

УДК 581.54

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ ЗАСУХ В ХРОНОЛОГИИ ЕЛИ ИЗ КИСЛИЧНОГО ТИПА ЛЕСА ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Д.Е. РУМЯНЦЕВ, *проф. МГУЛ, д-р. биол. наук*⁽¹⁾,

А.Е. КУХТА, *Институт Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, канд. биол. наук*⁽²⁾

Д.В. ПУЧИНСКАЯ, *мл. науч. сотрудник Института Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН*⁽²⁾

dendro@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

Изменчивость радиального прироста ели Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике уже неоднократно становилась объектом внимания исследователей. Но в этих работах не использовался подход, связанный с корреляционным анализом рядов метеопараметров и рядов, характеризующих динамику радиального прироста. Исследованию сопряженности колебаний радиального и линейного прироста сосны обыкновенной, а также климатических факторов, их обуславливающих, было посвящено исследование А.Е. Кухты и Д.Е. Румянцев (Кухта, Румянцев, 2010). Актуальность продолжения исследований в этом направлении видится в том, что с того момента прошел заметный промежуток времени, и, в частности, наблюдалась масштабная засуха 2010 г. Целью данного исследования являлась оценка ее влияния на ширину годичного кольца и сравнение ее масштабов с засухами прошлых лет. В результате чего были сделаны выводы о том, что изменчивость радиального прироста ели на исследуемой пробной площади содержит выраженный климатический сигнал, связанный с колебанием уровня температур в начале и в конце вегетационного периода. А остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал с периодичностью около 5 лет. Распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого года. Полученные результаты имеют прогностическую ценность: на основании данных о температурах октября и температурах апреля можно предсказывать успешность роста ели в текущем календарном году еще в самом начале вегетационного сезона. С учетом периодичности колебания индекса водного дефицита можно предсказывать развитие засух и, в частности, прогнозировать формирование физиологически значимых засушливых условий.

Ключевые слова: ель, климатический сигнал, радиальный прирост, засуха, дендрохронология, дендроклиматология.

Изменчивость радиального прироста ели Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике уже неоднократно становилась объектом внимания исследователей [1, 2]. Совершенствованию методических аспектов реконструкции естественных нарушений в еловых лесах по данным дендрохронологической информации посвящена работа [3]. В этих работах не использовался подход, связанный с корреляционным анализом рядов метеопараметров и рядов, характеризующих динамику радиального прироста.

Исследованию сопряженности колебаний радиального и линейного прироста сосны обыкновенной, а также климатических факторов, их обуславливающих, было посвящено исследование А.Е. Кухты и Д.Е. Румянцева [4].

Исследования влияния климатических факторов на прирост ели в условиях ЦЛГПБЗ методом корреляционного анализа ранее выполнялись Д.Е. Румянцевым и П.Г. Мельником [5, 6]. Ими исследовались ряды общей ширины годичного кольца и ряды доли поздней древесины в годичном кольце. Достоверных корреляций средами доли поздней древесины в годичном кольце авторами обнаружено не было. Достоверные значения коэффициентов корреляции были обнаружены между хронологиями и рядами по таким показателям, как осадки января (ельник черничный – значение коэффициента корреляции 0,34), осадки августа (ельник липовый – 0,32; ельник черничный – 0,38; ельник кисличник – 0,47); осадки сентября (ельник липовый – 0,39); температура мая (ельник липовый – 0,39; ельник черничный – 0,41); температура сентября (ельник

