

УДК 630*181.65

UDC 630*181.65

**ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ
ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
PINUS SYLVESTRIS L. В СВЕЖИХ
ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
ХРЕНОВСКОГО БОРА**

**DENDROCLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF
THE NATURAL FOREST AND FOREST
PLANTATIONS OF SCOTS PINE *PINUS
SYLVESTRIS L.* IN DRY-MOIST SITE
CONDITIONS OF THE KHRENOVOE PINE
FOREST**

Матвеев Сергей Михайлович
д.б.н., профессор

Matveev Sergey Mikhailovich
Dr.Sci.Biol., professor

Таранков Владимир Иванович
д.б.н., профессор

Tarankov Vladimir Ivanovich
Dr.Sci.Biol., professor

Шурыгин Юрий Николаевич
аспирант
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Shurygin Yury Nikolaevich
postgraduate student
*Voronezh State Academy of Forestry Engineering,
Voronezh, Russia*

Проведен дендроклиматический анализ радиального прироста естественных и искусственных древостоев сосны обыкновенной Хреновского бора, произрастающих в свежих лесорастительных условиях. Выявлена циклическая динамика прироста, слабая выраженность низкочастотной амплитуды колебаний у искусственных древостоев. Прямая корреляционная связь с атмосферными осадками возросла за последние 40 лет в сложных субборах – до 0,48 – 0,50

Dendroclimatic analysis of stands of radial increment of the natural forest and forest plantations of Scots pine in the Khrenovoe pine forest, growing in dry-moist site conditions is conducted. Cyclic dynamics of increment, weak expression of the low-frequency oscillation amplitude in the plantations stands is revealed. Direct correlation with precipitation has increased over the past 40 years, in complex subboron – to 0,48 – 0,50

Ключевые слова: РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ,
СОСНА ОБЫКНОВЕННАЯ, АТМОСФЕРНЫЕ
ОСАДКИ, СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ,
ЦИКЛИЧНОСТЬ

Keywords: RADIAL INCREMENT, SCOTCH PINE,
PRECIPITATION, SOLAR ACTIVITY, CYCLES

Дендроклиматические исследования влияния лимитирующих факторов на радиальный прирост сосновых древостоев в различных географических и лесорастительных условиях в последние годы получили довольно широкое распространение. Исследования ведутся как в нашей стране (в т. ч. – в засушливых регионах [1, 5 и др.] в древостоях естественного и искусственного происхождения [2, 3 и др.]) так и за рубежом [6, 7, 8 и др.].

Хреновской бор – уникальный форпост сосновых лесов на границе степной и лесостепной зон. Он произрастает на песчаных террасах левого берега реки Битюг. Особенностью бора является удаленность от крупных

промышленных предприятий и автотрасс, локальное распространение рекреационных нагрузок.

Старовозрастные насаждения естественного и искусственного происхождения являются незаменимыми объектами для изучения, позволяющими наиболее полно оценить динамику прироста, степень воздействия климатических факторов и тем самым охарактеризовать современное состояние древостоев и фитоценоза в целом.

К настоящему времени интенсивная хозяйственная деятельность в Хреновском бору привела к значительному сокращению доли естественных насаждений сосны (сохранилось не более 10% от площади лесного массива) и, соответственно, относительному увеличению площади лесных культур и средневозрастных насаждений.

Интенсивная вырубка и изреживание до полноты 0,3 – 0,4 спелых сосновых древостоев привела к значительному обеднению типологического ряда естественных сосняков.

Поставив целью дендроклиматическое исследование роста и развития естественных и искусственных древостоев сосны в Хреновском бору, мы уже с трудом подбирали единичные участки естественных древостоев возрастом более 100 лет в свежих борах и субориях, а сохранившиеся участки сухих боров и суборей – только низкополнотные (0,3 – 0,4).

Исследования проведены на пробных площадях, заложенных в свежих лесорастительных условиях, различающихся по почвенному плодородию: боры (A_2), тип леса сосняк травяной; субори (B_2), тип леса сосняк травяной с дубом; сложные субори (C_2), тип леса сосняк дубово-снытьевый. Во всех типах лесорастительных условий подобраны участки естественных и искусственных сосняков. Возраст древостоев 100 – 120 лет, полнота 0,6, бонитет I.

