

УДК 630; 551.58

*Н.В. Кокорина, П.Б. Татаринцев, А.М. Касаткин***РИТМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОГО ПРИРОСТА ХВОЙНЫХ ПОРОД СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

В работе дана климатическая интерпретация биологических ритмов ростовых процессов сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в условиях подзоны средней тайги. Анализ цикличности годового прироста посредством комплекснозначного вейвлета Морле выявил в дендрохронологических рядах обеих хвойных пород в основном низкочастотные устойчивые циклы с переменными периодами 27–32 года, 18–21 год и 9–11 лет, близкие к геофизическим. Путем синхронизации биологических и климатических ритмов установлена циклическая компонента климатической природы, фиксируемая биологическими индикаторами – совпадение экстремумов прироста обеих древесных пород свидетельствует об экзогенной природе сигналов, представленных комплексом внешних факторов. В числе «водителей» двадцатилетнего адаптивно-го ритма радиального роста хвойных пород могут выступать температурные режимы марта и октября, которые синхронны с ним в противофазе и характеризуются одинаковыми периодами и постоянной разностью фаз. Возможности оценки причин изменчивости древесного прироста классическими методами функции отклика ограничены ввиду отсутствия действия выраженных лимитирующих факторов, поэтому установление синхронности экзогенных циклов и биоритмов является одним из возможных способов анализа, поскольку вероятность случайной когерентности двух гармоник, относящихся к разным временным рядам, мала.

Ключевые слова: дендрохронология, сосна сибирская, пихта сибирская, вейвлет-преобразование, радиальный прирост, циклическая компонента климатической природы.

Наблюдение ростовых процессов многолетних организмов наиболее эффективно путем использования «регистрирующих» структур в виде годичных колец. Все организмы находятся в условиях ритмических изменений геофизических параметров окружающей среды, синхронизируя свои биологические циклы с природными процессами периодического характера. Знание ритмики природных процессов позволяет прогнозировать изменения отдельных характеристик биологических систем. Наиболее полно и адекватно динамику состояния лесных биоценозов характеризует древесный прирост, отражающий непосредственное влияние целого комплекса внешних факторов с учетом их взаимодействия [1], причем более значимую роль в формировании древесных колец играют условия холодного и умеренного климата [2]. Анализ цикличности дендрохронологий и метеорологических параметров, синхронности фаз и периодов временных рядов позволяет проводить климатическую интерпретацию изменений интенсивности роста древесных пород.

Материалы и методы исследования

Для выявления климатического отклика в динамике радиального роста древесных пород была проанализирована полицикличность дендрохронологических рядов сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), установлена синхронность экстремумов прироста двух древесных пород и циклических изменений погодных условий.

Отбор древесных кернов осуществлялся с шести участков в лесонасаждениях левобережья широтного отрезка Оби в подзоне средней тайги Западно-Сибирской равнинной лесорастительной страны. Территория исследования относится к гидроморфным среднетаежным ландшафтам: сфагновые болота верхового типа на олиготрофных торфяных почвах с котловинами озер сменяются дренированными участками с темнохвойными лесами на иллювиально-гумусовых подзолах [3].

Преобладающими породами на участках отбора древесных кернов являются пихта, кедр, ель с примесью осины и березы. Фитоценозы имеют естественное происхождение, произрастают по 3 классу бонитета. Средний возраст пихты на момент отбора проб – 61 год, деревьев кедр – 73 года. Участки отбора керновых образцов заложены в пихтовых и кедровых зеленомошно-ягодниковых или зеленомошно-мелкотравных ассоциациях – в трех с преобладанием пихты в составе древостоя (доля участия 5–6 единиц) с высокой долей участия кедр, в трех с долей кедр 4–5 единиц и равным участием ели и пихты. Подлесок редкий, представлен шиповником иглистым и рябиной сибирской. Поверхность почвы покрыта травянистой растительностью на 60–70 %, в моховом покрове доминируют зеленые мхи: плевроциум Шребера, гилокомиум блестящий.

