

УДК 630*181.65: 630*174.754(1-924.85)

Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области

С.М. Матвеев*, С.В. Матвеева, Ю.Н. Шурыгин

*Воронежская государственная лесотехническая академия,
Россия 394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8¹*

Received 2.03.2012, received in revised form 9.03.2012, accepted 17.03.2012

Изучена циклическая динамика лимитирующих прирост деревьев климатических факторов (с использованием рядов наблюдений метеостанции «Воронеж») и прироста древостоев сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах (Воронежская и Липецкая области). Проанализированы условия возникновения сильных засух, погодные условия пожара 2010 г. в г. Воронеже. В вековой динамике засух и радиального прироста сосны обыкновенной в Восточно-Европейской лесостепи хорошо прослеживаются циклы: 11-летний (солнечный, или Швабе-Вольфа), магнитный (Хейла), Брикнера, имеющие важное прогностическое значение. С середины 1970-х гг. колебания климатических факторов (сумма осадков за теплый период, условия увлажнения, выраженные гидротермическим коэффициентом) в Восточно-Европейской лесостепи проходят в синфазе с 11-летним циклом солнечной активности. Основным метеорологическим фактором, влияющим на годичный прирост сосны, является сумма осадков теплого периода (апрель–октябрь). Радиальный прирост сосны обыкновенной реагирует на засушливые условия синхронно или с задержкой на один год. Сильные засухи в лесостепи (1939, 1972 и 2010 гг.) наблюдаются только в результате предыдущих двух-трех и более лет со значительным недостатком осадков и обязательно сопровождаются повышенными относительно нормы температурами воздуха. Засуха 2010 г. стала следствием снижения суммы осадков с 2007 по 2009 гг. (509, 485 и 428 мм соответственно при норме 570 мм) и аномально высоких температур лета 2010 г. Одной из причин температурных аномалий лета 2010 г., вероятно, служит наложение минимумов 11-летнего и векового циклов активности Солнца (2008 г.).

Ключевые слова: Воронежская область, засухи, осадки, температура воздуха, гидротермический коэффициент, солнечная активность, цикличность, сосна обыкновенная, дендроклиматический анализ.

* Corresponding author E-mail address: lisovod@bk.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Введение

Значительные климатические изменения, наблюдающиеся в настоящее время в различных регионах России, вызвали необходимость их анализа на региональном уровне (Густокашина, Максютлова, 2006; Софронова и др., 2008; Булыгина и др., 2011; Ленская, Ботова, 2011; Страшная и др., 2011), в том числе и с использованием дендроклиматических данных (Балыбина, 2005; Агафонов, Кукарских, 2008; Скомаркова и др., 2009; Герасимова и др., 2010).

В обстановке меняющегося климата и лесорастительных условий в Восточно-Европейской лесостепи, усиления интенсивности засух и частоты возникновения пожаров актуален анализ динамики климата региона, повторяемости засушливых и пожароопасных сезонов, реакции древостоев на колебания климатических параметров. Лесные пожары – важный лесообразующий фактор, определяющий состояние и динамику лесов. В свою очередь, причиной возникновения пожаров является комплекс климатических факторов, создающих пожароопасную обстановку.

Лесоводственная оценка календарных лет прошлых пожаров (Комин, 1967; Мелехов, 1979; Феклистов и др., 1997; и др.), реконструкция и прогнозирование пожароопасных сезонов, повторяемости засух (Карбаинов, Моложников, 1986; Валендик, Иванова, 1990; Арбатская, Ваганов, 1997; Панюшкина, Арбатская, 1999; Матвеев, Чеботарев, 2002, Шубкин и др., 2006) с использованием дендрохронологических данных получили достаточно широкое распространение.

