

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ*

Е.А. Pinaevskaya

THE INFLUENCE OF CLIMATIC PARAMETERS ON THE FORMATION OF RADIAL GROWTH OF THE PINE ON THE NORTH BORDER OF THE AREA OF EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

Пинаевская Е.А. – мл. науч. сотр. лаб. экологии популяций и сообществ Института биогеографии и генетических ресурсов Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск. E-mail: aviatorov8@mail.ru

Pinaevskaya E.A. – Minor Research Fellow, Laboratory of Populations and Communities Ecology, Institute of Biogeography and Genetic Resources, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk. E-mail: aviatorov8@mail.ru

За последние десятилетия отмечается увеличение амплитуды колебаний температуры воздуха. Лесные экосистемы обладают значительной устойчивостью и способны поддерживать динамическое равновесие в широком диапазоне условий. Сосна обыкновенная является основным лесообразующим видом на Европейском Севере России. Реакции деревьев на условия внешней среды на севере проявляются раньше и более выражено. Комплексным показателем, который позволяет проследить изменение состояния древостоя и учесть климатическую составляющую, является радиальный прирост. В кустарничково-сфагновых сосняках на болотных верховых торфяных почвах бассейна р. Мезень (Архангельская область) проведены исследования по изучению изменчивости радиального прироста сосны обыкновенной с учетом климата. Методом дендрохронологического анализа получены хронологические ряды радиального прироста сосны за длительный промежуток времени. Установлена высокая амплитуда колебаний индекса прироста сосны. По «показателю чувствительности» индивидуальных серий сосны не установлено высоких значений, что указывает на ответную реакцию деревьев на избыточное увлажнение почв. Динамика «индекса стресса» как дезадаптирующего фактора положительна и соответствует среднему уровню (последние 30 лет). Проанализированы ряды среднегодовой температуры

воздуха, количества осадков и установлен тренд на увеличение данных параметров (по метеостанции «Мезень»). Корреляционных связей между радиальным приростом, температурой воздуха и количеством осадков предыдущего и текущего года не выявлено. Достоверные корреляционные связи установлены между относительными величинами прироста, среднемесячной температурой августа и количеством осадков марта за разные периоды времени, что положительно влияет на камбиальный рост сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв на северной границе ареала.

Ключевые слова: сосна, радиальный прирост, древесно-кольцевые хронологии, температура воздуха, осадки, избыточное увлажнение почв, Европейский Север России.

Over the past decades there has been an increase in the amplitude of air temperature fluctuations. Forest ecosystems possess considerable stability and are capable of maintaining dynamic balance in a wide criteria range. The pine is a common forest variety in the European North of Russia. Tree reactions to environmental conditions in the north are manifested earlier and more pronounced. Radial increase is a complex indicator, allowing tracing the change in the state of the stand and climate. In pine forests on marshy peaty peat soils of the basin of the river of Mezen (Arkhangelsk Region) the studies on the variability of radial

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта по областному конкурсу «Молодые ученые Поморья» (№ 03-2017-03а) и в рамках государственного задания ФИЦКИА РАН (проект № 0409-2015-0141).

growth of *Pinus sylvestris* L. taking into account the climate were conducted. The method of the dendrochronological analysis received chronological ranks of radial gain of the pine for a long period. High amplitude of the oscillations of pine growth index was established. According to the "sensitivity index" of individual series of the pine high values indicating the response of trees to excessive soil moistening were not established. The dynamics of "stress index" as readapting factor was positive and corresponded to the average level (past 30 years). The ranks of average annual air temperature, the amount of precipitation were analyzed and the trend in the increase in these parameters was established (on meteorological station "Mezen"). The correlations between radial growth and air temperature and the amount of precipitation of the previous and current year have not been revealed. Reliable correlation links have been established between relative sizes of the gain, average monthly temperature of August and the amount of precipitation of March for different periods of time positively influencing cambial growth of the pine in the conditions of constant excessive moistening of soils on northern border of the area.

Keywords: pine, radial growth, tree-ring chronologies, air temperature, rainfall, excessive moistening of soils, European North of Russia.

Введение. За последние десятилетия отмечается увеличение амплитуды колебаний температуры воздуха. Рост глобального потепления проявляется в увеличении приземной температуры воздуха на 0,74 °С по всему Земному шару с начала XX в. Дендрохронологический мониторинг занимает особое место в системе экологического мониторинга вследствие уникальности древесных колец как естественных регистраторов состояния окружающей среды за сотни и тысячи лет [1]. В настоящее время весьма актуальны дендрохронологические исследования, касающиеся прогнозных оценок изменений климатических (и других экологических) условий посредством изучения динамики ширины годичных слоев древесины [2–5].