Климат территории континентальный, с быстрой сменой погодных условий, особенно в переходный период – от осени к зиме и от весны к лету. Средняя годовая температура воздуха $-1,1$ °С. Самый холодный месяц года – январь, со средней температурой $-19,8$ °С, самый теплый месяц года – июль, со средней температурой воздуха $+18$ °С [4]. Крупные реки и озера сглаживают суточный и годовой ход температуры, удлиняя безморозный период [3]. Средняя продолжительность вегетационного периода – 98 дней, сумма эффективных для вегетации температур (выше 10 °С) не превышает 1400 °С.

Индексация данных измерений годичных колец 286 древесных кернов с шести участков, расположенных в пределах 10 км, проводилась в программе TSAP-Win. Для дендрохронологического анализа использовались обобщенные по древесным породам дендрохронологии второго порядка [2], полученные простым усреднением серий индивидуальных индексированных значений прироста.

При построении обобщенных дендро-кольцевых хронологий трендовая составляющая, представляющая собой результат действия почвенных условий, возраста дерева, конкурентных отношений в сообществе и прочих долговременных природных факторов, обычно устраняется методом скользящей средней. Однако данный метод характеризуется неустойчивостью за счет высокой чувствительности к экстремальным значениям годичного прироста. Кроме того, равные веса слагаемых при проведении расчетов означают, что дальним от текущего года приростам отдается такой же приоритет, как и ближним.

Идея применения для детрендривания дендрохронологических рядов метода непараметрической регрессии ядерного сглаживания заключается в «размытии» наблюдений в некоторой небольшой окрестности точки, называемой ядром. Такой подход дает возможность при оценке тренда отдавать предпочтения ближайшим значениям временного ряда. Функция регрессии определялась по формуле локально постоянной оценки [5]. Фактически данный метод позволяет восстанавливать значения тренда в любой момент времени, но поскольку для растений характерен период покоя в неблагоприятное время года, то для установления трендовой составляющей при локально постоянной оценке использовались только дискретные моменты времени.

С точки зрения вариационного анализа задачи сглаживания ядрами оптимально использование ядра Епанечникова [6]. Ширина окна сглаживания должна выбираться по внешним критериям, например, методами скользящего контроля. Однако большое количество рядов данных слишком замедляет процесс расчета обобщенных дендрохронологий, поэтому нами использовалась постоянная ширина окна $h = 6$, определенная визуально по графикам индивидуальных дендрохронологий методом подбора, на основе принципа максимальной гладкости линии тренда без чрезмерного усреднения (рис. 1).

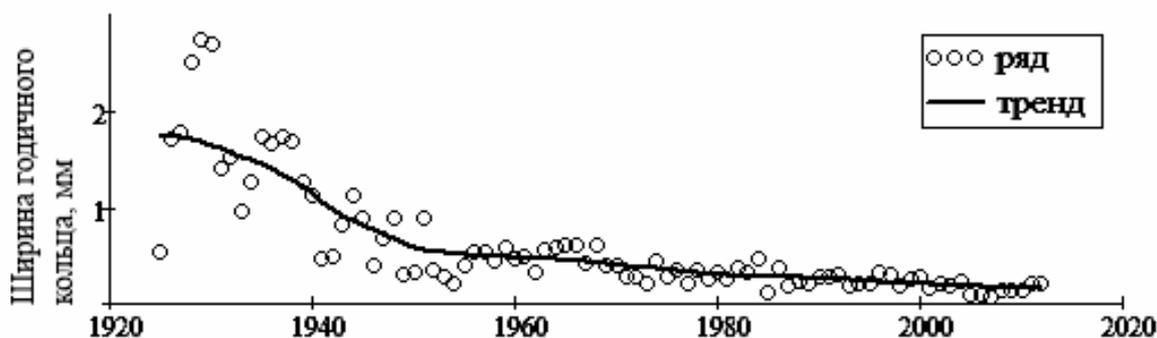


Рис. 1. Ядерная оценка тренда индивидуальной дендрохронологии кернового образца сосны сибирской (пример)

Для установления дендроклиматических связей использовалось непрерывное вейвлет-преобразование (CWT), позволяющее выявить ритмичность биологических процессов и внутривектовую цикличность погодных характеристик. Применение комплекснозначного вейвлета Морле придает преобразуемому ряду две характеристики – амплитуду и фазу (по времени и по частоте/периоду). Применение методов спектрального анализа в нашем случае обосновано тем фактом, что в условиях отсутствия факторов, жестко лимитирующих прирост растений в подзоне средней тайги, анализ линейной зависимости между отдельными метеорологическими параметрами (среднемесячными температурами и суммами осадков) и индексами радиального прироста деревьев неэффективен. Нами была

выявлена связь слабой и средней силы – коэффициенты корреляции варьировали от 0,25 до 0,42 [7]. Однако отсутствие тесной корреляции не означает полной нечувствительности роста деревьев к погодным вариациям. Зависимость в данном случае гораздо более сложная, чем линейная, определяемая функцией отклика.