Все искусственные древостои – чистые сосняки, естественные – с примесью дуба до 5 единиц в составе (в сложных субориях). Подлесок имеется во всех насаждениях и представлен в основном бузиной красной, кленом татарским и зеленокорым. Густота подлеска увеличивается с возрастанием плодородия почвы.

Для дендрохронологического анализа на каждой пробной площади отобрано по 12 образцов (кernов) древесины.

Для датирования и измерения ширины годовичных колец мы использовали измерительную лупу и микроскоп МБС – 9 с окуляр-микромерной шкалой, точность измерений до 0,05 мм.

Данные измерений осреднены по календарным годам для каждого древостоя. Основные статистические характеристики рядов средних значений ширины годовичных колец на обследуемых участках, рассчитанные с использованием пакета программ STATISTICA 6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – статистическая характеристика дендрохронологических рядов средних значений ширины годовичных колец обследуемых древостоев

Хронология	Кол-во kernов	Период	Кол-во лет	Ширина годовичного кольца, мм		Стандартное отклонение	Стандартная ошибка
				средняя	максимальная		
A ₂ ест	12	1900 – 2009	110	2,8	6,5	1,27	0,12
A ₂ л к	12	1907 – 2009	103	1,9	5,3	0,67	0,06
B ₂ ест	12	1900 – 2009	110	1,7	3,9	1,08	0,10
B ₂ л к	12	1889 – 2009	121	2,0	6,6	1,03	0,09
C ₂ ест	12	1889 – 2009	121	2,0	3,4	0,57	0,05
C ₂ л к	12	1900 – 2009	110	2,2	6,0	0,89	0,08

Для исключения влияния фактора возраста на динамику радиального прироста при выявлении связей с климатическими факторами провели стандартизацию данных (рассчитали относительные индексы). Стандартизацию данных провели в два этапа. Первый этап – расчет «нормы прироста» (кривой, отражающей изменение темпов роста дерева с возрастом). Для нахождения нормы прироста мы применили метод скользящего сглаживания с 11-летним периодом осреднения [4]:

$$i_{s(j+5)} = \sum_j^{j+10} i_F / 11,$$

где $i_{s(j+5)}$ – сглаженное значение годового кольца (норма прироста),

i_F – фактическая ширина годового кольца.

Второй этап – расчет относительных индексов годового прироста:

$$I = i_F / i_s \times 100,$$

где I – относительный индекс, %; i_s – сглаженная ширина годового кольца (или норма прироста данного года).

Все расчеты относительных индексов и построение графиков проводились с помощью пакета программ Microsoft Excel. В статистическом блоке программы Microsoft Excel провели расчет корреляционных связей ширины годовых колец с климатическими факторами.

Числа Вольфа получены с сайта открытого доступа SIDC (Solar Influences Data analysis Center) – Центр анализа данных солнечных влияний Королевской обсерватории Бельгии [11].

Климатические показатели по метеостанции «Воронеж» получены с сайта Погода и климат – Климат Воронежа [10]. Данные по температуре воздуха и годовым осадкам – «Каменная Степь» с сайта открытого доступа [9].

При визуальном анализе графиков дендрохронологических рядов естественных и искусственных сосняков выявлен характер изменчивости радиального прироста за период с 1910 по 2009 гг.

Во всех представленных типах лесорастительных условий минимумы прироста наблюдались в следующие годы: 1921 – 1922, 1939 – 1940, 1956 – 1957, 1964, 1975, 1984, 1986, 1992, 2006. Максимумы прироста наблюдались в следующие годы: 1920, 1925, 1945, 1962, 1978, 1989 – 1990, 2004.

В динамике прироста соснового древостоя в борových лесорастительных условиях (рис. 1) хорошо прослеживается цикл Брикнера длительностью 30 – 36 лет: 1926 – 1956 (30 лет), 1956 – 1992 (36 лет). Цикличность меньших порядков также присутствует, но не всегда совпадают минимумы в естественном и искусственном древостоях.