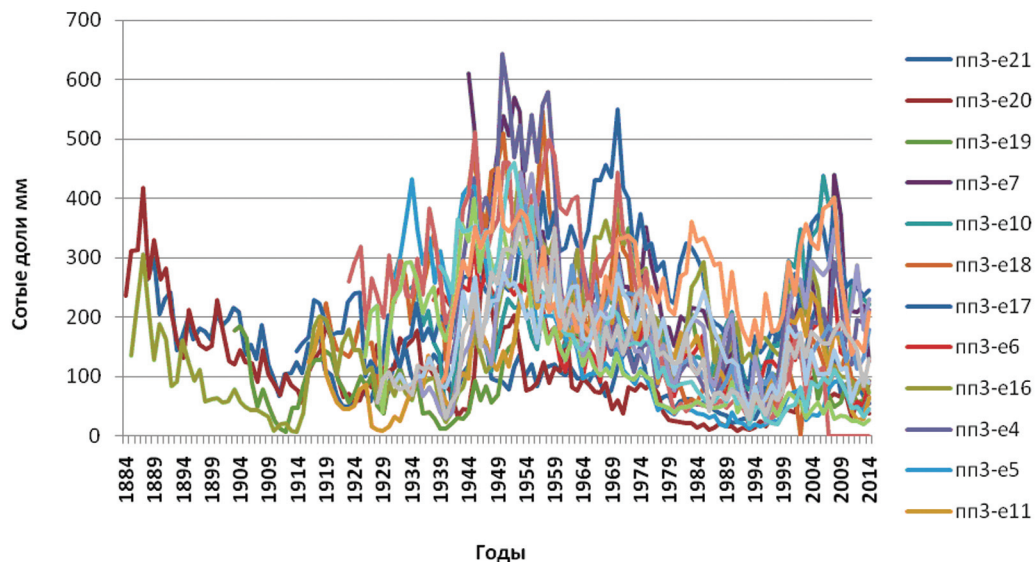


Рис. 1. Динамика ширины годичного кольца у деревьев ели на пробной площади 3 по годам
Fig. 1. Dynamics of tree ring width of spruce trees at plot 3 by the years

липовый – 0,37). Актуальность продолжения исследований в том, что прошел заметный промежуток времени и, в частности, наблюдалась масштабная засуха 2010 г. Исследование её влияния на структуру годичного кольца и на основе индикационных показателей оценка ее масштабов в экофизиологическом смысле слова по сравнению с засухами прошлых лет было целью данного исследования.

Отбор образцов древесины нами производился с помощью бурава Пресслера по одному буровому керну с каждого учетного дерева на высоте 1,3 м по произвольно взятому радиусу. Направление отбора керна при этом фиксировалось. Если на высоте 1,3 м была расположена мутовка, то место отбора образца смещалось на 10 см выше или ниже намеченного. Отобранные образцы укладывались в бумажные конверты специальной формы, которые этикетировались.

На исследуемой пробной площади основной древостой представлен елью обыкновенной количестве 80 % объема по запасу, в количестве 10 % по запасу здесь произрастают береза и осина. В подлеске присутствуют лещина, вяз шершавый, клен остролистный, крушина обыкновенная, жимолость лесная, рябина, липа. В подросте присутствует ель. В живом напочвенном покрове были отмечены следующие виды: кислица обыкновенная, ожика волосистая, зеленчук желтый, звезд-

чатка жестколистная, майник двулистный, седмичник европейский, хвощ лесной, черника, осока волосистая, мниум волнистый, голокучник Линнея трехраздельный, костяника, печеночница благородная, медуница северная, борец северный и др.

Измерения ширины годичных колец проводились в лаборатории дендрохронологии Института географии РАН с помощью прибора Lintab-6 с точностью до 0,01мм; для контроля за правильностью измерений выполнялась перекрестная датировка в программе TSAP-Win. Полученные в результате древесно-кольцевые хронологии отражают графики на рис. 1.

Видно, что ширина годичного кольца у деревьев ели существенным образом варьирует. Близкими к минимальным значениями характеризуется учетное дерево 6. Стабильно высокими значениями характеризуется, например, учетное дерево 1.

Полученные индивидуальные хронологии были сглажены расчетом 11-летнего скользящего среднего, и на их основе рассчитана средняя хронология, приведенная на рис. 2.

На основании рис.2 можно предположить существование 43-летнего цикла изменчивости прироста: минимум 1911 – максимум 1954 – минимум 1997. В последние годы насаждение находится в фазе роста ветви цикла

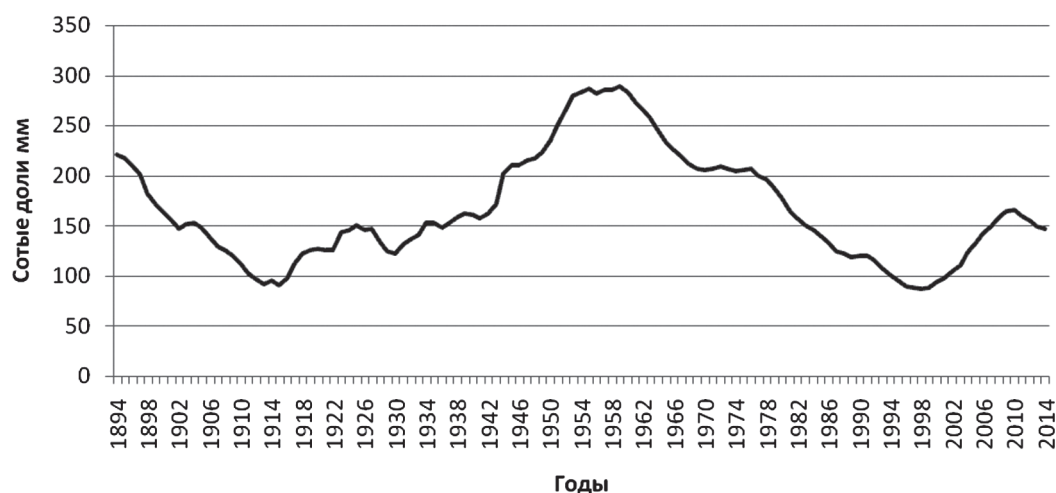


Рис. 2. Динамика 11-летней средней ширины годичного кольца по годам
Fig. 2. Dynamics of 11-year annual tree ring width by the years

