

УДК 630\*561.24+551.583(571.55)

И.Л. Вахнина<sup>1</sup>, В.А. Обязов<sup>2</sup>, Л.В. Замана<sup>3</sup>

## ДИНАМИКА УВЛАЖНЕНИЯ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ С НАЧАЛА XIX СТОЛЕТИЯ ПО КЕРНАМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Динамика радиального прироста годичных колец сосен степного островного бора Юго-Восточного Забайкалья в большей степени отражает изменения увлажненности региона и в меньшей – его термический режим. Наибольшая согласованность между изменениями атмосферных осадков и шириной годичных колец отмечается в полосе частот, близкой к 30-летним ритмам. Эти ритмы увлажненности, регистрируемые по метеонаблюдениям с 30-х годов прошлого века, по дендрохронологическим данным прослеживаются с середины XIX в. По древесно-кольцевой хронологии первое десятилетие текущего столетия выделяется наиболее засушливыми условиями за весь охваченный кольцевыми измерениями период.

*Ключевые слова:* сосна, годичные кольца, атмосферные осадки, климатический отклик, увлажненность, степь.

**Введение.** Изменения природной среды во многих регионах мира в последние десятилетия связывают с ростом температур воздуха (глобальным потеплением) и увеличением числа и повторяемости различных аномальных природных явлений и стихийных бедствий (засух, ливней, ураганов, снегопадов и т. п.) [IPCC, 2014]. В степной и лесостепной ландшафтно-климатических зонах, территориях слабого атмосферного увлажнения, древесная растительность находится на грани своего существования. Деревья степных боров очень чувствительны к внешнему воздействию и успешно используются для оценки климатических изменений, в особенности динамики атмосферного увлажнения. Эффективное применение сосны в качестве индикатора таких изменений в засушливых условиях подтверждено результатами дендрохронологических исследований, выполненных по Центральной лесостепи [Матвеев, 2003], степи Южного Урала [Агафонов, Кукарских, 2008], ленточным борам Алтайского края [Малышева, Быков, 2011; Рыгалова, Быков, 2015], лесостепям Алтае-Саянского региона [Магда с соавт., 2011], степной зоне Бурятии [Андреев, Тулохонов, Наурзбаев, 2001] и Юго-Восточного Забайкалья [Вахнина, 2011, 2013], а также зарубежными коллегами [Liu et al., 2013; Chen et al., 2014].

Длительность рядов метеорологических наблюдений по большинству расположенных в регионе метеостанций не превышает 100 лет, поэтому основанные на инструментальных данных выводы о динамике и направленности климатических изменений ограничены непродолжительным периодом. В связи с этим в работе поставлена цель – выявить климатический отклик в радиальном приросте сосны в условиях степного островного бора и получить представление о климатических изменениях в регионе,

в частности, о динамике атмосферного увлажнения за более длительный временной интервал.

**Материал и методы исследований.** Материалом для исследований послужили керны сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* subsp. *Krylovii* (Serg. et Kondr., 1953), преобладающей древесной породы Цасучейского бора, расположенного на юге Восточного Забайкалья по правобережью р. Онон вблизи границы России и Монголии в географических координатах 50,33°–50,50° с. ш., 114,70°–115,40° в. д. на высокой Онон-Торейской равнине (абсолютные отметки 650–700 м над уровнем моря). Бор характеризуется чистыми сосновыми древостоями. По данным Ононского лесничества в районе отбора материала для исследований средний возраст насаждений находится в пределах I–VI классов возраста, средняя высота – 5–19 м, средний диаметр от 4 до 44 см. Насаждения бора относятся к III и IV классу бонитета с полнотой древостоя от 0,3 до 1,0. Бор считается аналогом ленточных боров Западной Сибири, его общая площадь до катастрофических пожаров начала XXI в. составляла около 600 км<sup>2</sup>.