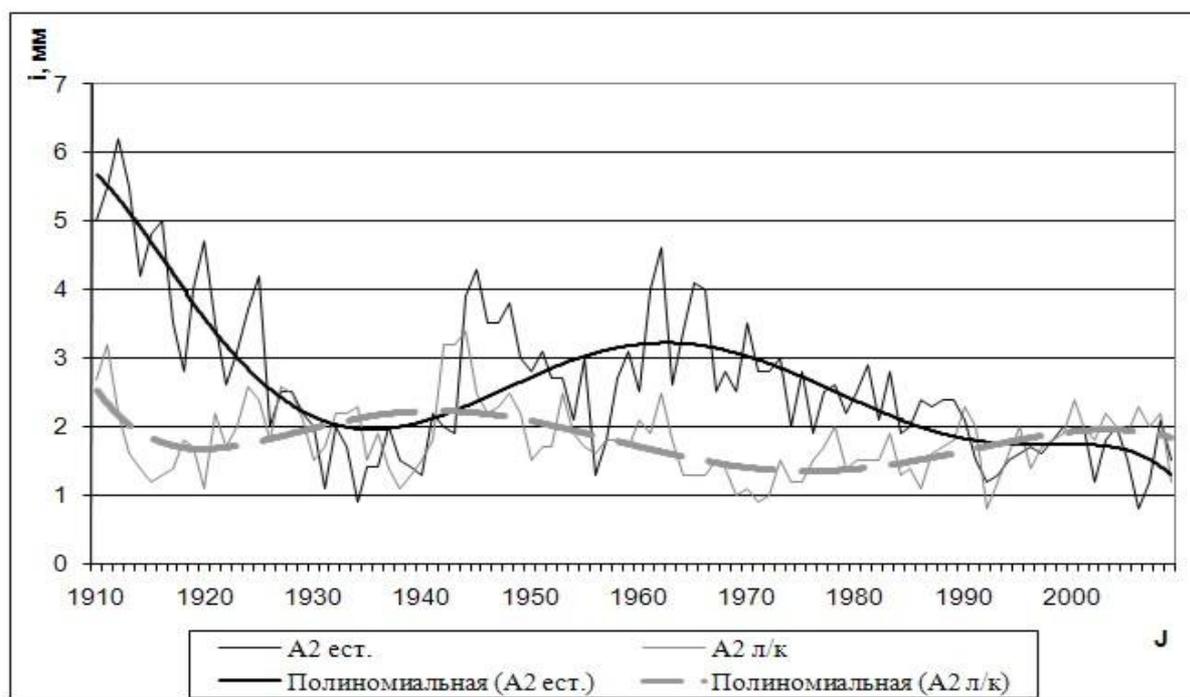


Рис. 1 Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в борových лесорастительных условиях (A_2) за период с 1910 по 2009 гг.

В естественном сосновом древостое в условиях свежей субори (B_2) на рисунке 2 четко прослеживается цикличность колебаний прироста близкая к циклу Брикнера (30 – 33 года): 1915 – 1939 (24 года), 1939 – 1972

(33 года), 1972 – 2003 (31 год); в искусственных по минимумам прироста более четко прослеживается цикл Хейла (17 – 25 лет): 1921 – 1939 (18 лет), 1939 – 1964 (25 лет), 1975 – 1992 (17 лет).

В сложных субориях (рис. 3) прослеживаются циклические колебания прироста близкие к солнечному циклу (цикл Швабе – Вольфа), как в естественных так и в искусственных сосняках: 1926 – 1939 (13 лет), 1939 – 1954 (15 лет), 1969 – 1984 (15 лет), 1984 – 1992 (8 лет), 1992 – 2002 (10 лет).