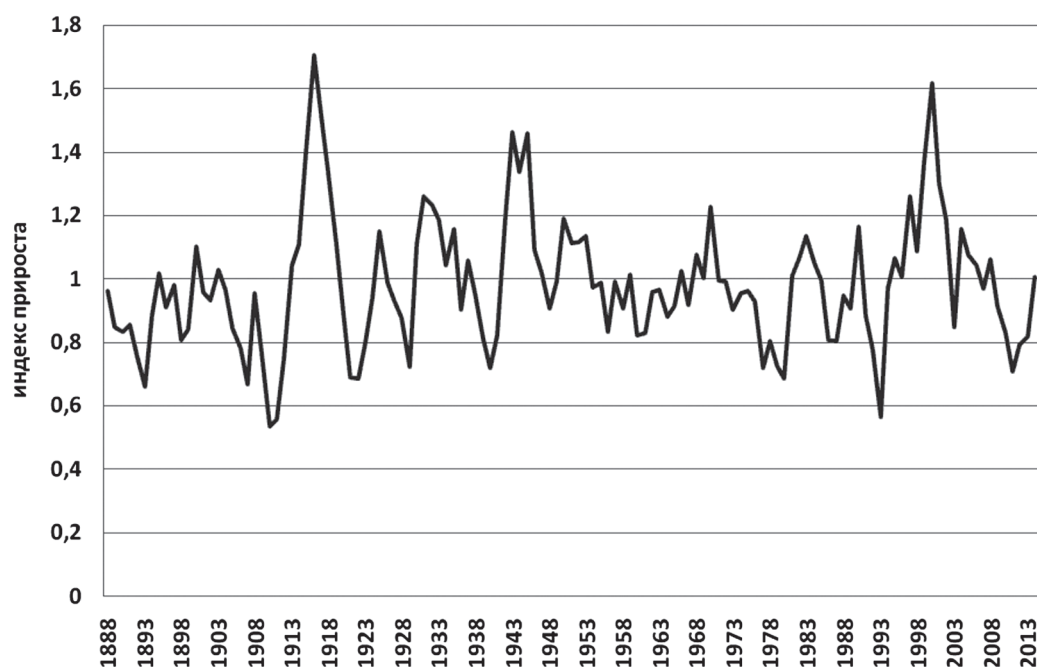


Рис.3. Динамика индексов радиального прироста ели по годам
Fig. 3. Dynamics of indexes of spruce radial growth by the years

и должно характеризоваться относительно высокой устойчивостью вплоть до 2040 г.

Индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца были преобразованы в во временные ряды индексов прироста отнесением ширины годичного кольца к средней ширине годичного кольца за последние 5 лет [7]. Результаты расчета приведены на графике (рис. 3).

Для выявления климатической обусловленности колебаний индексов радиального прироста был использован корреляционный

анализ, а также данные метеостанции Центрально-лесного заповедника за 1970–2011 гг. При числе степеней свободы 40 у уровня доверительной вероятности 0,95 достоверны значения коэффициентов корреляции от 0,30 [8]. Для уровня доверительной вероятности 0,99 пороговое значение коэффициента корреляции составляет 0,40 и выше.

Результаты выполненных расчетов отражены в табл. 1. Из данных таблицы видно, что достоверная на уровне 0,95 корреляция обнаружена со среднемесячными температу-

Значения коэффициентов корреляции между индексами прироста ели и метеопараметрами текущего и прошлого календарного года
The means of correlation coefficients between the indexes of spruce growth and meteoroparameters of calendar and previous year

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячная температура года формирования годичного кольца	0,25	0,15	0,14	0,48	0,26	0,06	0,29	0,17	0,19	0,38	0,13	0,09
Месячная сумма осадков года формирования годичного кольца	0,06	0,28	0,1	-0,04	-0,22	0,1	-0,11	-0,3	-0,31	0,12	0,07	-0,1
Среднемесячная температура в год, предшествовавший году формирования годичного кольца	0,29	0,07	-0,09	0,38	-0,17	0,22	0,2	-0,14	0,11	0,52	-0,15	0,22
Месячная сумма осадков в год, предшествовавший году формирования годичного кольца	0,02	0,05	-0,18	-0,13	-0,19	-0,08	0,16	0,1	-0,28	0,1	-0,14	0,21