Посредством авторской компьютерной программы исследования биологических ритмов [8] дендрохронологические ряды были проанализированы на временном отрезке с 1933 по 2012 г. Причиной такого ограничения явился тот факт, что регулярные наблюдения на метеостанции «Ханты-Мансийск» начались с 1933 г. Непрерывное вейвлет-разложение ряда из 80 наблюдений проводилось по циклам в диапазоне от 2 до 40 лет в логарифмической шкале по основанию 2. Периодические процессы длительнее 40 лет не исследовались ввиду недостаточного количества данных для их надежного выделения.

Вейвлет-коэффициенты рассчитывались путем интегрирования по методу Филона, элементы временного ряда рассматривались как узлы равномерной сетки действительной функции [9]. По действительной части вейвлет-коэффициентов построены поля ритмов – карты линий уровня вейвлет-преобразования. Логарифмическая шкала сетки разложения по оси периодов выбрана для более детальной прорисовки высокочастотных ритмов.

Результаты и их обсуждение

На полях ритмов индексов приростов сосны сибирской (кедра) обнаружено семь характерных колебательных процессов, на полях ритмов приростов пихты сибирской – пять (рис. 2, 3), четыре из которых являются устойчивыми, с переменными периодами: тридцатилетний (27–32 года), двадцатилетний (18–21 год), десятилетний (9–11 лет) и пятилетний (4–5 лет).

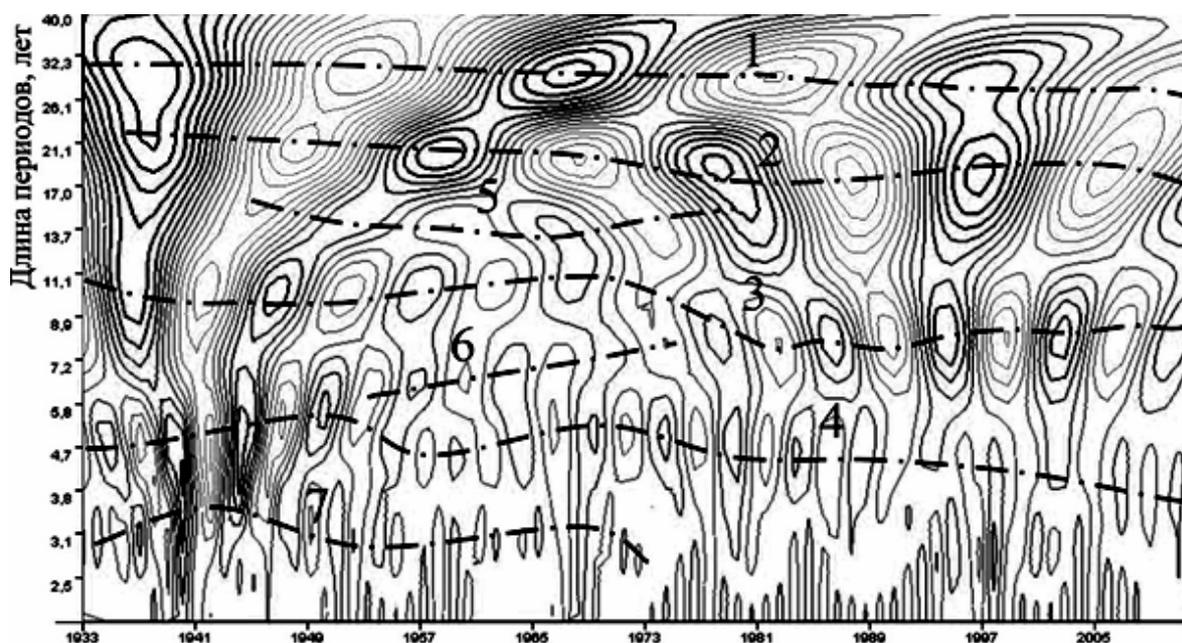


Рис. 2. Вейвлет-преобразование обобщенных рядов индексов прироста сосны сибирской
Условные обозначения: 1–7 – траектории экстремумов (аналоги скелетон), помогающие отследить миграцию колебаний по шкале периодов.