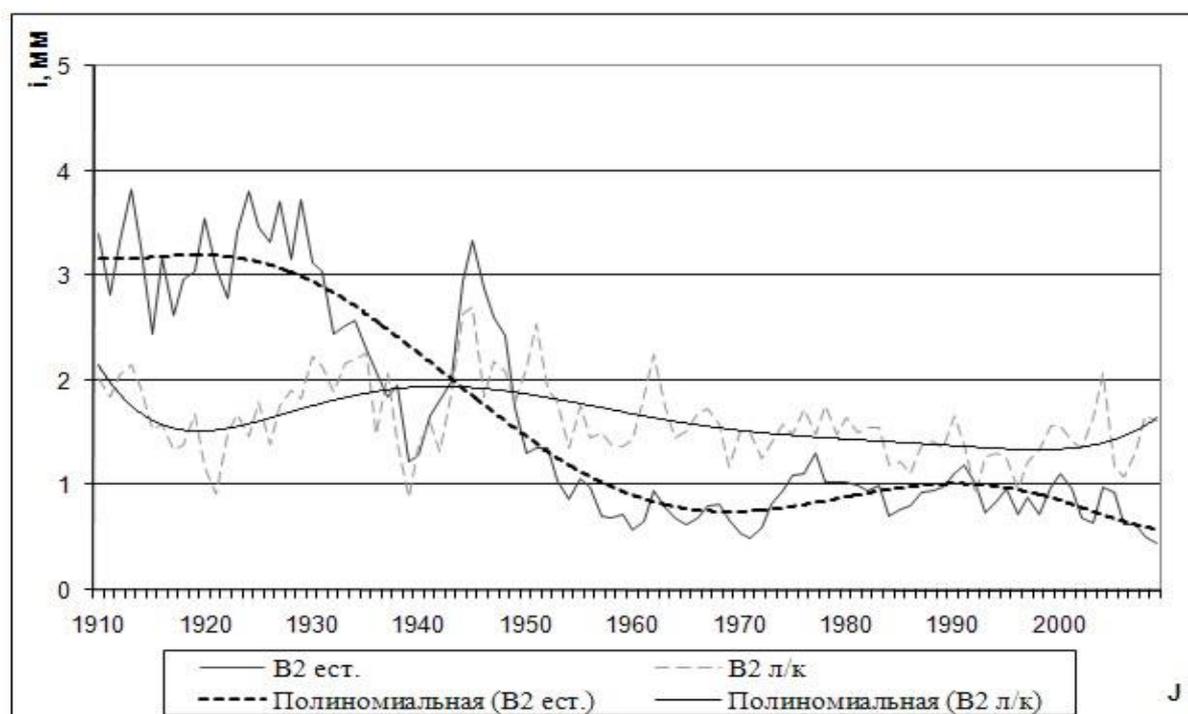


Рис. 2 Динамика радиального прироста соснового древостоя в суборевых лесорастительных условиях (B_2) за период с 1910 по 2009 гг.

На графиках хорошо заметны различия в динамике возрастной кривой естественных и искусственных древостоев, особенно на начальном этапе роста. Считаем, что различия могут быть вызваны следующими причинами.

В боровых и суборевых условиях естественные сосняки под пологом изреживающегося древостоя в результате старения и естественного отпада дают интенсивный прирост в молодом возрасте. Искусственные сосняки, с

неизбежно поврежденной корневой системой, при высокой густоте посадки, без защитного полога древостоя старшего возраста не дают в этих условиях высокого прироста.

