размер окна 6 лет) обобщенной хронологии (красная линия)

Fig. 2. Master-chronology of ILU01 for Scots pine (1740–2017) (black line) and smoothed average (window size is 6 years) of the generalized chronology (red line)

1801, 1894, 1900, 1904, 2001. Наибольший подъем роста наблюдался в 1839–1904 гг., а наибольший спад – в 1799–1840 гг.

Вейвлет-анализ хронологии показал, что наиболее повторяемыми являются циклы с периодом в 14 и 7–8 лет. Более длительные по времени циклы проявляются во временной серии радиального роста до 1850 г., после 1850 г. осцилляции становятся менее продолжительными и менее выраженными.

Анализ климатических данных ближайшей к изучаемому местообитанию метеостанции Йошкар-Ола за последние 50 лет показал выраженные статистически значимые тренды увеличения среднегодовой температуры и суммы осадков. Для температуры воздуха положительный тренд составил 0.04 °C/год, а для суммы осадков – 1.5 мм/год. Наблюдаемое изменение климата на территории региона происходит за счет зимне-весеннего периода.

Для выявления основных климатических факторов, определяющих прирост сосны исследуемого района, был проведен корреляционный анализ индекса прироста со среднемесячной температурой воздуха и осадками за период с сентября предыдущего года по август текущего включительно.

Выявлена зависимость между приростом и количеством осадков ($R=0.44$, $p<0.001$) и температурой мая ($R=-0.5$, $p<0.001$). Таким образом, минимальный прирост годичных колец у сосны на болоте наблюдается при жарком и сухом мае. Интересным является тот факт, что ширина годичных колец сосны реагирует на осадки мая, т.е. месяца, когда на болоте должно наблюдаться высокое стояние грунтовых вод после таяния снежного покрова. Объяснить причины данной направленности связей радиального прироста

с температурой и осадками мая не представляется возможным, так как отсутствуют данные о начале, продолжительности и интенсивности ксилогенеза сосны на этом болоте.

Заключение

Проведенные исследования показали, что на болоте «Илюшкино» произрастают одни из старейших для Поволжья деревья сосны обыкновенной, возраст которых достигает 289 лет. У деревьев наблюдается низкий радиальный прирост годичных колец, что свидетельствует о неблагоприятных почвенно-грунтовых условиях для роста в данном экотопе. Общим лимитирующим фактором радиального прироста болотной сосны являются погодные условия мая.

Предположение, что дефицит осадков должен положительно влиять на прирост деревьев сфагновой сплавины, не подтвердилось. Вместе с тем, выявилась обратная закономерность: положительная реакция радиального роста сосны на осадки и отрицательная на температуру мая. Объяснить этот факт пока не представляется возможным. Можно выдвинуть гипотезу, что наблюдаемое региональное изменение климата могло привести к сокращению зимнего сезона или к более раннему началу вегетационного периода, что повлияло на сроки начала ксилогенеза.

Установлено, что цикличность в рядах прироста сосны в среднем составляет от 7 до 14 лет. Очевидно, она обусловлена не только климатом, но и ценогенезом. В целом, результаты дендроклиматического анализа дают представления о климатических условиях, которые могут вызывать экспрессию или депрессию роста сосновых лесов во влажных биотопах. Требуются дальнейшие исследования по продлению дендрохронологических хронологий вглубь времен, с привлечением давно отмерших деревьев, извлеченных из торфяников.

Авторы выражают благодарность Ю.П. Демакову за консультации и всестороннюю помощь в работе.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета.

Литература

- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- Вомперский С.Э. Биосферное значение болот в углеродном цикле // Природа. 1994. №7. С. 44–50.