Устойчивый ритм с переменной длительностью одного полного цикла периодических колебаний от 27 до 32 лет и затухающей амплитудой можно определить как брикнеровский, со средней длительностью 30–35 лет – достаточно четко выраженный в прошлом столетии цикл чередования прохладно-влажных и засушливо-теплых климатических периодов [1]. При сравнении тридцатилетних биологических циклов ростовых процессов двух древесных пород наблюдается фазовый сдвиг от 2 до 6 лет: максимумы прироста кедра приходятся на 1937, 1967, 1997 гг., пихты – на 1940, 1973, 1999 гг.; минимумы – на 1952, 1982, 2011 и на 1957, 1987 гг. для кедра и пихты соответственно. Следует отметить, что поля

ритмов обобщенных по отдельным участкам дендрохронологических рядов кедр сохраняют повторяемость экстремумов дендрохронологии, обобщенной по породе, в то время как индексы радиального прироста пихты в разных местообитаниях демонстрируют уникальную картину экстремумов тридцати-летнего цикла.

Второй устойчивый ритм, с переменным периодом от 17 лет до 21 года и постоянной амплитудой колебаний, близок к 22-летнему магнитному циклу Хейла (рис. 2, 3). Экстремумы двадцатилетнего цикла дендрохронологий кедр и пихты характеризуются фазовым сдвигом приблизительно в 1 год.

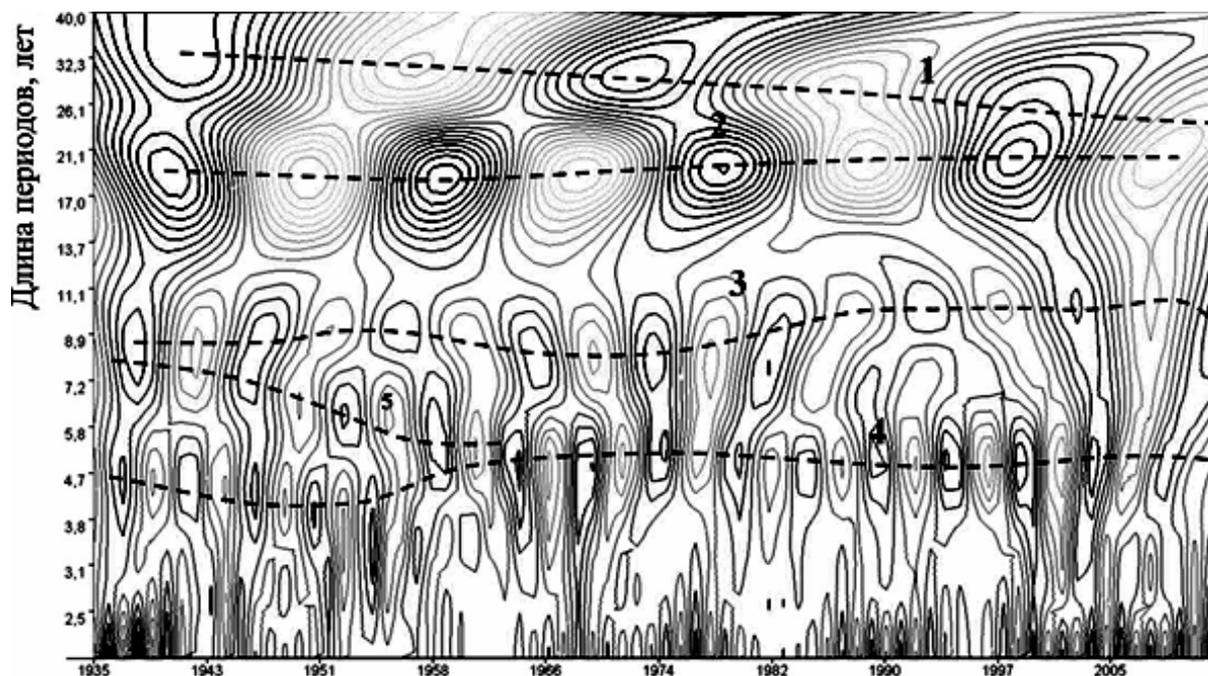


Рис. 3. Вейвлет-преобразование обобщенных рядов индексов прироста пихты сибирской
Условные обозначения: 1–5 – траектории экстремумов (аналоги скелетов), помогающие отследить миграцию колебаний по шкале периодов.