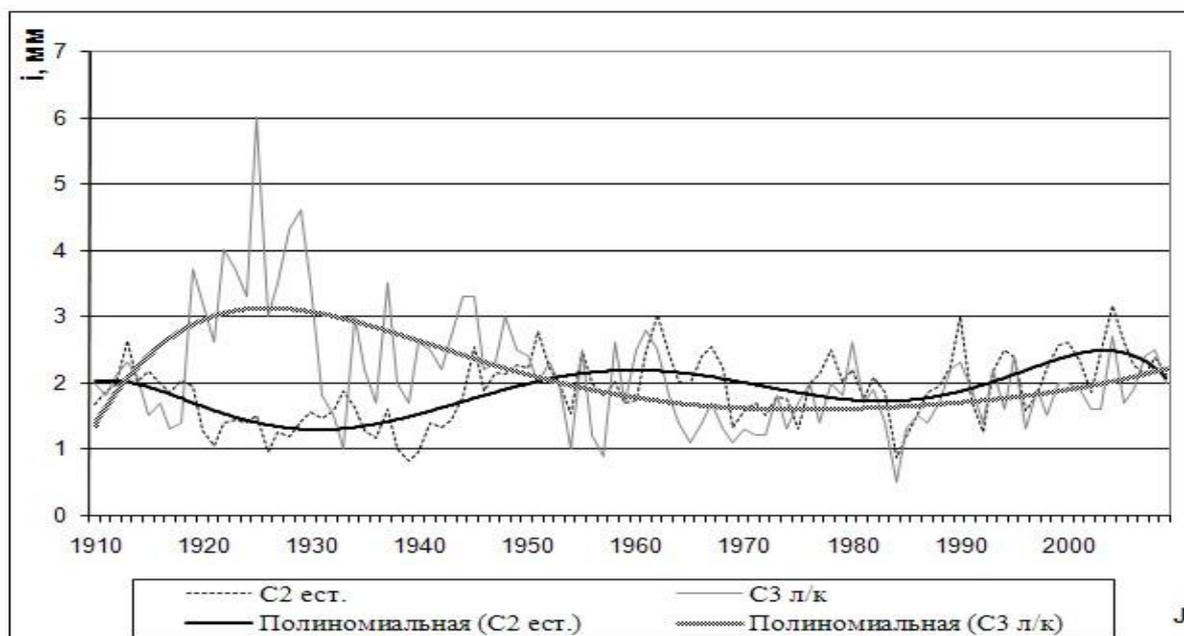


Рис. 3 Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в сложной субори (C_2) за период с 1910 по 2009 гг.

В благоприятных почвенных условиях сложной свежей субори (C_2), искусственные сосняки наоборот, оказываются в более благоприятных условиях и дают высокий прирост, тогда как естественный подрост сосны угнетен лиственными породами и кустарниками.

В борových лесорастительных условиях (A_2) радиальный прирост естественного сосняка превышает искусственный до 15-летнего возраста, при этом, прирост здесь резко снижается (по линии тренда на фоне высокоамплитудных циклических колебаний). Прирост естественной сосны демонстрирует большой размах амплитуды колебаний с цикличностью 30 – 40 лет. В искусственном сосняке циклы аналогичной длительности также ярко выражены, но с гораздо меньшей амплитудой и фактически в противофазе с естественным сосняком.

В условиях свежей субори прирост естественного сосняка обгоняет искусственный приблизительно до 25-летнего возраста, еще через 15 – 20

лет прирост искусственного сосняка, оставаясь практически на прежнем уровне тренда, обгоняет естественный. Прирост естественного сосняка интенсивно снижается и приблизительно с 45 – 50-летнего возраста идет на более низком уровне, с сохранением циклической динамики колебаний сходной с искусственным сосняком.

Уже приблизительно с 25-летнего возраста (с этапа жердняка) в сложной субори (C_2) прирост естественного и искусственного древостоев постепенно выравнивается по интенсивности и показывает очень сходную реакцию на климатическое воздействие. Амплитуда, частота и цикличность колебаний очень близки.

Во всех обследованных древостоях естественные сосняки характеризуются значительно большим размахом колебаний в 30 – 40-летнем цикле. В искусственных древостоях низкочастотная цикличность очень слабо выражена. Наличие циклических колебаний разных порядков является существенным фактором сохранения биологической устойчивости древостоя.

Лимитирующим фактором, ограничивающим радиальный прирост древостоев в засушливом регионе южной части лесостепной зоны, является количество выпадающих атмосферных осадков.

Ближайшими метеорологическими станциями к Хреновскому бору являются «Каменная степь» (удаление 40 км) и «Воронеж» (удаление 100 км) .

Для выявления влияния лимитирующего фактора проведен попарный корреляционный анализ радиального прироста обследованных древостоев с осадками за календарный год (в различные временные интервалы) по двум метеостанциям. Результаты представлены в таблице 2.

За 100-летний период высокую корреляционную связь с осадками метеостанции «Каменная Степь» показали естественные и искусственные

древостои боровых лесорастительных условий (A_2) (0,23 и 0,31 соответственно).

Самая высокая за 100 лет корреляционная связь с осадками по метеостанции «Воронеж» наблюдается в естественном древостое сложной субори (C_2) и составляет 0,38.