рами апреля и октября. При этом корреляция с температурами октября календарного года формирования годичного кольца биологически необъяснима, ведь формирование годичного кольца в этот период уже полностью завершилось. Если принять уровень доверительной вероятности 0,99, то в таблице остаются только два достоверных и физиологически объяснимых значения коэффициента: корреляция с температурами октября прошлого года ($r = 0,52$) и корреляция с температурами апреля в календарный год формирования годичного кольца ($r = 0,48$). Повышенные температуры в этот период положительно сказываются на величине радиального прироста.

Наши выводы совпадают с данными, полученными Н.В. Ловелиусом и соавторами [9]. Исследование измерения прироста ели европейской в подзоне тайги проводилось с использованием индексов аномальности прироста. Индекс аномальности прироста представляет отношение величины метеопараметра (температура, осадки) в год с большим приростом (положительное отклонение от нормы более 10 %) к величине в год малого прироста (аналогичное отрицательное отклонение). Индексы аномальности у ели в подзоне южной тайги имеют два наиболее выраженных экстремума – апрель, ноябрь. В результате дается заключение о том, что наиболее существенным образом на прирост ели в районе исследования влияет температура воздуха накануне периода покоя и перед началом вегетации.

Известно, что конец вегетационного сезона у древесных растений умеренной зоны сопровождается прохождением ими процедуры закаливания, переводящей растение в состояние зимнего покоя [10]. Регуляция этих процессов со стороны внешней среды осуществляется на основе фотопериодических и термопериодических механизмов. Наши данные, как и данные Н.В. Ловелиуса, говорят о том, что условия входа растения в состояние зимнего покоя и выхода из него могут быть наиболее критичными для состояния деревьев ели и такого его индикатора как величина радиального прироста.

С помощью линейного регрессионного анализа был смоделирована динамика индексов радиального прироста, было получено уравнение вида

$$Y = 0,6592 + 0,0431 \cdot T_{10-1} + 0,0369 \cdot T_4$$

где T_{10-1} – температура октября прошлого календарного года, °C

T_4 – температура апреля текущего календарного года, °C

Результаты моделирования отражает рис. 4

Несмотря на то, что модель имеет относительно невысокие значения коэффициента детерминации (0,42), ряды на рис. 4 визуальнo демонстрируют хороший уровень сопряженности колебаний прироста. Вычитанием из реальных значений индексов радиального прироста его расчетных значений был получен временной ряд отклонений, отраженный на графике рис. 5.

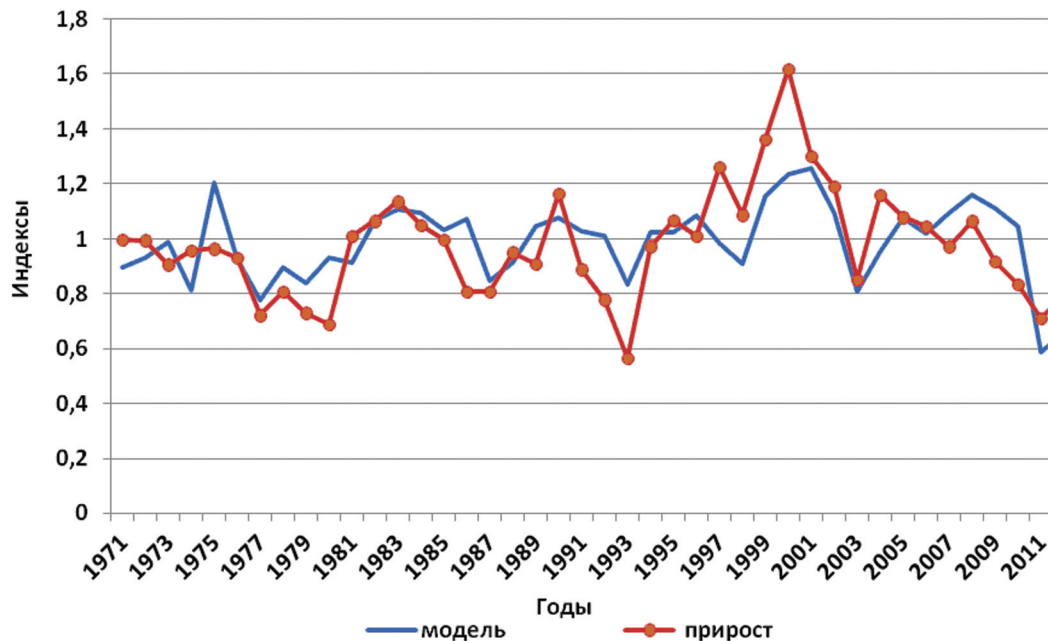


Рис. 4. Динамика реальных значений индексов радиального прироста и модельных расчетных значений индексов прироста