3. Демаков Ю.П., Сафин М.Г., Тишин Д.В. Особенности радиального прироста деревьев в климаксовых сосняках сфагновых Марийского Полесья // Дендрозология и лесоведение. Материалы всеросс. конф. Красноярск, 2007. С. 40–42.
4. Демаков Ю.П., Сафин М.Г., Швецов С.М. Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность. Йошкар-Ола: МГТУ, 2012. 276 с.
5. Искандиров П.Ю., Тишин Д.В., Чижикова Н.А. Дендроклиматический потенциал сосны обыкновенной Приволжской возвышенности Ульяновской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Т. 21, №2. С. 138–141.
6. Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение. 1990. №2. С. 3–11.
7. Кусакин А.В. Болота Марий Эл: Охрана и рациональное использование. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 200 с.
8. Оленин С.М. Радиальный прирост сосны в сфагновых сосняках в связи с вековыми солнечными циклами // Лесоведение. 1976. №2. С. 35–41.
9. 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? // Известия РАН. Сер. географическая. 2016. №3. С. 47–64. doi.10.15356/0373-2444-2016-3-47-64
10. Тишин Д.В. Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Казань, 2006. 20 с.
11. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.
12. Шиятов С.Г. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
13. Bunn A.G. dplR: Dendrochronology program library in R. R package version 1.5.6. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=dplR> (дата обращения: 14.10.2021).
14. Hammer O. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*. 2001. V. 4, iss. 1. P. 1–9.
15. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin*. 1983. V. 43. P. 69–78.
16. Holmes R.L. User's manual for program ARSTAN // *Tree-Ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and northern Great Basin*. The University of Arizona, 1986. P. 50–65.
17. Rinn F. TSAPWin – Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications, Version 0.53, User Reference. Heidelberg, 2005. 91 p.
18. Strack M. Peatlands in global change. Jyväskylä: International Peat Society, 2008. 227 p.
19. Wigley T.M., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology // *Journal of climate and applied Meteorology*. 1984. V. 23. P. 201–213. doi.org/10.1175/1520-0450.
- References**
1. Vaganov Ye.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. Dendroklimaticheskiye issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike [Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk: Nauka, 1996. 246 p.
2. Vomperskiy, S.E. Biosfernoye znachenie bolot v uglerodnom tsikle [Biospheric significance of bogs in the carbon cycle] // *Priroda [Nature]*. 1994. No 7. P. 44–50.
3. Demakov Yu.P., Safin M.G., Tishin D.V. Osobennosti radial'nogo prirosta derev'yev v klimaksovykh sosnyakakh sfgnovykh Mariyskogo Poles'ya [Features of the radial growth of trees in the climax sphagnum pine forests of the Mari Polesie] // *Dendroekologiya i lesovedeniye. Materialy vsersos. konf. Krasnoyarsk*, 2007. P. 40–42.
4. Demakov Yu.P., Safin M.G., Shvetsov S.M. Sosnyaki sfgnovyye Mariyskogo Poles'ya: struktura, rost i produktivnost' [Sphagnum pine forests of the Mari Polesye: structure, growth and productivity]. Yoshkar-Ola: MGTU. 2012. 276 p.
5. Iskandirov P.Yu., Tishin D.V., Chizhikova N.A. Dendroklimaticheskiy potentsial sosny obyknovennoy Privolzhskoy vozvshennosti Ul'yanskovskoy oblasti [Dendroclimatic potential of Scots pine in the Volga Upland of the Ulyanovsk Region] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceeding of the Samara Scientific Center of the RAS]*. 2019. No 2. P. 138–141.
6. Komin G.Ye. Primeneniye dendrokronologicheskikh metodov v ekologicheskom monitoringe lesov [Application of dendrochronological methods in ecological monitoring of forests] // *Lesovedeniye [Russian Journal of Forest Science]*. 1990. No 2. P. 3–11.
7. Kusakin A.V. Bolota Mariy El: Okhrana i ratsional'noye ispol'zovaniye [Mary Mary El: Guard and rational use]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2000. 200 p.
8. Olenin S.M. Radial'nyy prirost sosny v sfgnovykh sosnyakakh v svyazi s vekovymi solnechnymi tsiklami // *Lesovedeniye [Russian Journal of Forest Science]*. 1976. No 2. P. 35–41.
9. Solomina O.N., Kuznetsova V.V., Matskovskiy V.V., Dolgova Ye.A. Ot chego zavisit shirina godichnykh kolets derev'yev v Tsentral'noy chasti vostochno-yevropeyskoy ravniny? [What depends on the width of the annual rings of trees in the central part of the Eastern European Plain?] // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Proceeding of the RAS. Geography series]*. 2016. No 3. P. 47–64. doi.10.15356/0373-2444-2016-3-47-64
10. Tishin D. V. Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na radial'nyy prirost osnovnykh vidov derev'yev Srednego Povolz'ya [The influence of natural-climatic factors on the radial increase in the main types of Middle Volga trees]: Summary of Ph.D. (Cand. of biol.). Kazan, 2006. 20 p.
11. Shiyatov S.G. Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale [Dendrochronology of the upper border of the forest in the Urals]. Moscow: Nauka, 1986. 137 p.
12. Shiyatov S.G. Metody dendrokronologii. P. I. Osnovy dendrokronologii. Sbor i polucheniye drevesno-kol'tsevoy informatsii [Methods of dendrochronology. P. I. Basics of dendrochronology. Collection and receipt of wood-ring information]. Krasnoyarsk: KrasGU, 2000. 80 p.
13. Bunn A.G. dplR: Dendrochronology program library in R. R package version 1.5.6. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=dplR> (accessed: 14.10.2021).
14. Hammer O. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*. 2001. Vol. 4, iss. 1. P. 1–9.
15. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin*. 1983. Vol. 43. P. 69–78.
16. Holmes R.L. User's manual for program ARSTAN, in *Tree-Ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and northern Great Basin*. The University of Arizona, 1986. P. 50–65.
17. Rinn F. TSAPWin – Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications, Version 0.53, User Reference. Heidelberg, 2005. 91 p.
18. Strack M. Peatlands in global change. Jyväskylä: International Peat Society. 2008. 227 p.