Низкочастотную цикличность годовых приростов представляет еще один устойчивый ритм с периодом от 9 до 11 лет (цикл Швабе). На рисунках вейвлет-преобразований обеих пород определяется 8 полных циклов этой компоненты, которые визуальнo приходятся на одни и те же промежутки времени, но из-за влияния случайных помех картина совпадений не вполне четкая: наблюдаются отклонения дат экстремумов индексов прироста разных пород на фоне миграции периода колебаний по извилистой траектории.

Высокочастотные циклы с длиной волны 8 лет и менее определяются разногодичной изменчивостью интенсивности роста, стадией онтогенеза или коротковолновыми колебаниями климата [10]. Цикл с периодом около 5 лет постоянно присутствует в рядах дендрохронологий обеих пород: у пихты – с постоянной амплитудой, у кедр – с затухающей. Ритм слабой амплитуды с трехлетней длиной волны в ряду индексированных приростов кедр, отмеченный на рис. 2 цифрой 7, является устойчивым, но затухшим к 1973 году.

Остальные ритмы, выявленные путем анализа спектральной плотности обобщенных серий годичных колец пихты и кедр, прослеживаются в виде пятен всплесков активности. Такие вставочные ритмы образуются в результате кратковременного возмущения годичного прироста на соответствующем периоде либо отражают отклонение основного колебания от идеальной синусоидальной формы, когда в результате компенсации возникшего искажения на спектрограмме появляются вставочные псевдоритмы. Так, вставочный ритм № 5 на рис. 2 является сигналом удлинения на 4 года фазы убывания двадцатилетнего цикла кедр на временном промежутке с 1949 г. по 1969 г., вставочный ритм № 6 – удлинением фазы убывания пятилетнего цикла кедр на промежутке с 1953 по 1961 гг. Вставочный ритм № 5 на рис. 3 указывает на нарушение высокочастотного 5-летнего ритма пихты, которое отмеча-

лось в начале 50-х годов XX столетия. В целом на промежутке с 1952 по 1970 г. наблюдается сбой гармонической ритмики, который и выдал указанные артефакты.

Реакции древесного прироста на изменения климата региональны, и у деревьев, произрастающих в сходных местообитаниях, в целом синхронны [11]. В результате сопоставления ритмов, фиксируемых биоиндикаторами и инструментальными наблюдениями за погодными условиями, был выделен двадцатилетний, характерный для цикличности индексов радиальных приростов обеих хвойных пород. Для устойчивого двадцатилетнего биологического ритма установлены синхронизированные в противофазе климатические циклы с одинаковым периодом и постоянной разностью фаз, что свидетельствует о взаимосвязанности систем. Циклическая компонента дендрохронологий темнохвойных пород обусловлена ранневесенними и позднесенними температурами: годам минимального прироста ширины годичного кольца соответствуют годы максимальных значений среднемесячных температур марта и октября (рис. 4).

По данным Ю.Н. Бочкарева и К.Н. Дьяконова [12], на севере Западно-Сибирской низменности динамика приростов деревьев зависит от разногодичной флуктуации температуры воздуха, но не прямо, а опосредованно, то есть определяется прогреванием почвы. Март и октябрь – это те месяцы, в которые средняя суточная температура переходит через 0°C , означая начало и окончание периода с положительными среднесуточными температурами, продолжительность которого составляет в среднем 187 дней.

Март по состоянию снежного покрова, низким температурам и их распределению является ещё типичным зимним месяцем. В марте резко ослабевает охлаждение почвы, и к периоду снеготаяния отрицательные теплотокки сменяются положительными [4]. Известно, что выход растения из состояния покоя (начало сокодвижения, раскрытие почек и т. д.) совпадает с действием весеннего повышения температуры, а не с удлинением фотопериода [13]. Раннее мартовское повышение температуры почвы стимулирует досрочную активизацию процессов выхода растения из состояния покоя. Поскольку период от конца устойчивых морозов до даты перехода среднесуточной температуры через 0°C может растягиваться на месяц и сопровождаться резкими суточными колебаниями температуры, то такие высокие внутрисезонные изменения температуры могут разбалансировать ход развития растений – с началом роста дерева любой период с температурой воздуха около 0°C может снижать прирост [10].