Fig. 4. Dynamics of actual means of radial growth indexes and of model means of growth indexes

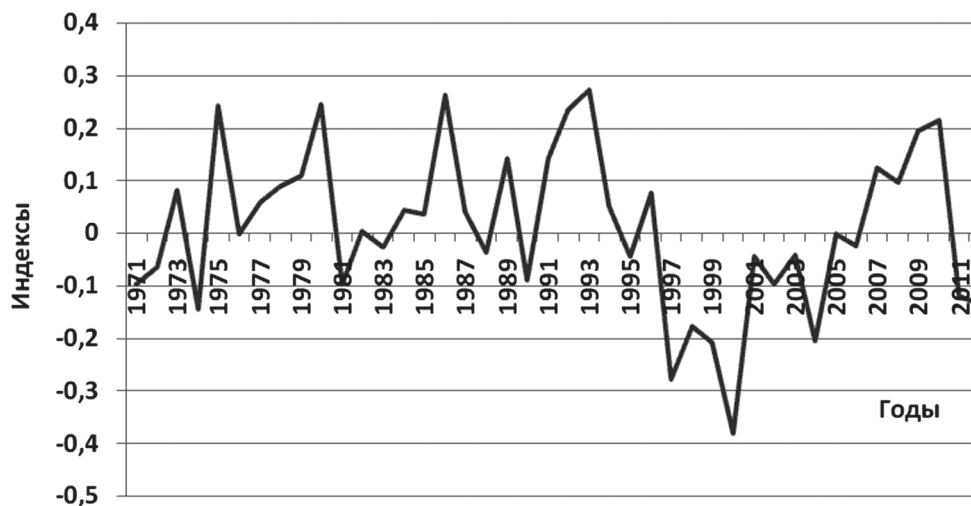


Рис. 5. Динамика отклонений реальных значений индексов прироста от расчетных по годам

Fig. 5. Dynamics of deflections of actual means of growth indexes from the calculated growth indexes by the years

Путем преобразования значений отклонений на рис. 5 в модульные значения был получен ряд, отраженный на рис. 6. Его значения получены путем извлечения квадратного корня из квадрата значений ряда на рис. 5.

При анализе динамики графика на рис. 6 обращает на себя внимание наличие лет полного соответствия между реальными значениями прироста и данными модели, когда расхождения между ними близки к нулю – 1976, 1982 и 2005. Необходимым условием такого соответствия является максимально

обильное атмосферное увлажнение в июне (рис. 7), в 1976, 1982 и 2005 наблюдались максимальные значения суммы осадков за июнь. Однако это условие является необходимым, но недостаточным: нулевые отклонения наблюдаются не во все годы с максимальной суммой осадков за июнь, что объяснимо и может быть связано с формированием засушливых условий на других этапах роста. В любом случае очевидно, что компонента прироста, динамика которой отражена на рис. 5–6, представляет собой засухозависимый показатель.