Сосна (*Pinus sylvestris* L.) – одна из основных лесообразующих пород на территории Европейского Севера, имеет обширный ареал распространения и является привлекательным объек-

том для дендрозоологических исследований. На этой территории сосредоточен наиболее ценный генофонд лесов, определяемый запасом накопленной изменчивости краевых популяций [6]. На Севере реакции деревьев на изменения, происходящие в окружающей среде, проявляются раньше и более выражено.

Цель исследований. Оценка влияния природно-климатических факторов на рост сосны на северной границе ареала Европейского Севера России.

Задачи: выявить закономерности хронологической изменчивости радиального прироста сосны; провести анализ по климатическим параметрам (среднегодовая температура и количество осадков) в районе исследований; выявить взаимосвязи между радиальным приростом сосны и климатическими параметрами.

Методы исследований. Исследования изменчивости радиального прироста сосны обыкновенной с учетом климата проведены в кустарничково-сфагновых сосняках на болотных верховых торфяных почвах устья р. Мезень на временных пробных площадях (табл. 1). Методом случайной выборки у 64 деревьев отобраны керны древесины сосны на высоте 1,3 метра в двух взаимно перпендикулярных направлениях (С-Ю, В-З) в 2015 году. Отбор деревьев осуществлялся по методике, принятой в дендроклиматических исследованиях [3, 7]. Предпочтение отдавалось здоровым деревьям без видимых признаков повреждений. Для дендрохронологического анализа использовались средние значения радиального прироста. Получена обобщенная древесно-кольцевая хронология сосны по абсолютным значениям радиального прироста длительностью 168 лет (1846–2014 гг.). Для выявления влияния климатических факторов методом 5-летнего скользящего сглаживания рассчитан относительный индекс прироста [7] и получена индексированная древесно-кольцевая хронология (1846–2012 гг.). Рассчитывался показатель чувствительности дерева (%) к условиям внешней среды [8] и «индекс стресса» [9]. Данные по климатическим параметрам (среднегодовая температура воздуха, количество осадков) получены по данным метеостанции «Мезень».

**Краткая таксационная характеристика древостоев *Pinus sylvestris*
на пробных площадях**

Номер п/п	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Высота, м	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см
М-1	10С	75 – 150	Va	0,5	4 – 8	10 – 18
М-2	10С	85 – 170	Va	0,4	5 – 7	8 – 18
М-3	10С	60 – 160	Va	0,5	5 – 8	10 – 15

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ температурных данных (1961–2014 гг.) и количества осадков (1966–2014 гг.) по метеостанции «Мезень» показал тренд на увеличение данных параметров (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха составила $-0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$,

абсолютный минимум температуры $-3,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1966 г.), абсолютный максимум $+2,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2013 г.). Среднее значение суммы осадков за весь период составило 563 мм, минимальное – 364 мм (1969 г.), максимальное – 1207 мм (2013 г.).

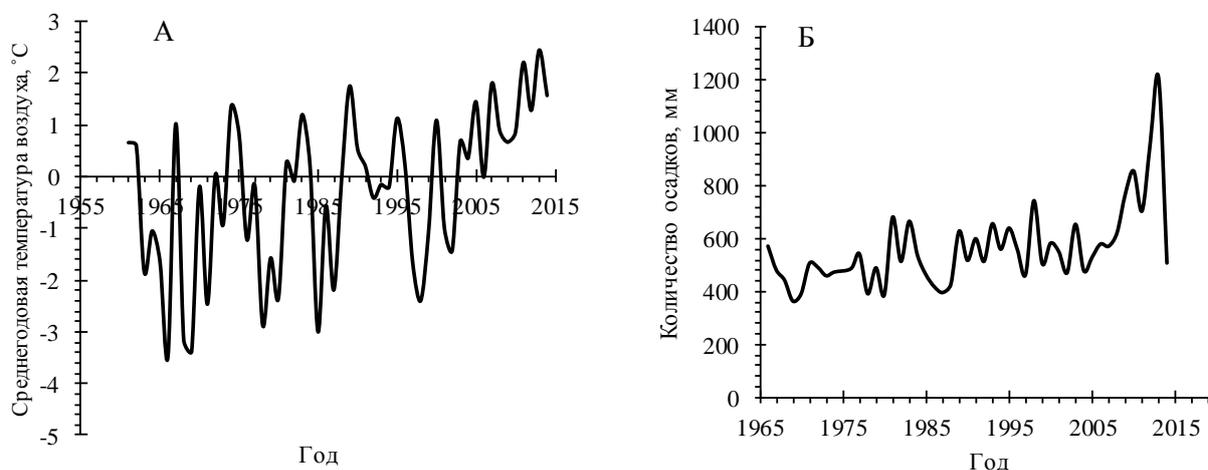


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха (А) и количество осадков (Б)
(по данным метеостанции «Мезень»)