Атмосферных осадков в исследуемом районе выпадает в среднем за год 300–380 мм. На рис. 1 представлены месячные суммы атмосферных осадков и средние месячные температуры воздуха, осредненные за период с 1936 по 2014 гг. Внутри года они распределяются весьма неравномерно. Наибольшее их количество выпадает в июле (≈29%), несколько меньшее – в августе. На эти два месяца приходится более половины годовой суммы осадков. В холодный период года с октября по апрель выпадает всего 12% годовой суммы. Средняя годовая температура воздуха меняется по территории от –1,0 до –2,2 °С. Средняя месячная температура января находится в пределах от –22,5 до –27,0,

<sup>1</sup> ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, науч. с., канд. биол. н.; e-mail: vahnina\_il@mail.ru

<sup>2</sup> ООО Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», технический директор, докт. геогр. н.; e-mail: obviaf@gmail.com

<sup>3</sup> ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, вед. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: l.v.zamana@mail.ru

а июля – от 18,2 до 19,4°C. Зима малоснежная с устойчивой ясной и тихой погодой, так как в это время над территорией располагается мощный отрог сибирского антициклона. С марта по мере разрушения азиатского антициклона и увеличения температурных градиентов между холодными арктическими морями и нагревающимся материком средняя скорость ветра значительно возрастает [Носкова, Обязов, 2015]. В это же время вследствие увеличения продолжительности светового дня наблюдается наибольшая месячная продолжительность солнечного сияния [Носкова, Носков, 2016]. Эти факторы, наряду с растущими температурами воздуха, способствуют быстрому сходу маломощного снежного покрова путем испарения, поэтому зимние осадки не приводят к увлажнению почв в той мере, чтобы это могло бы оказывать влияние на прирост древесины.

Отбор кернов осуществлялся с живых деревьев буром Пресслера на высоте 1,3 м преимущественно с северной стороны по одному радиусу. Ширина годовичных колец измерялась с точностью до ±0,01 мм с помощью полуавтоматического комплекса Lintab-6. Все этапы получения древесно-кольцевых серий выполнялись в программах TSAP [Rinn, 1996] и COFECNA [Holmes, 1983]. Для стандартизации индивидуальных серий построены аппроксимирующие кривые в программе ARSTAN [Cook, 1985], индексированные индивидуальные серии объединены в обобщенную хронологию. Для оценки надежности полученных хронологий использовался индекс EPS (Expressed Population Signal) [Briffa, Jones, 1990].

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 [Grinsted et al., 2004]. Для оценки статистической достоверности коэффициентов корреляции применялся критерий Стьюдента, спектральной плотности – критерий  $\chi$ -квадрат, вейвлет когерентности – метод Монте-Карло. Данные о количестве атмосферных осадков и температуре воздуха взяты за период с 1936 г. по 2009 г. по наиболее близко расположенным метеорологическим станциям: Агинское (51,10° с. ш., 114,52° в. д., 614 м

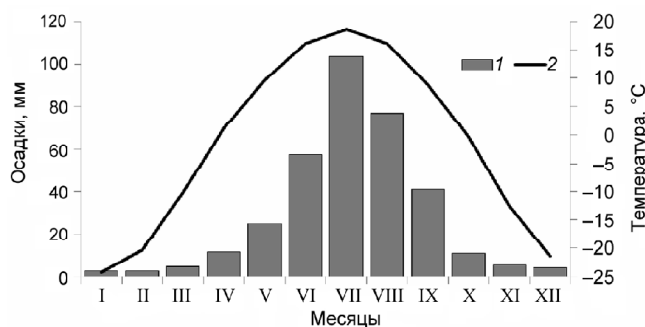


Рис. 1. Распределение месячных атмосферных осадков (1) и температуры воздуха (2) (среднее по метеостанциям Агинское, Акша и Борзя)

Fig. 1. Monthly precipitation (1) and monthly air temperature (2) averaged after the data of the Aginskoye, Aksha, and Borzya meteorological stations

над ур. м.), Борзя (50,40° с. ш., 116,52° в. д., 675 м над ур. м.) и Акша (50,27° с. ш., 113,27° в. д., 730 м над ур. м.), использованы также усредненные данные по этим станциям. Индекс засухливости А.Д. Педея (SI) и гидротермической коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) рассчитаны по метеорологическим данным станций Агинское и Борзя за 1950–2009 гг.

