

УДК 630*561.24+551.583(571.55)

DOI: 10.21209/2074-9155-2018-12-2-15-19

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

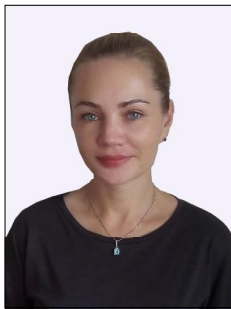
CLIMATIC RESPONSE OF RADIAL GROWTH OF PINE IN THE STEPPE ZONE OF EASTERN TRANSBAIKALIA

Проанализирована динамика радиального прироста сосен, произрастающих в степной зоне Восточного Забайкалья за период с 1817 по 2017 гг. Анализ климатического отклика между полученной обобщенной стандартизированной древесно-кольцевой хронологией, инструментальными (атмосферные осадки, температура воздуха) и рассчитанными (индекс засушливости Д. А. Педя и гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова) метеопараметрами по метеостанциям Акша и Борзя показал тесную связь со степенью увлажненности региона. В рядах приростов выявлена та же квазитридцатилетняя цикличность, что и в режиме выпадения атмосферных осадков

The dynamics of the radial growth of pines, growing in the steppe zone of Eastern Transbaikalia, for the period from 1817 to 2017 is analyzed. The analysis of the climatic response between the obtained generalized standardized tree-ring chronology and instrumental (precipitation, air temperature) and calculated (aridity index of D. A. Pedyu and hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninova) meteorological parameters at Aksha and Borzya meteorological stations has showed a close relationship with the degree moisture region. In the series of increments, the same quasi-thirty-year cyclicity was revealed as in the mode of precipitation

Ключевые слова: дендрохронология; ширина годичных колец; климат; атмосферные осадки; увлажнение; Забайкалье

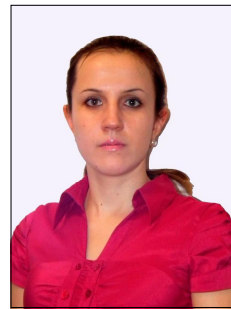
Key words: dendrochronology; width of annual rings; climate; precipitation; humidification; Transbaikalia



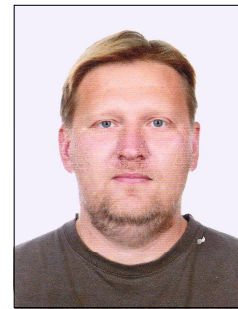
И. Л. Вахнина



В. А. Обязов



Е. В. Носкова



В. С. Мыглан



В. В. Баринов



А. В. Тайник

Введение. Древесная растительность является надежным индикатором климатических изменений. В условиях степной зоны ограничивающим фактором для накопления биомассы выступает режим увлажнения территории. Такой показатель, как радиальный прирост, на основании расчета климатического отклика позволяет выявить лимитирующие климатические факторы и дать оценку их влияния на древесную расти-

тельность за период, превышающий доступные временные ряды метеонаблюдений.

Средняя годовая температура воздуха в степной зоне Восточного Забайкалья меняется от $-1,0$ до $-2,2$ °С, а осадки в среднем за год составляют 300...380 мм. Около 90 % осадков от их годовой суммы приходится на период с мая по сентябрь. За июль-август выпадает более половины годовой суммы осадков. На исследуемой территории хорошо проявляется цикличность в режиме выпадения атмосферных осадков. В аридные фазы повышение температур воздуха приводит к значительному снижению увлажненности как вследствие уменьшения осадков, так и увеличения испарения и транспирации, что в большей степени отражается на ландшафтах степных территорий [1–3]. Древесная растительность на исследуемой территории представлена сосновыми борами, наиболее крупным из которых является Цасучейский бор (50.33 – 50.50 ° с. ш., 114.70 ... 115.40 ° в. д., 650...700 м над у. м.).

В качестве материала для исследований служили керны сосны (*Pinus sylvestris* L.), отобранные в августе 2017 г. с живых деревьев, произрастающих в Цасучейском бору, возрастными бурами Престлера. После предварительной механической подготовки образцов полученная поверхность оцифровывалась на сканере (Epson Perfection V850 Pro) или сканирующем в отраженном свете микроскопе (AXIO zoom. V16 – CARL ZEISS). Измерение ширины годичных колец у цифровых изображений, представление и анализ полученных данных выполнялись в программах Coorecorder и CDendro. Датирование древесно-кольцевых серий и статистический анализ выполнены в программах DPL и «TSAP V3.5» [6]. Возрастной тренд измеренных серий убран сплайном длиной в 2/3 от анализируемой серии в ARSTAN [4]. Инструментальные климатические данные взяты за период с 1936 по 2017 гг. по вблизи расположенным метеостанциям: Борзя (50.40 ° с. ш., 116.52 ° в. д., 675 м над у. м.) и Акша (50.27 ° с. ш., 113.27 ° в. д., 730 м над у. м.). В анализе использованы рассчитанные индекс засушливости Д. А. Педя (SI) и гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК).