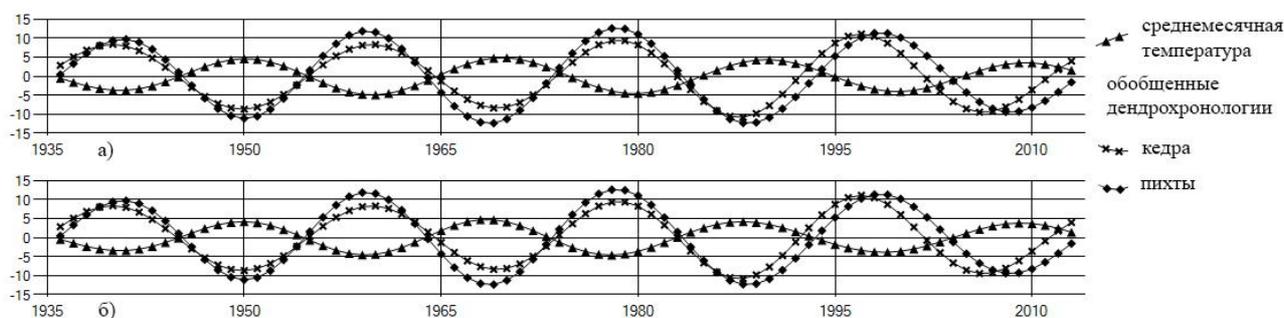


Рис. 4. Двадцатилетняя периодическая составляющая температуры марта (а), температуры октября (б) и обобщенных дендрохронологий сосны сибирской и пихты сибирской

К концу первой декады октября происходит переход средней суточной температуры через 0°C , причем понижение температуры от сентября к октябрю резкое – достигает $9\text{--}11^{\circ}\text{C}$. В октябре устанавливаются отрицательный радиационный баланс и отрицательная температура [4]. Доказано, что растения умеренных широт для нормального развития нуждаются в пониженных осенних температурах. Это критическая фаза жизненного цикла. В начале зимы растение получает необходимую дозу холода, и, вероятно, это служит сигналом для перехода из глубокого покоя в вынужденный [13]. Чередование морозов и оттепелей в этот период может снизить морозостойкость, сказаться на приростах следующего года. Степень влияния действия переменных температур на растения зависит от амплитуды колебаний, их продолжительности и фона воздействия.

Заключение

Каждое дерево в течение периода вегетации реагирует на изменения факторов окружающей среды, причем ответные реакции на изменения таких факторов, как освещенность, температура или влажность почвы, происходят достаточно быстро. Каждая такая подстройка организма под новые условия окружающей среды сказывается еле уловимым образом на росте ксилемы. Сумма всех этих незначительных изменений выражается в конце вегетационного периода одним измеряемым показателем – толщиной древесного кольца данного ростового цикла. Вычленить эффект каждого отдельного события из общей суммы не представляется возможным из-за огромного числа слагаемых. Выделение определенного фактора влияния становится вполне посильной задачей, если он доминирует в общей сумме, то есть представляет собой катастрофическое событие (пожар, наводнение, извержение вулкана, засуха, нашествие вредителей и др.), или если фактор оказывает систематическое (долговременное) влияние; тогда в общей сумме ему соответствует достаточно большое количество отдельных слагаемых, которое уже распознается по их весомому вкладу. Погодные факторы относятся к числу долговременных, но, к сожалению, неустойчивых факторов (например, температура может сильно меняться в течение дня, особенно в переходные периоды – весной, осенью). Чтобы придать метеорологическим факторам систематический характер, как правило, исследуется влияние интегральных погодных характеристик, таких как среднемесячные температуры и суммы осадков. Поскольку климатические изменения носят циклический характер, то существует возможность их выявления в биологических ритмах организмов и детектирование наиболее сильных внешних факторов воздействия.