Корреляционная связь с осадками обеих метеостанций естественного прироста древостоя в свежих суборевых условиях за 100 лет оказалась низкой (0,08 – 0,1).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (r) радиального прироста деревьев в разных типах лесорастительных условий с суммой осадков за календарный год по метеостанциям «Воронеж» и «Каменная степь»

Сравниваемые ряды	1910 – 2009 гг.	1930 – 2009 гг.	1970 – 2009 гг.
Метеостанция «Воронеж»			
естественные			
свежий бор (A_2)	0,21	0,19	0,14
свежая суборь (B_2)	0,10	0,18	0,29
сложная свежая суборь (C_2)	0,38	0,35	0,5
искусственные			
свежий бор (A_2)	0,19	0,28	0,34
свежая суборь (B_2)	0,23	0,15	0,14
сложная свежая суборь (C_2)	0,25	0,25	0,48
метеостанция «Каменная Степь»			
естественные			
свежий бор (A_2)	0,23	0,25	0,14
свежая суборь (B_2)	0,08	0,12	0,29
сложная свежая суборь (C_2)	0,22	0,24	0,5
искусственные			
свежий бор (A_2)	0,31	0,33	0,29
свежая суборь (B_2)	0,10	0,06	0,13
сложная свежая суборь (C_2)	0,17	0,25	0,48

Искусственные древостои в суборях (B_2) и сложных суборях (C_2) показывают более высокую связь с осадками метеостанции «Воронеж» чем метеостанции «Каменная Степь» (0,25; 0,23).

С уменьшением временного интервала до последних 40 лет (1970 – 2009) коэффициент корреляции в большинстве случаев увеличивается как в естественных, так и в искусственных древостоях (хотя и не всегда), особенно стабильно – в сложных субориях, где он достигает 0,48 – 0,5.

Более высокая корреляционная связь прироста с осадками за период с 1970 по 2009 гг. вызвана не только уменьшением длительности рассматриваемого периода, но и, вероятно, фактом глобального потепления, наблюдающегося в последние десятилетия. Хреновской бор создает «остров» более влажного и более прохладного климата, в результате чего, даже при значительно большем удалении (100 км против 40 км) корреляция с климатическими характеристиками метеостанции «Воронеж» в радиальном приросте большинства древостоев несколько выше, особенно за последние 40 лет.

Ряды суммы осадков за календарный год двух метеостанций («Воронеж» и «Каменная степь») близки между собой (рис. 4), что подтверждается высокой корреляционной связью (0,7).