В рамках дендрохронологического анализа были получены средние значения абсолютной величины и индекса прироста (табл. 2). Оценка надежности хронологий сосны для дендрэкологических исследований показала высокие значения ($EPS > 0,85$) [10, 11]. Во временных рядах до 60 лет отмечаются невысокие значения по радиальному приросту, далее наблюдается увеличение его величины, а со 150-летнего возраста – уменьшение (рис. 2). Индексы прироста характеризуют изменчивость сглаженных

значений радиального прироста во временном аспекте. Уровень изменчивости индекса прироста по годам низкий (10 %). Индексы прироста устраняют возрастные различия в темпах роста деревьев, а высокая амплитуда колебаний в молодом возрасте указывает на адаптационный период сосны в условиях избыточного увлажнения почв. По-видимому, на ранних стадиях онтогенеза деревьям свойственна более высокая чувствительность к действию внешних факторов, влияющих на камбиальную активность.

Изменчивость средних значений радиального прироста сосны

Абсолютная величина радиального прироста, мм	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,22±0,01
	min-max	0,06–0,49
	C.V., %	47
Индекс прироста (I), %	\bar{X}	102
	min-max	71–167
	C.V., %	10
K_s , %	\bar{X}	24
	min-max	14–31
«Индекс стресса»	$ \bar{X} \pm S_{\bar{x}} $	0,25±0,01
	min-max (величина интервала)	-0,09...+0,13 (0,04)
EPS	Радиальный прирост	0,94

Примечание: \bar{X} – среднее арифметическое значение; $S_{\bar{x}}$ – ошибка среднего значения; min-max – минимальное и максимальное значения; C.V. – коэффициент вариации; K_s – показатель чувствительности деревьев; EPS – критерий оценки надежности хронологии.

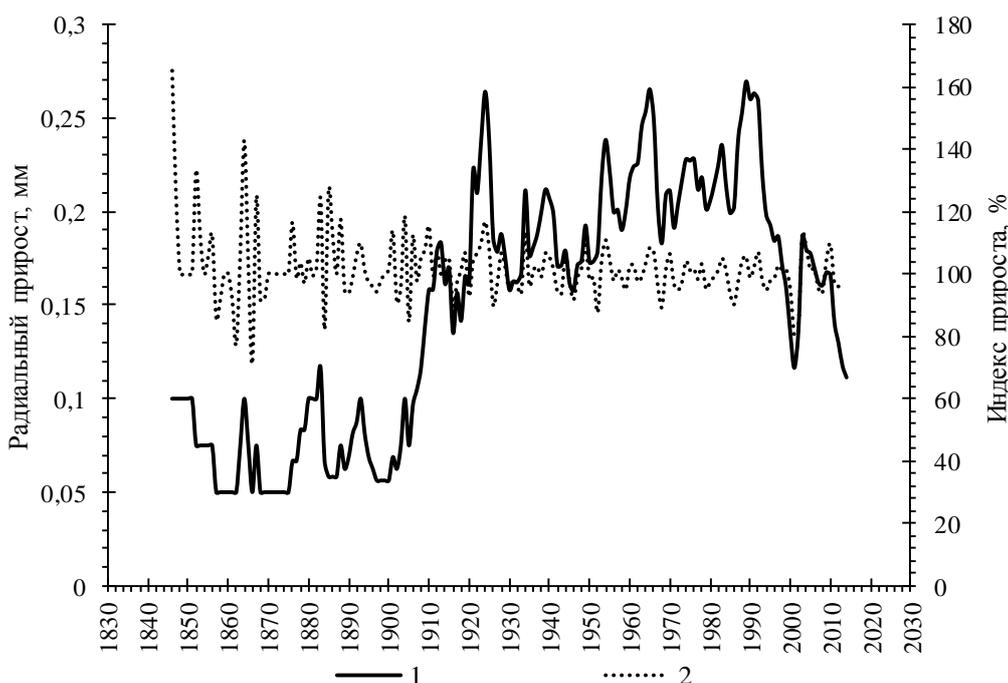


Рис. 2. Динамика абсолютных (1) и относительных (2) значений радиального прироста сосны