Индекс Педея определяется как:

$$SI = \Delta T / \sigma T - \Delta R / \sigma R,$$

где  $\Delta T(\Delta R)$  – отклонения от нормы средней месячной температуры воздуха (месячной суммы осадков);  $\sigma T(\sigma R)$  – их среднеквадратичные отклонения. При  $SI \geq 2,0$  условия атмосферного увлажнения классифицируются как засуха.

ГТК был рассчитан по уравнению  $ГТК = 10R / \Sigma t$ , где  $R$  – сумма осадков (мм) за период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °C и  $\Sigma t$  – сумма среднесуточных температур за тот же период.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В обобщенную древесно-кольцевую хронологию вошло 19 индивидуальных серий. Длительность индивидуальных хронологий варьирует от 113 до 213 лет с максимальным временным интервалом от 1797 г. до 2009 г. Статистические показатели индивидуальных и обобщенных хронологий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий (RAW – измеренная, STD – стандартизированная)

| Характеристика           | Хронологии | Серии          |      |         |            |
|--------------------------|------------|----------------|------|---------|------------|
|                          |            | индивидуальные |      |         | обобщенная |
|                          |            | min            | max  | среднее | среднее    |
| Ширина кольца, мм        | RAW        | 1,28           | 2,45 | 1,81    | 2,15       |
|                          | STD        | 0,67           | 1,46 | 1,04    | 1,30       |
| Стандартное отклонение   | RAW        | 0,31           | 0,58 | 0,43    | 0,32       |
|                          | STD        | 0,29           | 0,54 | 0,39    | 0,33       |
| Средняя чувствительность | RAW        | 0,29           | 0,54 | 0,38    | 0,32       |
|                          | STD        | 0,47           | 0,84 | 0,65    | 0,67       |
| Средняя автокорреляция   | RAW        | 0,32           | 0,66 | 0,48    | 0,44       |

Коэффициент чувствительности стандартизированной обобщенной хронологии, отражающий степень воздействия внешних факторов природной среды, по относительным различиям размеров соседних годовичных колец составил 0,32 при пороговом значении 0,2. Значение  $EPS \geq 0,85$  получено с 1823 г. Среднее значение коэффициента корреляции между отдельными древесно-кольцевыми сериями (RVAR) равно 0,53, что свидетельствует о влиянии на прирост древесины отдельных деревьев общего доминирующего фактора. Ширина годовичного кольца зависит от условий предшествующего года, что подтверждается значимым коэффициентом автокорреляции первого порядка (0,44).

В изменениях ширины годовичных колец проявляются колебания с периодической сменой серий с малыми и большими значениями (рис. 2, А). При

вейвлет-анализе стандартизированной хронологии выявляются изменения в приростах с периодичностью около 30 лет, наиболее отчетливо они прослеживаются со середины XIX века (рис. 2, Б). Квазитридцатилетние колебания с доверительной вероятностью 99% подтверждаются результатами спектрального анализа (рис. 2, В). Других стабильных, хорошо выраженных и статистически достоверных ритмов при данном уровне значимости не обнаружено.

По результатам корреляционного анализа установлено, что основное воздействие на формирование годовичных колец оказывают годовые суммы осадков и даже в большей степени – суммы осадков за период с сентября предшествующего по сентябрь текущего года (табл. 2). Значимой связи между шириной колец и средней годовой температурой