Методология исследования. В работе применялись корреляционный, спектральный (Фурье) и вейвлет анализы. Для непрерывного вейвлет-преобразования использовали вейвлет Морле (Morlet). Вейвлет-когерентность вычислялась с помощью пакета *Crosswavelet and Wavelet Coherence* для MATLAB [5]. Для оценки статистической достоверности коэффициентов корреляции применялся критерий Стьюдента, спектральной плотности – критерий χ -квадрат, вейвлет-когерентности – метод Монте-Карло.

Результаты исследования. Построена обобщенная стандартизированная древесно-кольцевая хронология (ДКХ) максимальной длительностью с 1817 по 2017 г. (201 год) по 14 кернам. Анализ степени обеспеченности хронологии образцами показал, что значение $EPS \geq 0,85$ получено с 1870 г. Среднее значение RBAR – коэффициент корреляции между отдельными древесно-кольцевыми сериями в среднем составил 0,60, что свидетельствует о влиянии на прирост древесины отдельных деревьев общего доминирующего фактора. Коэффициент чувствительности стандартизированной обобщенной хронологии, отражающий степень воздействия внешних факторов природной среды – 0,37 при пороговом значении 0,20, стандартное отклонение – 0,37. Тесная связь размеров годичного кольца с условиями предшествующего года подтверждается достоверными значениями автокорреляции I порядка (0,37). Таким образом, статистические характеристики полученной древесно-кольцевой хронологии свидетельствуют о ее пригодности для использования в анализе климатического отклика.

Анализ вейвлет-колебаний приростов показал, что квазидвадцатилетние циклы прослеживаются на всем протяжении древесно-кольцевой хронологии с 1870 г. (рис. 1). Также выделяются и более мелкие циклы: 14-летние четко проявляются с 1870 по 1920 гг., а с 1920 по 2017 гг. характерны квазидесятилетние. Полученные данные подтверждены спектральным анализом, максимальная спектральная плотность в изменениях ширины годичных колец про-

является на периодах в 10, 14, 29 и 18 лет (в порядке убывания значимости).

Коэффициенты корреляции Пирсона между ДКХ и среднемесячными и годовыми значениями атмосферных осадков и температурами воздуха, усредненными по метеостанциям, показали, что наиболее значимое (при $p < 0,05$, $N=82$) влияние на прирост сосны в Цасучейском бору оказывают атмосферные осадки мая ($r=0,32$), июня ($r=0,34$) и июля ($r=0,33$). Максимальная положительная связь получена для годовой суммы осадков ($r = 0,49$). Учитывая малое количество зимних осадков, ветра и высокую инсоляцию в весенние месяцы, осадки предшествующего сезона вегетации играют

важнейшую роль для растительности в начальный период вегетации, что отражается в достоверных значениях корреляции приростов с прошлогодними осадками, составившими для июля – 0,38, августа – 0,23. Коэффициенты корреляции между ДКХ и суммой атмосферных осадков за предшествующий текущему периоду вегетации год составили 0,44. Для температур значимая связь получена только с июлем текущего года ($r=-0,28$), июлем и августом предшествующего ($r=-0,27$ и $-0,27$ соответственно). Достоверной связи между шириной колец и средней годовой температурой воздуха не выявлено.