Показатель чувствительности индивидуальных серий сосны к воздействию факторов среды на северной границе ее ареала составляет 24 % (минимум – 15 %, максимум – 34 %). При невысоких значениях показателя чувствительности дополнительно был рассчитан «индекс стресса» (рис. 3). Данный показатель фиксирует

аномальные флуктуации, близок к нулю при устойчивом состоянии дерева и возрастает по модулю – при неустойчивом [9]. За последние 30 лет отмечается положительная динамика «индекса стресса», среднее значение по модулю соответствует среднему уровню (см. табл. 2).

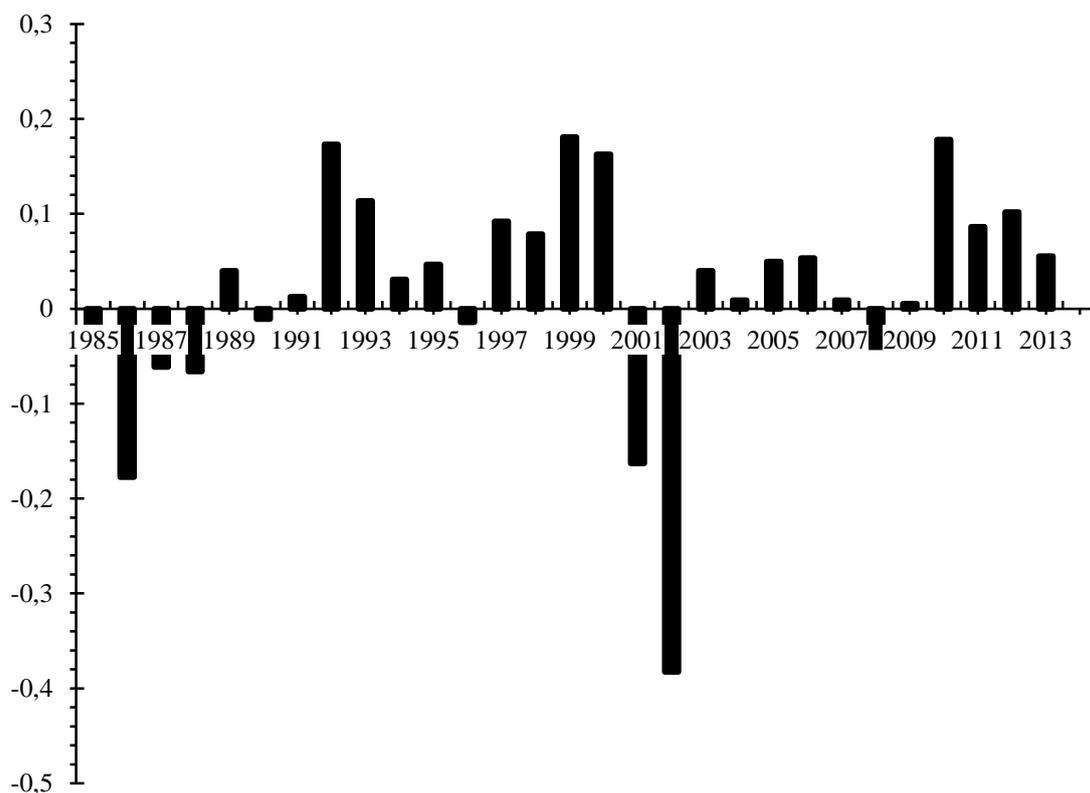


Рис. 3. «Индекс стресса» (по горизонтали – годы)

За последние 50 лет отмечается снижение радиального прироста в 1967, 1973, 1980 и 1994 гг., что обусловлено понижением температуры воздуха (до -3°C), и увеличение радиального прироста в 1983 и 1989 гг., которое вызвано ее повышением (до 2°C). Наблюдаются сдвиги и асинхронность во временных рядах радиального прироста и температуры воздуха. Повышение или понижение температуры воздуха может сопровождаться соответственно увеличением или уменьшением прироста через определенный промежуток времени. Ростовые реакции деревьев сосны на воздействие температуры воздуха на севере ареала в условиях постоянного избыточного увлажнения почв запаздывают во времени.