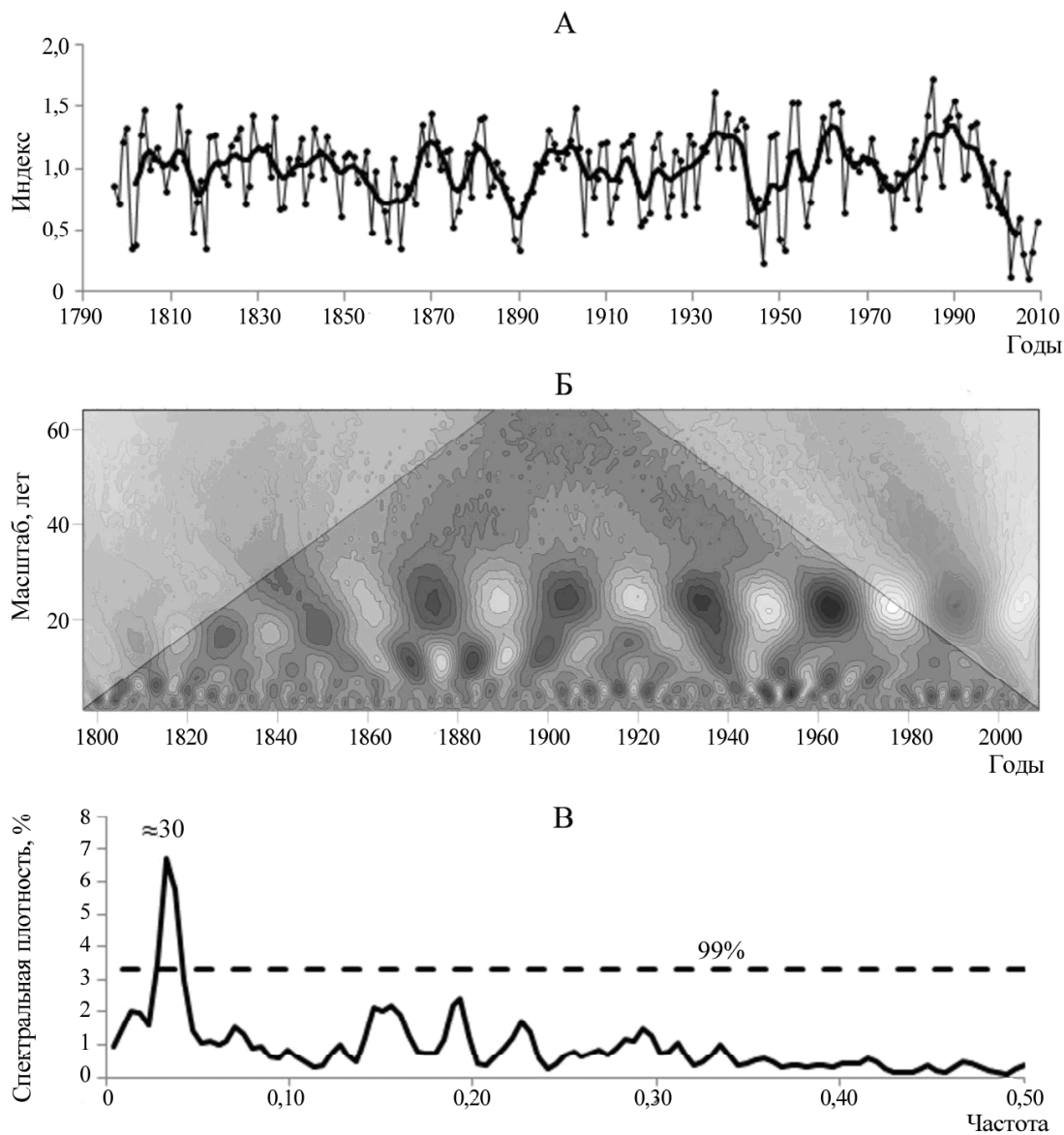


Рис. 2. Стандартизированная древесно-кольцевая хронология (А), вейвлет-спектр (Б) и спектральная плотность (В) многолетних изменений ширины годовичных колец по соснам Цасучейского бора. В вейвлет-спектре темные области соответствуют большей ширине кольца, светлые – меньшей

Fig. 2. Standardized tree-ring chronology (A), wavelet spectrum (Б) and spectral density (В) of long-term changes in the width of growth rings for the pines of the Tsasuchej forest. Dark areas in the wavelet spectrum correspond to the greater width of a ring, light areas to the lesser width

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции стандартизированной древесно-кольцевой хронологии с атмосферными осадками и температурой воздуха за 1937–2009 гг.**