Э.Н. Валендик и Г.А. Иванова (1990) считают, что для реконструкции и прогнозирования экстремальных пожароопасных сезонов целесообразно использование дендроклиматической информации в сочетании с дати-

ровкой лесных пожаров. Проведенный ими ретроспективный пиродендроклиматический анализ в сосняках выявил следующее:

- вспышки крупных лесных пожаров хорошо согласуются с колебаниями весенне-летнего гидротермического коэффициента увлажнения;
- годовичные индексы прироста сосны хорошо коррелируют с годами пожарных максимумов. В качестве реперных лет с экстремальными пожароопасными сезонами, отразившимися на приросте сосны, могут служить 1870, 1915 и 1976 гг.;
- недобор осадков в 30 % и более в весенние и летние периоды в 90 % случаев вызывает снижение прироста сосны. Среднее отклонение прироста от нормы составило от 24 до 46 %.

Р.Г. Шубкиным с соавторами (2006) на основании анализа дендрохронологических дат сделан вывод о повторении в Восточной Сибири экстремальной пожароопасной ситуации (лесные пожары по всему региону) примерно раз в 40–50 лет.

Для лесостепи (Молчанов, 1976) как зоны неустойчивого увлажнения важнейшим показателем баланса влаги служит количество влаги, переходящей во внутрпочвенный сток, или инфильтрация. За счет этой влаги увеличиваются запасы подземных вод. Исследования многих авторов подтверждают, что наибольшее положительное влияние сосняков на инфильтрацию проявляется на свежих и сухих почвах. Именно в таких условиях распространены боры Воронежской области – Хреновской и Усманский.

Изменчивость количества осадков в Восточно-Европейской лесостепи на фоне вековых циклов солнечной активности рассматривалась в работах М.П. Скрыбина (1946, 1964). Автор отмечал, что периоды минимума

и максимума векового цикла солнечной активности для лесостепи (в условиях Воронежской области) совпадают с периодами уменьшения количества осадков и учащения засух. На ветви подъема солнечной активности наблюдается увеличение количества осадков и амплитуды колебаний в увлажнении и температуре. На ветви спада солнечной активности, которая продолжается более длительное время, происходит некоторое увеличение количества осадков, главным образом в середине этого периода.

Наши дендроклиматические исследования в островных борах лесостепной зоны проводятся более 25 лет. Выявлены закономерности в реакции сосновых древостоев на различные условия увлажнения, лимитирующие прирост сосны факторы, циклическая динамика засух (Матвеев, 2003, 2005 и др.). В настоящей работе продолжено изучение циклической динамики климатических параметров Восточно-Европейской лесостепи (по данным наблюдений метеостанции «Воронеж»). Проанализированы условия возникновения сильных засух, погодные условия пожара 2010 г. в г. Воронеже, в т.ч. в сравнении с пожаром 1972 г. Выявлено, как отражается динамика климата в изменении ширины годичных колец сосны обыкновенной за вековой период. Актуальность нашей работы заключается ещё и в том, что обследованные сосновые древостои Усманского бора уничтожены пожаром 2010 г.

Район работ, материалы и методы

Усманский бор расположен в лесостепной зоне по водоразделам рек Воронеж и Усмань, в пределах Воронежской и частично Липецкой (северная часть массива) административных областей, географические координаты: 51°41' – 52°02' с.ш., 39°21' – 39°47' в.д.

Он расположен в районе, выделяемом как своеобразный остров с более холодным и влажным климатом, в нем представлены основные типы соснового леса. В настоящее время естественные сосняки составляют менее половины площади сосновых лесов массива.

Хреновской бор расположен на левом берегу р. Битюг (51°05' – 51°16' с.ш., 40°06' – 40°25' в.д.), на границе степной и лесостепной зон, на песках надлуговой террасы и на притеррасной полосе понижений с интенсивным увлажнением, множеством болот и озер благодаря выходу грунтовых вод, стекающих сверху со стороны степи. Сосняков естественного происхождения в Хреновском бору сохранилось не более 10 % от площади всех лесов массива и менее 20 % от площади сосновых насаждений.