В динамике радиального прироста *Pinus sibirica* Du Tour и *Abies sibirica* Ledeb. анализ вейвлет-периодограмм позволил выявить адаптивные длинноволновые устойчивые ритмы: 30-, 20- и 11-летний, с переменными периодами 27–32 года, 18-21 год и 9-11 лет соответственно, совпадающими с геофизическими циклами. Выявленная для разных древесных пород, произрастающих на одной территории, синхронность экстремумов прироста доказывает определенную экзогенность их происхождения. Однако, как уже было сказано, рост деревьев не является простой реакцией на изменения параметров среды обитания, в частности на флуктуации климатических условий. Двадцатилетняя цикличность радиального роста хвойных пород отражает режим весеннего и осеннего периодов перехода среднесуточной температуры через 0 °С – наблюдается противофазная синхронность с ритмикой средних суточных температур марта и октября, что дает возможность предположить, что данное внешнее по отношению к системе (фитоценозу) периодическое воздействие является одним из «водителей ритма», задающим изменения годичного прироста древесных пород с периодом около двадцати лет.

Оценка синхронности экзогенных циклов и биологических ритмов организмов является более надежным, по сравнению с корреляционными методами, способом выявления причин изменчивости изучаемого признака, поскольку вероятность случайной синхронизации (когерентности) двух гармоник, относящихся к разным временным рядам, крайне мала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С.П. Дендрохронологическая оценка фонового состояния природной среды на территории месторождений Уренгойской группы // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2011. С. 66-79.
2. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-методич. пособ. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
3. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / под ред. В.В. Плотникова. Тюмень: СофтДизайн, 1997. 288 с.
4. Физическая география и экология региона / под ред. В.И. Булатова, Б.П. Ткачева. Ханты-Мансийск, 2006. 196 с.
5. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function // Annals of Mathematical Statistics. 1956. Vol. 27. P. 832-837.
6. Епанечников В.А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятностей и ее применение. 1969. Вып. 14:1. С. 156-161.
7. Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М. Применение дендрохроноиндикационных методов в оценке воздействия сжигания попутного нефтяного газа на хвойные породы в условиях средней тайги Западной Сибири // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 1. С. 19-23.

8. Рагозин О.Н., Бочкарев М.В., Косарев А.Н., Кот Т.Л., Татаринцев П.Б. Программа исследования биологических ритмов методом вейвлет-анализа. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014611398 от 03.02.2014.
9. Калиткин Н.Н. Численные методы: справочное пособие. М.: Наука, 1978. 103 с.
10. Fritts H.C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 566 p.
11. Васильев С.В., Перегон А.М. Изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной на болотах и суходолах северной тайги Западной Сибири // Биологические ресурсы и природопользование: сб. науч. тр. Нижневартовск, 2000. Вып. 3. С. 38-51.
12. Бочкарев Ю., Дьяконов К. Дендрохронологическая индикация функционирования ландшафтов на северной и верхней границах леса // Вестн. Москов. ун-та. Сер. 5: География. 2009. № 2. С. 37-50.
13. Березина Н.А. Экология растений. М.: ИЦ «Академия», 2009. 400 с.

Поступила в редакцию 18.01.16

N.V. Kokorina, P.B. Tatarintsev, A.M. Kasatkin

RHYTHMIC LAWS OF FORMATION OF SEASONAL TREE-RINGS GROWTH OF CONIFERS AT MIDDLE TAIGA

The article gives a climatic interpretation of biological rhythms of Siberian pine (cedar) (*Pinus sibirica* Du Tour) and Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) growth at middle taiga in continental climate conditions. Estimated by complex-valued Morlet wavelet, growth recurrences are similar for both species and at the same time display stable low-frequency waves with variable wavelengths of 27–32, 18–21 and 9–11 years, thus may have geophysical nature. Using a particular method of finding biological and climatic rhythms synchronization, we have identified a climate related cyclic component of two different bio-indicators variation. Good coincidence of growth extremums indicates that these signals have exogenous origin, represented by a complex of environmental factors. Among drivers of near 20-years adaptive biorhythm we suspect March and October monthly average temperatures, having antiphase coherency with it. Features of classical approach based on response functions analysis for causal relationship estimate of tree growth are restricted without limiting factors; therefore, a technique based on the idea of establishing synchronism between exogenous cycles and biorhythms is more robust, since there is a little likelihood for accidental coherence of two harmonics related to different noisy time series.