| Метеостанции        | Период (месяцы) |              |              |             |              |       |             |             |
|---------------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------|-------------|-------------|
|                     | V               | VI           | VII          | VIII        | IX           | X     | I–XII       | IX–IX       |
| Атмосферные осадки  |                 |              |              |             |              |       |             |             |
| Агинское            | 0,16            | <b>0,32</b>  | <b>0,36</b>  | 0,01        | 0,02         | 0,17  | <b>0,41</b> | <b>0,44</b> |
| Акша                | 0,14            | <b>0,22</b>  | <b>0,42</b>  | <b>0,31</b> | 0,08         | 0,16  | <b>0,55</b> | <b>0,55</b> |
| Борзя               | 0,20            | 0,19         | <b>0,28</b>  | 0,18        | 0,09         | 0,11  | <b>0,41</b> | <b>0,45</b> |
| Среднее по станциям | 0,19            | <b>0,31</b>  | <b>0,44</b>  | <b>0,22</b> | 0,08         | 0,17  | <b>0,54</b> | <b>0,58</b> |
| Температура воздуха |                 |              |              |             |              |       |             |             |
| Агинское            | -0,16           | <b>-0,30</b> | <b>-0,39</b> | -0,14       | <b>-0,23</b> | -0,07 | -0,15       | -0,15       |
| Акша                | -0,18           | <b>-0,37</b> | <b>-0,43</b> | -0,16       | <b>-0,25</b> | -0,07 | -0,17       | -0,16       |
| Борзя               | <b>-0,23</b>    | <b>-0,32</b> | <b>-0,35</b> | -0,21       | <b>-0,25</b> | -0,04 | -0,13       | -0,14       |
| Среднее по станциям | -0,20           | <b>-0,34</b> | <b>-0,40</b> | -0,18       | <b>-0,25</b> | -0,06 | -0,15       | -0,16       |

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, статистически значимые при  $p < 0,05$ . В последней графе – коэффициенты корреляции с сентябрем предшествующего года по сентябрь текущего.

воздуха не выявлено. Внутри года наибольшие значения коэффициентов корреляции между индексами стандартной хронологии и суммами атмосферных осадков получены за июль, несколько меньшие – за июнь. На эти же месяцы приходится и наиболее тесная связь динамики кольцевого прироста со средними месячными температурами воздуха. Значимое отрицательное воздействие на ширину годичных колец деревьев оказывают температура воздуха в сентябре. Наиболее высокие коэффициенты связи с метеопараметрами получены по наиболее удаленной из трех метеостанции Акша, которая находится в 100 км к западу от Цасучейского бора, что объясняется положением ее на пути преобладающего западного атмосферного переноса.

Коэффициенты корреляции между стандартизированными приростами и индексом засушливости в июне и июле (-0,33 и -0,44 по данным метеостанции Борзя, -0,37 и -0,49 по станции Агинское), а также средними значениями *SI* за май–сентябрь (соответственно -0,47 и -0,57) выявили более тесную взаимосвязь с показателями увлажнения, чем с отдельными метеопараметрами (табл. 1). Значимой связи для начала (май) и конца (август, сентябрь) периода вегетации не получено. Отклик древесно-кольцевой хронологии на изменение показателя *ГТК* также подтверждается высокими положительными коэффициентами корреляции – 0,42 (Борзя) и 0,98 (Агинское).

Квазипятидесятилетняя цикличность, выявленная в изменениях ширины годичных колец, характерна и для многолетних изменений годовых сумм атмосферных осадков [Обязов, 2012]. По расчету вейвлет-когерентности наибольшая статистически значимая согласованность их колебаний на протяжении всего исследуемого временного отрезка также отмечается в полосе частот, близкой к 30-летним ритмам. Значения когерентности здесь достигают 0,8 и более.

Выполненный дендроклиматический анализ показал, таким образом, что динамика ширины годичных

колец надежно отражает условия увлажнения территории. Особенно наглядна в этом отношении первая декада текущего столетия, которая в древесно-кольцевой хронологии выделяется минимальными приростами за весь охваченный измерениями период. В это десятилетие климатические условия в большинстве лет характеризовались как очень засушливые. По станции Борзя, например, *ГТК* только трижды был более 1,0, индекс засушливости в вегетационный период дважды превышал значение 2,0 и 6 раз – значение 1,0, тогда как в предыдущий 50-летний период он был выше 1,0 лишь однажды. По данным почвенных исследований, 2001–2011 годы оцениваются как наиболее засушливые за последние сто лет [Давыдова, 2014]. Запасы почвенной влаги в полуметровом слое к концу десятилетия в Онон-Аргунской степи уменьшились в среднем до 50 мм, в результате произошло повсеместное усыхание древесных насаждений лесных защитных полос. На эти же годы приходится массовая гибель березовых лесов на юго-востоке Забайкалья [Вахнина, Малых, 2013; Kharuk et al., 2013].