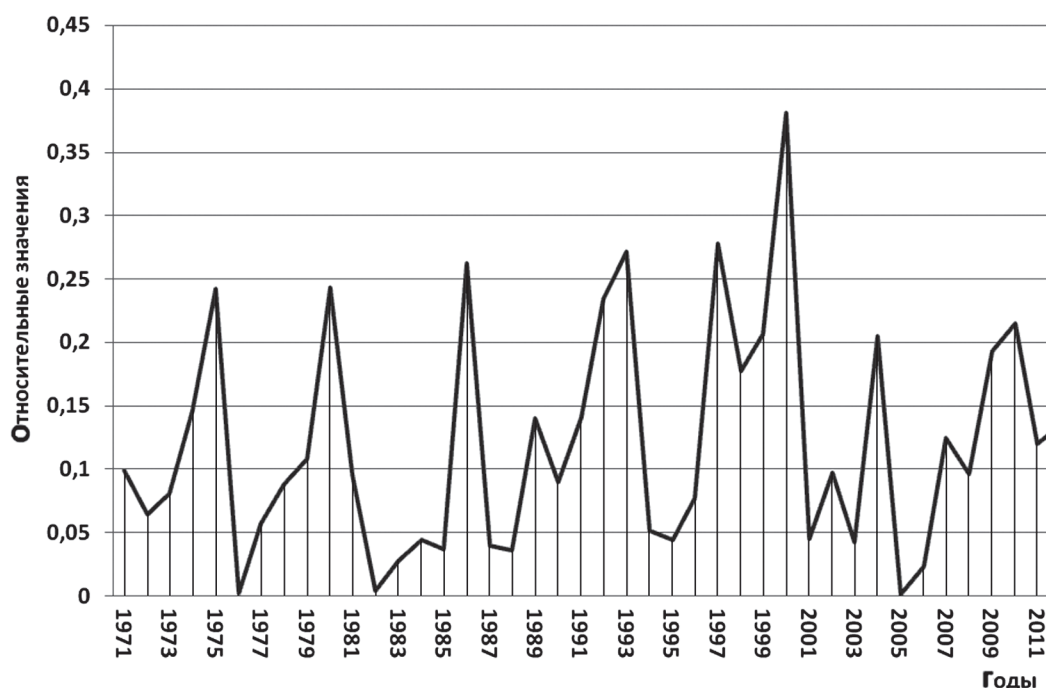


Рис. 6. Динамика модульных значений отклонения реальных индексов прироста от прогнозируемых линейной регрессионной моделью

Fig. 6. Dynamics of deflection module means of actual growth indexes from the means predictable by the linear regression model

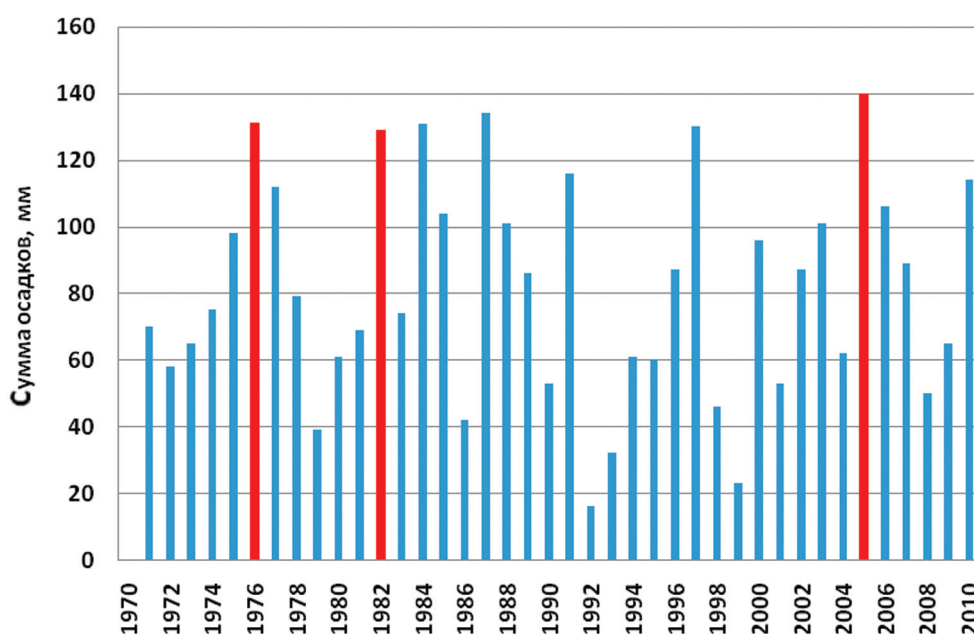


Рис. 7. Динамика месячной суммы осадков за июнь по годам

Fig. 7. Dynamics of month precipitation sum in June by the years

Вторым подтверждением этому служит ряд максимумов отклонений: 1975–1980–1986–1992+1993–1997– 2000–2004–2009+2010. Средний временной интервал между максимумами отклонений составляет 5 лет. В этот ряд попали две известные засухи 1992 и 2010 г., но не попала засуха 1972 г. Методом визуального анализа вре-

менных рядов увлажнения мы попытались подобрать показатель, обладающий аналогичным распределением лет локальных экстремумов прироста во времени. Одним из относительно совпадающих показателей является объединенная сумма осадков за июнь в год формирования годичного кольца и в прошлом году.