Keywords: tree-rings chronologies, Siberian pine, Siberian fir, wavelet transformation, radial growth, climate related cyclic component of variation.

REFERENCE

1. Aref'ev C.P. [Dendrochronological evaluation of the background of the natural environment in the birth-place of the Urengoy group], *Vestn. ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, Tyumen: Izd-vo IPOS SO RAN, 2011, pp. 66-79 (in Russ.).
2. Shijatov S.G., Vaganov E.A., Kirdjanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M. and Hantemirov R.M. *Metody dendrohronologii. Chastj I. Osnovy dendrohronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'cevoj informacii: Uchebno-metodich. posobie* [Dendrochronology methods. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collecting and obtaining wood ring-in-formation: Uchebno-metodich. posobie], Krasnoyarsk: KrasGU, 2000, 80 p. (in Russ.).
3. *Ekologija Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga* [Ecology of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug], V.V. Plotnikov (ed.), Tyumen: SoftDizajn, 1997, 288 p. (in Russ.).
4. *Fizicheskaja geografija i ekologija regiona* [Physical geography and ecology of the region], V.I. Bulatov and B.P. Tkachev (ed.), Khanty-Mansiysk, 2006, 196 p. (in Russ.).
5. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function, *Annals of Mathematical Statistics*, 1956, vol. 27, pp. 832-837.
6. Epanechnikov V.A. [Non-parametric estimation of a multidimensional probability density], *Teorija verojatnostej i ee primenenie*, 1969, no. 14:1, pp. 156-161 (in Russ.).
7. Kokorina N.V., Tatarincev P.B., and Kasatkin A.M. [Application dendrohronoindikatsionnyh methods to assess the impacts of the combustion of associated petroleum gas on conifers in terms of an average taiga of Western Siberia], *Vestn. Udmurt. Univ., Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2015, vol. 25, no. 1. pp. 19-23 (in Russ.).
8. Ragozin O.N., Bockharev M.V., Kosarev A.N., Kot T.L., and Tatarincev P.B. *Programma issledovanija biologicheskikh ritmov metodom vejvlet-analiza: Svidetel'stvo o gos. registracii programmy dlja EVM № 2014611398 ot 03.02.2014* [The program is the study of biological rhythms by wavelet analysis: Certificate of state registration of the computer program № 2014611398 from 02.03.2014.] (in Russ.).
9. Kalitkin N.N. *Chislennye metody: spravochnoe posobie* [Numerical Methods: handbook], M.: Nauka, 1978, 103 p. (in Russ.).

10. Fritts H.C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 566 p.
11. Vasil'ev S.V. and Peregon A.M. [The variability of the radial growth of Scots pine in the marshes and dry-dolah northern taiga of Western Siberia], in *Sborn. nauch. tr. "Biologicheskie resursy i prirodopol'zovanie"*, Nizhnevartovsk, 2000, no. 3. pp. 38-51 (in Russ.).
12. Bochkarev Ju. and D'jakonov K. [Dendrochronological indication functioning landscape at the northern and upper boundaries of forests], *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5, Geografija*. 2009. no. 2. pp. 37-50 (in Russ.).
13. Berezina N.A. *Ekologija rastenij* [Plant Ecology.], M.: IC "Akademija", 2009, 400 p. (in Russ.).

Кокорина Наталья Васильевна,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры экологии и природопользования
E-mail: N_Kokorina@ugrasu.ru

Татаринцев Павел Борисович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры высшей математики
E-mail: pbt@ugrasu.ru

Касаткин Алексей Михайлович,
доцент кафедры экологии и природопользования
E-mail: A_Kasatkin@ugrasu.ru

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
628011, Россия, ХМАО-Югра, г. Ханты-Мансийск,
ул. Чехова, 16

Kokorina N.V.,
Candidate of Agriculture, Associate Professor
at Department of Ecology and nature management
E-mail: N_Kokorina@ugrasu.ru

Tatarintsev P.B.,
Candidate of Technical, Associate Professor
at Department of Higher Mathematics
E-mail: pbt@ugrasu.ru

Kasatkin A.M.
Associate Professor at Department of Ecology
and nature management
E-mail: A_Kasatkin@ugrasu.ru

Yugra State University
Chekhova st., 16, Khanty-Mansiysk., Russia, 628011