Исходя из полученной хронологии, можно охарактеризовать изменения увлажненности в регионе за периоды отсутствия или недостаточности данных об атмосферных осадках. Во-первых, ритм климатических колебаний, близкий к 30 годам, установился лишь со второй половины XIX века, до этого он был несколько меньше (около 20 лет). Во-вторых, в последние 80 лет увеличилась изменчивость увлажненности – дисперсия приростов после 1930 г. почти в 2 раза больше, чем в предшествующий период. На это указывает и возросшая амплитуда энергии спектра (рис. 2, Б).

**Выводы:**

– динамика радиального прироста годичных колец сосен степного островного бора Юго-Восточного Забайкалья в большей степени отражает изменения увлажненности региона и в меньшей – его термического режима;

– наибольшая согласованность между изменениями атмосферных осадков и шириной годичных

колец отмечается в полосе частот, близкой к 30-летним ритмам. Эти ритмы, выявленные за период климатических наблюдений по инструментальным данным, по полученной дендрохронологии имеют место с середины XIX в. С 1930-х гг. амплитуды кольцевых приростов выросли, что свидетельствует об усилении климатической изменчивости и нашло подтверждение в беспрецедентно засушливых условиях в регионе в первой декаде текущего столетия.

литуды кольцевых приростов выросли, что свидетельствует об усилении климатической изменчивости и нашло подтверждение в беспрецедентно засушливых условиях в регионе в первой декаде текущего столетия.

**Благодарности.** Работа подготовлена в рамках бюджетных исследований (проект СО РАН № 79.1.2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агафонов Л.И., Кукарских В.В. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Экология. 2008. № 3. С. 173–180.

Андреев С.Г., Тулохонов А.К., Наурызбаев М. Региональные закономерности изменчивости прироста сосны в степной зоне Буриятии // География и природные ресурсы. 2001. № 1. С. 73–78.

Вахнина И.Л. Древесно-кольцевая хронология по сосне обыкновенной в региональных условиях Восточного Забайкалья // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 30. № 1–2. С. 54–56.

Вахнина И.Л. Древесно-кольцевой анализ периодичности засух в северо-восточной части Даурского экорегиона // Природоохранное сотрудничество: Россия, Монголия, Китай. 2011. № 2. С. 26–29.

Вахнина И.Л., Малых О.Ф. Деградация березняков бассейна реки Аргунь как показатель климатических изменений // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. 2013. № 4. С. 122–126.

Давыдова М.Н. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований. 2014. № 4. С. 120–125.

Магда В.Н., Блок Й., Ойдунаа О.Ч., Ваганов Е.А. Выделение климатического сигнала на увлажнение из древесно-кольцевых хронологий в горных лесостепях Алтае-Саянского региона // Лесоведение. 2011. № 1. С. 28–37.

Мальшева Н.В., Быков Н.И. Дендроклиматический анализ ленточных боров Западной Сибири // Изв. Российской академии наук. Сер. географическая. 2011. № 6. С. 68–77.

Носкова Е.В., Носков Д.Н. Пространственно-временная характеристика продолжительности солнечного сияния на территории Забайкальского края // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. 2016. Т. 22. № 1. С. 27–35.

Носкова Е.В., Обязов В.А. Ветровой режим Забайкальского края // Уч. зап. Забайкальского государственного ун-та. 2015. № 1(60). С. 115–121.

Обязов В.А. Изменения климата и гидрологический режим рек и озер в Даурском экорегионе // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты / Сборник научных трудов Госу-

дарственного природного биосферного заповедника «Даурский». Чита: Экспресс-издательство, 2012. С. 24–45.

Рыгалова Н.В., Быков Н.И. Пространственно-временная изменчивость климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий ленточных и Приобских боров // Ж. Сибирского федерального ун-та. Сер. Биология. 2015. Т. 8. № 4. С. 394–409.

Briffa K.R., Jones P.D. Measuring the statistical quality of a chronology // Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences (Ed. by E.R. Cook and L.A. Kairiukstis). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 1990. P. 137–152.