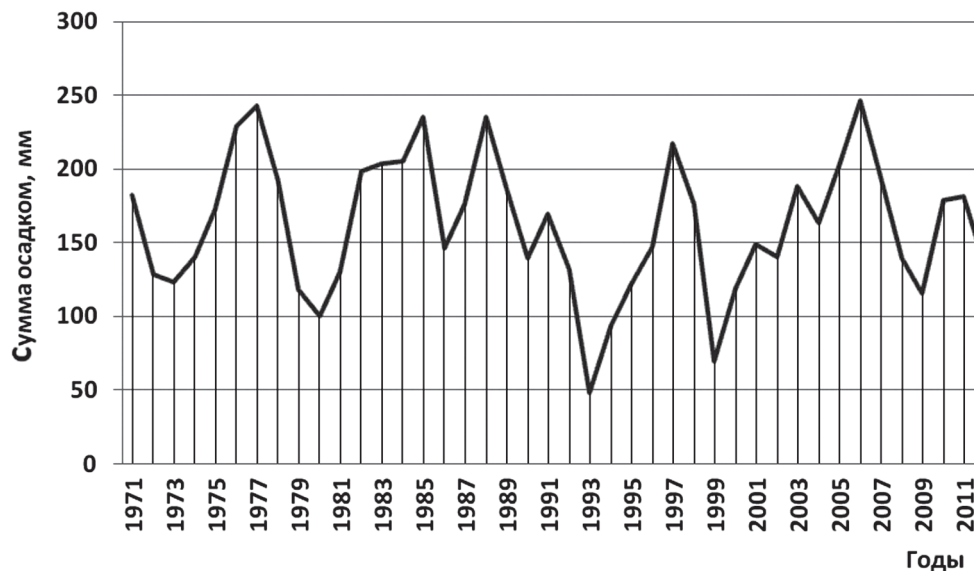


Рис. 8. Динамика суммы сумм осадков июня текущего и прошлого года
Fig. 8. Dynamics of month precipitation sum in June of the calendar and previous year

График рисунка демонстрирует наличие локальных минимумов прироста в 1980, 1986, 1992+1993 гг., а также в 2009. Участок с 1993 по 2009 он описывает ненадежно. Если вернуться к графику на рис. 5, то видно, что в это время реальный прирост имел противоположные по знаку отклонения от расчетных значений линейной регрессионной модели и наблюдался на фоне наиболее благоприятных для роста ели условий начала и конца вегетации. Это в некоторой степени компенсировало отрицательное влияние засух на прирост и модифицировало характер засухозависимой компоненты климатического сигнала в хронологии.

Подводя итог исследованию, можно сделать следующие выводы:

1. Изменчивость радиального прироста ели на исследуемой пробной площади в пределах кисличного типа леса Центрально-лесного заповедника содержит выраженный климатический сигнал, связанный с колебанием уровня температур в начале и в конце вегетационного периода. Линейная регрессионная модель объясняет 42 % изменчивости индексов радиального прироста и демонстрирует хорошее визуальное совпадение динамики прироста по годам.

2. Остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал с

периодичностью около 5 лет. Распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого года.

3. Полученные результаты имеют прогностическую ценность – на основании данных о температурах октября и температурах апреля можно предсказывать успешность роста ели в текущем календарном году еще в самом начале вегетационного сезона. С учетом периодичности колебания индекса водного дефицита можно предсказывать развитие засух и, в частности, прогнозировать формирование физиологически значимых засушливых условий в 2015–2016 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 14-17-00645) в Институте географии РАН, Московском Государственном Университете леса и в Институте глобального климата Росгидромета и РАН.

Библиографический список

1. Буюк, А.В. Сравнительный анализ динамики радиального прироста ели. / А.В. Буюк, В.Г. Карпов // Факторы регуляции экосистем еловых лесов. – Л.: Наука, 1983. – С. 65–78.
2. Пугачевский, А.В. Ценопопуляции ели: структура, динамика, факторы регуляции. / А.В. Пугачевский. – Минск: Навука и техника, 1992. – 204 с.

3. Пукинская, М.Ю. К методике изучения естественных нарушений в еловых лесах по дендрохронограммам. / М.Ю. Пукинская // Ботанический журнал, 2014 (№ 6). – С. 690–701.
4. Кухта, А.Е. Линейный и радиальный прирост сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-лесном государственных природных заповедниках. / А.Е. Кухта, Д.Е. Румянцев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. № 3. – С. 88–93.
5. Румянцев, Д.Е. Влияние экологических факторов на формирование технических свойств древесины ели в условиях Тверской области. / Д.Е. Румянцев, П.Г. Мельник // Известия высших учебных заведений – Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 8–34.
6. Александрова, М.С. Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях. / М.С. Александрова, В.В. Коровин, С.А. Коротков и др. – М.: МГУЛ, 2007. – 138 с.
7. Румянцев, Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. / Д.Е. Румянцев. – М.: МГУЛ, 2010. – 107 с.
8. Лакин, Г.Ф. Биометрия. / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
9. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений. / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 232 с.
10. Ловелиус, Н.В. Анализ естественной изменчивости радиального прироста ели европейской в подзоне южной тайги. / Н.В. Ловелиус, Н.И. Лайранд, А.А. Яценко-Хмелевский // Экология и защита леса: межвуз сб. научн. Тр. Л.: ЛТА, 1990. – С. 35–39.