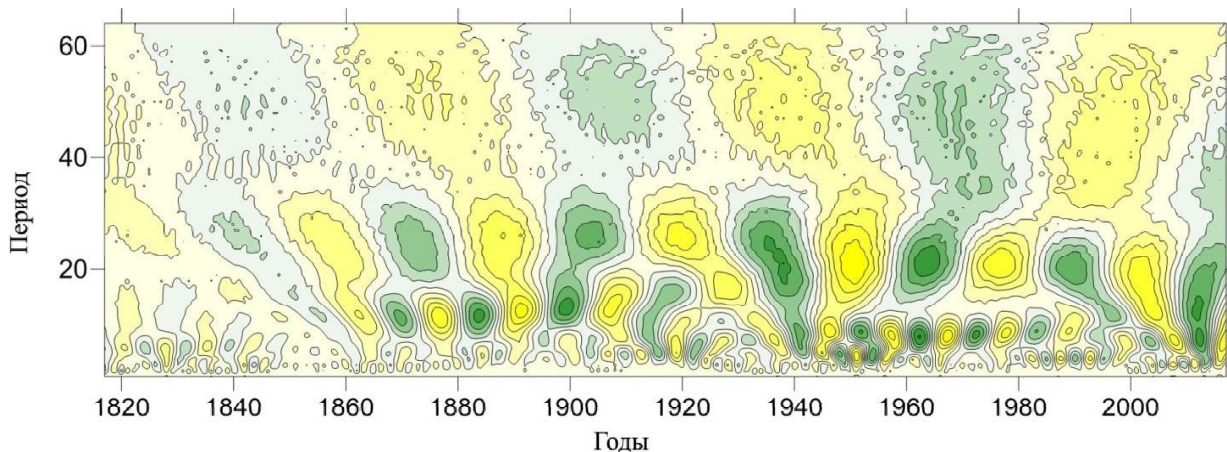


Рис. 1. Вейвлет-спектр древесно-кольцевой хронологии по соснам Цасучейского бора / Fig. 1. Wavelet spectrum of tree-ring chronology of Tsasuchey sky pinewood

Сопоставление ширины годичных колец с ГТК за период с 1976 по 2017 гг. показало, что для текущего года значимая связь (при $p < 0,05$, $N=42$) получена по обеим метеостанциям ($r=0,36$ и $0,47$), но более высокие значения корреляции выявлены для метеостанции Акша. Условия, описываемые индексом засухливости SI, оказывают значимое отрицательное влияние на прирост с мая по август включительно (r от $-0,25$ до $-0,26$).

Синхронность в изменчивости ДКХ, температуры и осадков наблюдаются на периодах около 20 лет. Особенно хорошо про-

слеживается согласованность циклических изменений в режиме выпадения атмосферных осадков и ширины годичных колец с помощью вейвлет-когерентности (рис. 2). Наибольшие статистически достоверные значения также отмечаются в полосе частот около 20 лет. Направление стрелок на этих частотах вправо указывает на отсутствие фазовых сдвигов между ними, на всем протяжении временного ряда происходят согласованные колебания. На других частотах тоже есть совпадения, но они имеют временную локализацию и фазовый сдвиг.

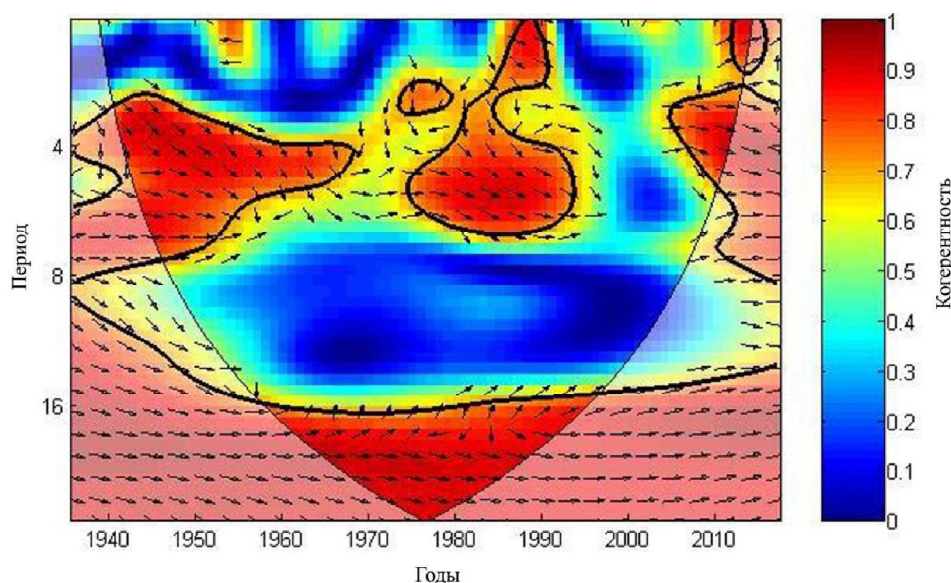


Рис. 2. Вейвлет-когерентность между рядом годовых сумм осадков и шириной древесных колец стандартизированной хронологии / Fig. 2. Wavelet coherence between a series of precipitation annual sums and width of tree rings of standardized chronology

Заключение. Таким образом, изменение ширины годичных колец *Pinus sylvestris* в степной зоне Восточного Забайкалья отражает динамику увлажненности территории региона. Наибольшее влияние на прирост оказывают атмосферные осадки, выпавшие в течение текущего года, а также в предшествующий периоду вегетации год. Достоверной связи между шириной колец и средней

годовой температурой воздуха не выявлено, она проявляется только для отдельных месяцев: июль текущего года, июль и август предшествующего. Отмечается согласованность между многолетними изменениями в режиме выпадения атмосферных осадков и динамикой ширины годичных колец в полосе частот около 20 лет.