Chen F., Yuan Y., Wei W., Zhang T., Shang H., Zhang R. Precipitation reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree ring of Siberian spruce, reveals recent wetting trend // Dendrochronologia. 2014. V. 32. P. 266–272.

Cook E.R. A Time series analysis approach to tree-ring standardization. Ph. D. Dissertation. Tucson, AZ: University of Arizona, 1985. 171 p.

Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlin Processes Geophys. 2004. № 11. P. 561–566.

Holmes R.-L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring bull. 1983. V. 44. P. 69–75.

IPCC Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

Kharuk V.I., Ranson K.J., Oskorbin P.A., Im S.T., Dvinskaya M.L. Climate induced birch mortality in Trans-Baikal lake region, Siberia // Forest Ecol and Management. 2013. V. 289. P. 385–392.

Liu Hongyan, Williams P.A., Allen C.D., Guo D., Wu X., Anekhonov O.A., Liang E., Sandanov D.V., Yin Y., Zhaohuan Q.I., Badmaeva N.K. Rapid warming accelerates tree growth decline in semi-arid forests of Inner Asia // Global Change Biology. 2013. V. 19. № 8. P. 2500–2510.

Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.

Поступила в редакцию 05.03.2016

Принята к публикации 01.11.2017

I.L. Vakhnina<sup>1</sup>, V.A. Obyazov<sup>2</sup>, L.V. Zamana<sup>3</sup>

#### DYNAMICS OF HUMIDIFICATION IN THE STEPPE ZONE OF SOUTHEASTERN TRANSBAIKALIA SINCE THE BEGINNING OF THE 19<sup>TH</sup> CENTURY EVIDENCED BY THE CORES OF SCOTS PINE

Dynamics of the annual radial growth rings of Scots pine growing in the insular forest located in Southeastern Transbaikalia reflect the interannual fluctuations in humidity rather than the air temperature. Maximum consistency between the changes of precipitation and the width of annual rings is observed in

<sup>1</sup> Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Research Scientist, PhD. in Biology; e-mail: vahnina\_il@mail.ru

<sup>2</sup> Limited liability company Scientific-Production Association «Gidrotehproekt», technical Director, D.Sc. in Geograph; e-mail: obviaf@gmail.com

<sup>3</sup> Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Leading Research Scientist, PhD. in Geology and Mineralogy; e-mail: l.v.zamana@mail.ru

the frequency range of about 30-year rhythms. These rhythms of humidification are recorded by meteorological observations since the 1930-s, but according to dendrochronological data they can be traced to the middle of the 19<sup>th</sup> century. Based upon the tree-ring chronology the first decade of the 21<sup>st</sup> century has the most arid conditions during the whole period of tree-ring measurements.

*Key words:* Scots pine, tree rings, precipitation, climate response, humidification, steppe.

*Acknowledgements.* The study was undertaken within the framework of budget-financed research (SB RAS project № 79.1.2).