Достоверных корреляционных связей между радиальным приростом (в относительных ин-

дексах) среднемесячной температуры воздуха ($r = -0,20 - 0,24$) и радиальным приростом месячного количества осадков ($r = -0,39 - 0,22$) предыдущего и текущего года не выявлено. Был проведен корреляционный анализ индексов прироста сосны с температурой воздуха и количеством осадков за период с сентября предыдущего года по август текущего за разные периоды времени (рис. 4). За периоды 1992–2012 и 1972–2012 гг. установлены корреляции индексов прироста со среднемесячной температурой августа ($r = 0,31 - 0,49$, $t_r > t_{0,05}$). Температура летних месяцев оказывает прямое положительное влияние, стимулируя фотосинтез и процессы роста [12]. Установлено, что влияние температуры воздуха на прирост сосны меняется во времени и проявляется сильнее в вегетационный период.

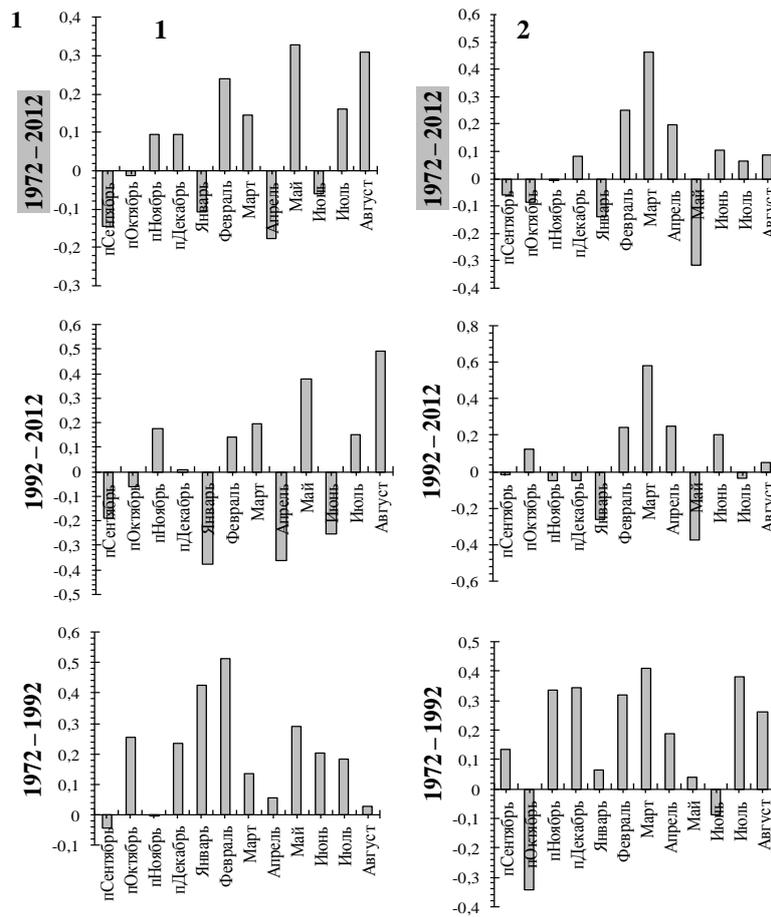


Рис. 4. Корреляция индекса прироста сосны с температурой воздуха (1) и количеством осадков (2) за разные периоды времени: приставка «n» в названии месяца обозначает предыдущий год

Выявлена положительная корреляционная связь между радиальным приростом (в относительных индексах) и количеством осадков марта за разные временные периоды ($r = 0,41-0,58, t_r > t_{0,05}$). Постоянное избыточное увлажнение почв вызывает корневую гипоксию и гипотермию у сосны, особенно в весенний и раннелетний периоды. По-видимому, относительно невысокое количество осадков в весенние месяцы может положительно влиять на величину радиального прироста сосны в неблагоприятных условиях.

Выводы

1. Относительно невысокие значения «коэффициента чувствительности» сосны указывают на ответную реакцию деревьев на стрессовые условия. В то же время постоянное избыточное увлажнение почв, вызывающее гипоксию корневой системы сосны, может в значительной степени нивелировать влияние климатических факторов.

2. Колебания температуры воздуха и количества осадков предыдущего и текущего года не вносят значимого вклада в формирование величины радиального прироста сосны в условиях избыточного увлажнения почв на севере ареала.

3. За разные временные периоды выявлен климатический отклик прироста сосны на температуру воздуха, который изменчив по годам.