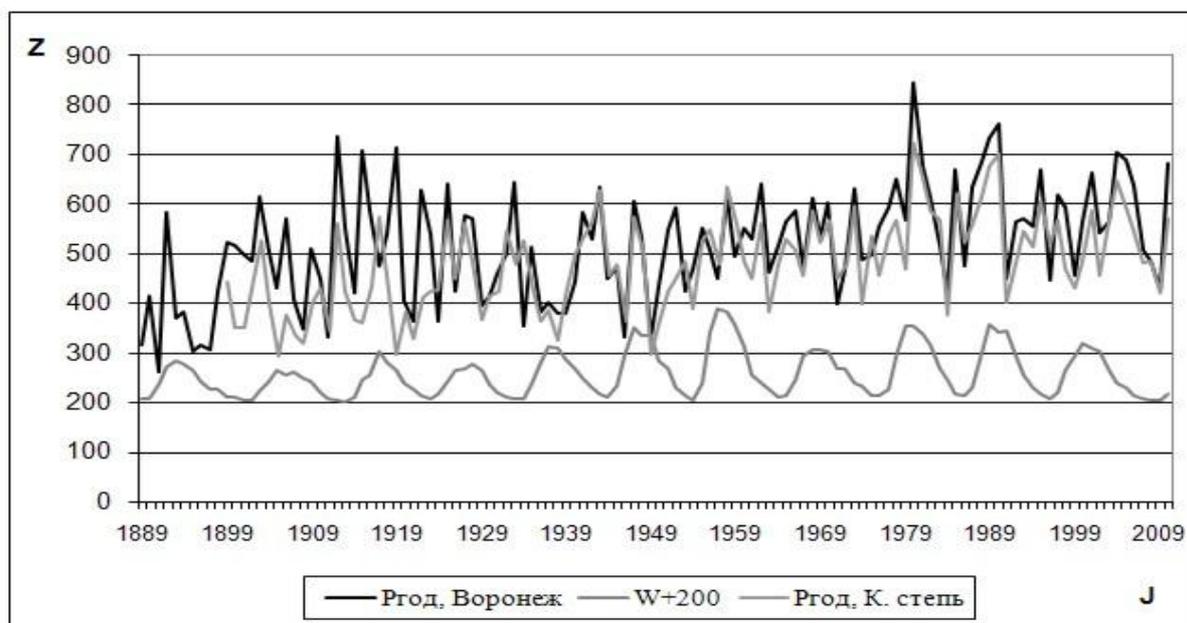


Рис. 4 Связь годовых осадков по метеостанциям «Воронеж» и «Каменная степь» с солнечной активностью.

С 1900 до 1950 гг. минимумы осадков чаще наблюдаются при высоких значениях солнечной активности, максимумы осадков – в эпохи минимума.

Приблизительно с 1950 до 1975 гг. амплитуда колебаний осадков низкая и наблюдается переход от более выраженных обратных связей (между экстремумами осадков и солнечной активностью) к прямым.

С середины 1970-х гг. резко выросла амплитуда колебаний атмосферных осадков, причем ярко выражены три мощных цикла (два одинарных, третий – множественный) в эпоху максимумов трех циклов солнечной активности. Глубокие минимумы наблюдаются в эпохи минимума солнечной активности.

В заключение выделим основные результаты проведенного анализа:

- В вековой динамике радиального прироста естественных и искусственных сосняков в свежих лесорастительных условиях Хреновского бора хорошо прослеживаются циклы, характерные для Центральной лесостепи: солнечный (Швабе-Вольфа); магнитный (Хейла); Брикнера имеющие важное прогностическое значение.
- Динамика радиального прироста естественных сосняков характеризуются значительно большим размахом колебаний в 30 – 40-летнем цикле. В искусственных древостоях низкочастотная цикличность слабо выражена.
- Ряды сумм осадков за календарный год метеостанций «Воронеж» и «Каменная степь», расположенных в 150 км друг от друга близки между собой, коэффициент корреляции $r = 0.7$.
- Самая высокая за 100 лет корреляционная связь с атмосферными осадками наблюдается в естественном древостое сложной субори (C_2) и составляет 0,38. С уменьшением временного интервала до последних 40 лет (1970 – 2009) коэффициент корреляции в большинстве случаев увеличивается как в

естественных, так и в искусственных древостоях, особенно стабильно – в сложных субориях (0,48 – 0,5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агафонов Л.И., Кукарских В.В. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Экология. 2008. N 3. С. 173–180
2. Бенькова А.В., Тарасова В.В., Шашкин А.В. Применение дендрохронологического метода для изучения особенностей роста естественных и искусственных лесных насаждений // Лесоведение. 2006. N 2. С. 3–8.
3. Краснобаева К.В., Митяшина С.Ю. Дендроклиматологический анализ роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2006. N 4. С. 45–51
4. Матвеев С. М. Дендрохронология: Учеб. Пособие. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2001. С. 88 с.
5. Савва Ю.В., Ваганов Е.А., Милютин Л.И. Особенности реакции различных климатипов *Pinus sylvestris* на изменение климатических факторов // Ботан. ж.. 2003. N 10. С. 68–82
6. Vitas Adomas Dendroclimatological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania // Balt. Forest. 2004. N 1. С. 65–71
7. Liu Yu. Seasonal precipitation in the south-central Helan Mountain region, China, reconstructed from tree-ring width for the past 224 years // Can. J. Forest Res. 2005 N 10. С. 2403–2412
8. O'Neill Gregory A. Growth response functions improved by accounting for nonclimatic site effects // Can. J. Forest Res. 2007. N 12. С. 2724
9. Данные по температуре воздуха и осадкам – Каменная степь: <http://cliware.meteo.ru/inter/data.html>.
10. Погода и климат – Климат Воронежа: <http://www.pogoda.ru.net/climate/34123.htm>.
11. Solar Influences Data analysis Center: <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>