## REFERENCES

- Agafonov L.I., Kukarskikh V.V.* Climate changes in the past century and radial increment of pine in the Southern Ural steppe // Russian J. of Ecology. 2008. V. 39. № 3. P. 160–167.
- Andreev S.G., Tulokhonov A.K., Naurzbaev M.M.* Regional factors of variability of growth of pines in the steppe zone of Buryatia // Geography and Natural Resources. 2001. № 1. P. 49–53.
- Briffa K.R., Jones P.D.* Measuring the statistical quality of a chronology // In: Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences / Ed. by E.R. Cook and L.A. Kairiukstis. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 1990. P. 137–152.
- Chen F., Yuan Y., Wei W., Zhang T., Shang H., Zhang R.* Precipitation reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree ring of Siberian spruce, reveals recent wetting trend // Dendrochronologia. 2014. V. 32. P. 266–272.
- Cook E.R.A.* Time series analysis approach to tree-ring standardization. Ph. D. Dissertation. Tucson, AZ: University of Arizona, 1985. 171 p.
- Davydova N.D.* Dinamika pokazatelej stepnyh geosistem Yugo-Vostochnogo Zabajkal'ya v usloviyah global'nyh izmenenij klimata [Dynamics of indicators of the steppe geosystems of South-Eastern Transbaikalia under the global climate change] // Intern J. of Appl and Fundamental Research. 2014. № 4. P. 120–125 (in Russian).
- Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S.* Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlin Processes Geophys. 2004. № 11. P. 561–566.
- Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring bull. 1983. V. 44. P. 69–75.
- IPCC Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
- Kharuk V.I., Ranson K.J., Oskorbin P.A., Im S.T., Dvinskaya M.L.* Climate induced birch mortality in Trans-Baikal lake region Siberia // Forest Ecol and Management. 2013. V. 289. P. 385–392.
- Liu Hongyan, Williams P.A., Allen C.D., Guo D., Wu X., Anenkhonov O.A., Liang E., Sandanov D.V., Yi Y., Zhaohuan Q.I., Badmaeva N.K.* Rapid warming accelerates tree growth decline in semi-arid forests of Inner Asia // Global Change Biology. 2013. V. 19. № 8. P. 2500–2510.
- Magda V.N., Oidupaa O.C., Vaganov E.A., Block J.* Extraction of the climatic signal for moisture from tree-ring chronologies of Altai-Sayan mountain forest-steppes // Contemporary Problems of Ecol. 2011. V. 4. № 7. P. 716–724.
- Malysheva N.V., Bykov N.I.* Dendroklimaticeskij analiz lentochnyh borov Zapadnoj Sibiri [Dendroclimatic analysis of pine belt forest of Western Siberia] // Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Ser. geograficheskaya. 2011. № 6. P. 68–77 (in Russian).
- Noskova E.V., Noskov D.N.* Prostranstvenno-vremennaya harakteristika prodolzhitel'nosti solnechnogo siyaniya na territorii Zabajkal'skogo kraja [Spatio-temporal characteristics of sunshine duration in the Trans-Baikal Territory] // Vestnik Zabajkal'skogo gos. un-ta. 2016. V. 22. № 1. P. 27–35 (in Russian).
- Noskova E.V., Obyazov V.A.* Vetrovoj rezhim Zabajkal'skogo kraja [Wind regime of the Trans-Baikal Territory] // Uchenye zapiski Zabajkal'skogo gos. un-ta. 2015. № 1(60). P. 115–121 (in Russian).
- Obyazov V.A.* Izmeneniya klimata i gidrologicheskij rezhim rek i ozer v Daur'skom jekoregione [Climate change and the hydrological regime of rivers and lakes in the Daurian ecoregion] // Problemy adaptacii k izmeneniyu klimata v bassejnah rek Daurii: ekologicheskie i vodohozyajstvennye aspekty. Chita: Express Publ. 2012. P. 24–45 (in Russian).
- Rinn F.* TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
- Rygalova N.V., Bykov N.I.* Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' klimaticeskogo signala drevesno-kol'cevych hronologij lentochnyh i Priobskih borov [Spatio-temporal variability of climatic signal of the tree-ring chronology of pine belt and Priobie pine forests] // Zh. Sibir'skogo Federal'nogo Universiteta. Ser. Biologiya. 2015. T. 8. № 4. P. 394–409 (in Russian).
- Vakhnina I.L.* Drevesno-kol'cevaya hronologiya po sosne obyknovenoj v regional'nyh usloviyah Vostochnogo Zabajkal'ya [Tree-ring chronology of pine under regional conditions of the Eastern Transbaikalia] // Hvojnye boreal'noj zony. 2013. V. 30. № 1–2. P. 54–56 (in Russian).
- Vakhnina I.L.* Drevesno-kol'cevoj analiz periodichnosti zasuh v severo-vostochnoj chasti Daur'skogo ekoregiona [Tree-ring analysis of the frequency of droughts in the northeastern part of the Dauria ecoregion] // Prirodoohrannoe sotrudnichestvo: Rossiya, Mongoliya, Kitaj. 2011. № 2. P. 26–29 (in Russian).
- Vakhnina I.L., Malykh O.F.* Degradaciya bereznyakov bassejna reki Argun' kak pokazatel' klimaticeskij izmenenij [Degradation of birch forests in the Argun River basin as a climatic change indicator] // Vestnik Krasnoyarskogo gos. agrarnogo un-ta. 2013. № 4. P. 122–126 (in Russian).

Received 05.03.2016

Accepted 01.11.2017