Список литературы

1. Абакумова В. Ю., Малых О. Ф., Вахнина И. Л. Усыхание березняков российской части бассейна реки Онон в конце XX – начале XXI века // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 163–170.
2. Вахнина И. Л., Малых О. Ф. Деградация березняков бассейна реки Аргунь как показатель климатических изменений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 122–126.
3. Вахнина И. Л., Голятина М. А., Поскова Е. В. Индикаторы климатических изменений в степной зоне юго-восточного Забайкалья // Шелковый путь. Транссиб. Маршруты сопряжения: экономика, экология: сборник материалов междунар. науч.-практ. конф. и Симпозиума, посвященного 100-летию заповедного дела и году экологии в России. Чита, 2018. С. 34–37.
4. Cook E. R., Kairiukstis L. Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
5. Grinsted A., Moore J. C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlin Processes Geophys. 2004. No. 11. P. 561–566.
6. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.

References

1. Abakumova V. Yu., Malykh O. F., Vakhnina I. L. *Geografiya i prirodnye resursy* (Geography and natural resources), 2017, no. 1, pp. 163–170.
2. Vakhnina I. L., Malykh O. F. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University), 2013, no. 4, pp. 122–126.

3. Vakhnina I. L., Golyatina M. A., Noskova E. V. *Shellkovy put. Transsib. Marshruty sopryazheniya: ekonomika, ekologiya: sbornik materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. i Simpoziuma, posvyashchennogo 100-letiyu zapovednogo dela i godu ehkologii v Rossii* (Silk Road. Transsib. Interfaces: economics, ecology: collected materials of the Intern. scientific-practical conf. and the Symposium on the 100th anniversary of nature conservation and the year of ecology in Russia). Chita, 2018, pp. 34–37.
4. Cook E. R., Kairiukstis L. *Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences* (Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences). Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
5. Grinsted A., Moore J. C., Jevrejeva S. *Nonlin Processes Geophys* (Nonlin Processes Geophys), 2004, no. 11, pp. 561–566.
6. Rinn F. *TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation* (TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation). Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.

Сведения об авторах

Вахнина Ирина Леонидовна, канд. биол. наук, научный сотрудник, лаборатория географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Научные интересы: экология, дендрохронология

Обязов Виктор Афанасьевич, д-р геогр. наук, доцент, технический директор ООО НПО «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург, Россия. Научные интересы: изменения климата, гидрологический режим водных объектов

Носкова Елена Викторовна, канд. геогр. наук, младший научный сотрудник, лаборатория географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Научные интересы: изменение климата, альтернативные источники энергии

Мыглан Владимир Станиславович, д-р ист. наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия. Научные интересы: дендрохронология, дендроклиматология, палеоклиматология

Баринов Валентин Викторович, младший научный сотрудник, Сибирская дендрохронологическая лаборатория, Гуманитарный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск, Россия. Научные интересы: дендрохронология, дендроклиматология

Тайник Анна Владимировна, аспирант, младший научный сотрудник, Сибирская дендрохронологическая лаборатория, Гуманитарный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск, Россия. Научные интересы: дендрохронология, дендроклиматология

Information about the authors

Irina Vakhnina, candidate of biological sciences, researcher, Geography and Regional Nature Management laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia. Scientific interests: ecology, dendrochronology

Victor Obyazov, doctor of geographical sciences, associate professor, Technical Director of NPO “Gidrotekhproekt”, St. Petersburg, Russia. Scientific interests: climate changes, hydrological regime of water objects

Elena Noskova, candidate of geographical sciences, junior researcher, Geography and Regional Nature Management laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Vladimir Myglan, doctor of historical sciences, leading researcher, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Scientific interests: dendrochronology, dendroclimatology, paleoclimatology

Valentine Barinov, junior researcher, Natural Science Methods in Archeology, History laboratory, Humanitarian Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Scientific interests: dendrochronology, dendroclimatology

Anna Taynik, postgraduate, junior researcher, Natural Science Methods in Archeology, History laboratory, Humanitarian Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. *Scientific interests:* dendrochronology, dendroclimatology