19. Wigley T.M., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology // *Journal of climate and applied meteorology*. 1984. Vol. 23. P. 201–213. doi.org/10.1175/1520-0450.

Tishin D.V., Chizhikova N.A., Iskandirov P.Yu., Lebedeva G.P. **Radial increase in Scots pine annual rings under the conditions of the bogs of the Mari Polessye.**

The article presents the analysis of the width of the annual rings of the Scots pine growing in the cli-

max pine forests of the Mari Polessye («Ilyushkino» oligotrophic bog, Medvedevsky district, the Republic of Mari El, Russia). Based on the chronologies of radial growth of 25 model trees of the trial area, one generalized tree-ring chronology ILU01 (1740-2017) was obtained. Wavelet analysis of this chronology revealed cycles with periods of 7 and 14 years. Dendroclimatic analysis showed that the limiting factors for the radial growth of a bog pine are formed by the weather conditions of May. Thus, the minimum growth of annual rings of a pine in a swamp will be observed during hot and dry May of the current year.

Keywords: Scots pine; annual rings; oligotrophic bog; precipitation; temperature.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article.

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 25.11.2021

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 03.12.2021

Принята к публикации / Accepted for publication: 10.12.2021

Информация об авторах

Тишин Денис Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, Казанский федеральный университет, 420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5, E-mail: dtishin@kpfu.ru.

Чижикова Нелли Александровна, кандидат биологических наук, доцент, Казанский федеральный университет, 420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5, E-mail: kukumarian@gmail.com.

Искандиров Павел Юрьевич, аспирант, Казанский федеральный университет, 420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5, E-mail: monboruum@gmail.com.

Лебедева Гита Павловна, магистрант, Казанский федеральный университет, 420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5, E-mail: gita.lebedeva@mail.ru.

Information about the authors

Denis V. Tishin, Ph.D. in Biology, Associate Professor, Kazan Federal University, 5, Tovarishcheskaya st., Kazan, 420097, Russia, E-mail: dtishin@kpfu.ru.

Nelli A. Chizhikova, Ph.D. in Biology, Associate Professor, Kazan Federal University, 5, Tovarishcheskaya st., Kazan, 420097, Russia, E-mail: kukumarian@gmail.com.

Pavel Y. Iskandirov, Postgraduate Student, Kazan Federal University, 5, Tovarishcheskaya st., Kazan, 420097, Russia, E-mail: monboruum@gmail.com.

Gita P. Lebedeva, Master's Student, Kazan Federal University, 5, Tovarishcheskaya st., Kazan, 420097, Russia, E-mail: gita.lebedeva@mail.ru.