4. Установлены достоверные положительные связи прироста (в относительных индексах) сосны со среднемесячной температурой августа и количеством осадков марта за длительные временные периоды.

5. Влияние метеопараметров на формирование радиального прироста сосны неодинаково, но климат-параметры (температура воздуха и количество осадков) определяют многолетнюю динамику камбиального роста деревьев.

Литература

1. Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом монито-

- ринге лесов // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3–11.
2. *Ловелиус Н.В.* Изменчивость прироста деревьев. – Л.: Наука, 1979. – 232 с.
 3. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.
 4. *Кухта А.Е., Румянцев Д.Е.* Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-Лесном государственных природных заповедниках // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2010. – № 3. – С. 88–93.
 5. *Симанько В.В., Бенькова А.В., Шашкин А.В.* Применение метода «скользящих функций отклика» для выявления влияния климатических факторов на радиальный рост деревьев // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 188–194.
 6. *Гертих М.* Генетическая ценность местной сосны обыкновенной // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: мат-лы Междунар. симп. (25–30 сентября 1989 г., Воронеж). – М., 1989. – С. 24–28.
 7. *Битвинская Т.Т.* Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.
 8. *Fritts H.C.* Tree rings and climate. – London, New York, San. Franc.: Academic Press, 1976. – 567 p.
 9. *Арефьев С.П.* Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология. – 1997. – № 3. – С. 175–183.
 10. *Cook E.R.* A time series analysis approach to tree-ring standardization. – University of Arizona, Tucson, 1985. – 171 p.
 11. *Briffa K.R., Jones P.D.* Measuring the statistical quality of a chronology // Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1990. – P. 137–152.
 12. *Бабушкина Е.А., Белокопытова Л.В.* Климатический сигнал в радиальном приросте хвойных в лесостепи юга Сибири и его зависимость от локальных условий местопроизрастания // Экология. – 2014. – № 5. – С. 323–331.
- Literatura**
1. *Komin G.E.* Primenenie dendrohronologicheskikh metodov v jekologicheskom monitoringe lesov // Lesovedenie. – 1990. – № 2. – S. 3–11.
 2. *Lovelius N.V.* Izmenchivost' prirosta derev'ev. – L.: Nauka, 1979. – 232 s.
 3. *Vaganov E.A., Shijatov S.G., Mazepa V.S.* Dendroklimaticheskie issledovanija v Uralo-Sibirskoj Subarktike. – Novosibirsk: Nauka, 1996. – 246 s.
 4. *Kuhta A.E., Rumjancev D.E.* Linejnyj i radial'nyj prirosta sosny obyknovennoj v Volzhsko-Kamskom i Central'no-Lesnom gosudarstvennyh prirodnyh zapovednikah // Vestnik MGUL. Lesnoj vestnik. – 2010. – № 3. – S. 88–93.
 5. *Siman'ko V.V., Ben'kova A.V., Shashkin A.V.* Primenenie metoda «skol'zjashhih funkcij otklika» dlja vyjavlenija vlijanija klimaticheskikh faktorov na radial'nyj rost derev'ev // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 7. – S. 188–194.
 6. *Gertih M.* Geneticheskaja cennost' mestnoj sosny obyknovennoj // Lesnaja genetika, selekcija i fiziologija drevesnyh rastenij: mat-ly Mezhdunar. simp. (25–30 sentjabrja 1989 g., Voronezh). – M., 1989. – S. 24–28.
 7. *Bitvinskaja T.T.* Dendroklimaticheskie issledovanija. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 172 s.
 8. *Fritts H.C.* Tree rings and climate. – London, New York, San. Franc.: Academic Press, 1976. – 567 p.
 9. *Aref'ev S.P.* Ocenka ustojchivosti kedrovych lesov Zapadno-Sibirskoj ravniny // Jekologija. – 1997. – № 3. – S. 175–183.
 10. *Cook E.R.* A time series analysis approach to tree-ring standardization. – University of Arizona, Tucson, 1985. – 171 p.
 11. *Briffa K.R., Jones P.D.* Measuring the statistical quality of a chronology // Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1990. – P. 137–152.
 12. *Babushkina E.A., Belokopytova L.V.* Klimaticheskij signal v radial'nom priroste hvojnyh v lesostepi juga Sibiri i ego zavisimost' ot lokal'nyh uslovij mestoproizrastanija // Jekologija. – 2014. – № 5. – S. 323–331.