CLIMATICAL SIGNAL OF DROUGHTS AT THE NORWAY SPRUCE CHRONOLOGY FROM OXALIS ACETOSELLA SITE IN CENTRAL FOREST RESERVE

Rumyantsev D.E., prof. MSFU ⁽¹⁾; **Kuhta A.E.**, Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS ⁽²⁾; **Puchinskaya D.V.**, Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS ⁽²⁾

dendro@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU) 1st. Institutskaya, 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

⁽²⁾ Institute of Global climate and Ecology of Russia Hydrometeorology and RAS

Spruce radial growth variability in Central Forest Natural Biosphere State reserve was investigated by some scientists. But all these works did not use the correlation analysis of meteorological parameters and of radial growth dynamics. The investigation of correlation between the radial and linear growth fluctuations of Scots pine, and the climatic factors which cause them was made by A.E. Kuhta and D.E. Rumyantsev (Kuhta, Rumyantsev, 2010). The need for continuation of the investigation is conditioned by the fact that a considerable period of time passed after the moment and in particular the great drought took place in 2010 year. The goal of this investigation was to establish the impact of this drought on ring width and to compare this indicator with the parameters of drought in recent years. As a result, the conclusion about the presence of the strong climatic signal in spruce chronology at the investigated plot was made. Climatic signal is closely related to the fluctuation of temperatures at the beginning and at the end of vegetation period. And the residual component calculated by means of subtraction of actual radial index growth from the model means of radial index growth includes the drought-resistant signal with the period of nearly five years. The distribution of years of local growth extremums at this component demonstrates the clear relation with the distribution of extremums in June precipitation sum by the years, and also the extremums in June precipitation sums of the calendar year and of the previous calendar year. The obtained results can be used for prognosis: on the basis of temperatures in October and April it is possible to predict the fruitfulness of spruce growth in the current year at the beginning of vegetation season. Taking into account periodical fluctuations of water deficit index it is possible to predict the development of droughts and in particular to predict the formation of significant drought conditions.

Keywords: spruce, climate signal, radial growth, drought, dendrochronology, dendroclimatology.

References

1. Buyak A.V., Karpov V.G. *Sravnitel'nyy analiz dinamiki radial'nogo prirosta eli* [Tree-ring analysis of spruce]. Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov [The factors of spruce forest ecosystem stability]. Leningrad, Science, 1983. pp.65-67.
2. Pugachevskiy A.V. *Tsenopopulyatsii eli: struktura, dinamika, faktory regulyatsii* [Spruce cenopopulations: structure, dynamics, function]. Minsk, Science and Technology, 1992. 204p.
3. Pukinskaya M.Yu. *K metodike izucheniya estestvennykh narusheniy v elovykh lesakh po dendrokronogrammam* [For methodic of investigation of spruce forest disturbances by dendrochronology]. Botanical Journal, 2014, № 6. pp.690-701
4. Kukhta A.E., Rumyantsev D.E. *Lineyny i radial'nyy prirost sosny obyknovennoy v Volzhsko-Kamskom i Tsentral'no-Lesnom gosudarstvennykh prirodnnykh zapovednikakh* [Linear and radial growth of Scots pine form Volzhsko-Kamsky and Central forest reserve]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2010, № 3. pp.88-93
5. Rumyantsev D.E., Mel'nik P.G. *Vliyaniye ekologicheskikh faktorov na formirovaniye tekhnicheskikh svoystv drevesiny eli v usloviyakh Tverskoy oblasti* [The role of ecological factors in processes of technical qualities of spruce timber in Tver region]. Forest Journal, 2009, № 2. pp.8-34.
6. Aleksandrova M.S., Korovin V.V., Korotkov S.A., Krylov A.M., Lipatkin V.A., Rumyantsev D.E., Nikolaev D.K., Mel'nik P.G., Stonozhenko L.V. *Dendrokronologicheskaya informatsiya v lesovodstvennykh issledovaniyakh* [Dendrochronological information in forest investigations]. MSFU, 2007. 138 p.
7. Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokronologii* [History and methodology of forest dendrochronology]. MSFU, 2010. 107 p.
8. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow: High education school, 1990. 352 p.
9. Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Forest trees physiology]. Moscow: Forest industry, 1983. 232 p.
10. Lovelius N.V., Layrand N.I., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Analiz estestvennoy izmenchivosti radial'nogo prirosta eli evropeyskoy v podzone yuzhnoy taygi* [The investigation of natural variability of Norway spruce radial growth]. Ecology and forest protection. Leningrad: Forestry academy, 1990. pp. 35-39.