Тип лесорастительных условий, В₂ (свежая суборь), наиболее распространен в Восточно-Европейской лесостепи под сосняками (в Воронежской области – около 45 %). Свежие простые субори представляют собой относительно бедные местообитания, очень близкие по своим свойствам к борам. Рельеф пологий, слегка волнистый. Обычный тип леса – сосняк травяной с дубом (ССРТ).

Объекты наших исследований расположены в естественных сосновых древостоях Усманского бора (кварталы № 45 и 85 Левобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА), погибших при пожаре летом 2010 г., и Хреновского бора (квартал № 513 Хреновского лесничества Хреновского лесхоза-техникума), не затронутого пожаром. Тип лесорастительных условий всех насаждений – В₂ (свежая суборь), тип леса – ССРТ. Возраст древостоев 110–125 лет, бонитет – II, полнота – 0,6–0,7.

В квартале № 45 (выделы № 1, 2, 11) в чистом сосновом насаждении, пройденном устойчивым верховым пожаром, заложены

три линейных пробных площади (пп. № 1, 2, 3) размером 0,2–0,4 га, шириной 10 м, длиной по всему выделу в направлении с севера на юг. Огнем полностью уничтожен напочвенный покров, выгорела лесная подстилка, во многих местах даже прогорели корневые системы верхнего слоя почвы и почва местами проваливается. В квартале № 513 (выдел № 8) заложена пп. № 4 размером 0,5 га (50 × 100 м). На пробных площадях определены таксационные характеристики древостоев, для всех обследуемых выделов проанализированы данные лесоустройства 2002 г.

Для дендрохронологического анализа в квартале № 45 (выделы № 1, 2, 11) в сентябре – октябре 2010 г. взяты 15 кернов древесины сосны. В квартале № 513 (выдел № 8) для дендрохронологического анализа в июне 2010 г. взяты 12 кернов древесины сосны. В квартале № 85 (выдел № 4) отобраны 10 спилов для дендрохронологического анализа с пней и нижней части стволов деревьев возрастом 130–150 лет, непосредственно на лесосеке, разрабатываемой в сентябре – октябре 2010 г.

Для датировки и измерения ширины годовых колец использовали измерительную лупу и бинокулярную лупу МБС–9, снабженную окуляром с измерительной шкалой. Для исключения влияния на изменчивость ширины годовых колец возрастного тренда и выявления влияния климатических факторов провели стандартизацию данных: относи-

тельные индексы рассчитаны как отношение средней фактической ширины за календарный год к норме прироста в зависимости от возраста, полученной с применением 11-летней скользящей. Проведён корреляционный анализ связей ширины годовых колец с шириной поздней древесины, а также с климатическими факторами с помощью статистического блока Microsoft Excel.

Расчеты основных статистических характеристик дендрохронологических рядов (табл. 1), спектральный анализ временных рядов (ширины годовых колец, индексов радиального прироста, гидротермического коэффициента, солнечной активности, выраженной в числах Вольфа) проведены в программе Statistica 6.0.

Числа Вольфа получены с сайта открытого доступа SIDC (Solar Influences Data analysis Center, 2011) – Центра анализа данных солнечных влияний Королевской обсерватории Бельгии.

Климатические показатели рассчитаны нами по данным наблюдений метеостанции № 34123 «Воронеж», 51° 40' с.ш., 39° 13' в.д., высота над уровнем моря 149 м (Погода и климат ..., 2011). Основные климатические характеристики по метеостанции «Воронеж» за период осреднения (30 лет) по отношению к климатической норме 2011 г. приведены в табл. 2. Континентальность климата (%) к этой же норме рассчитана по формуле Ценкера (Борисов, 1975):

Таблица 1. Статистические характеристики обобщенных дендрохронологических рядов

Хронология	Кол-во кернов, спилов	Период, годы	Кол-во лет	Ширина годового кольца, мм		
				среднее ± ст. ошибка	минимальная	максимальная
Кв. 45	15	1893–2009	117	1,72 ± 0,090	0,38	4,63
Кв. 85	10	1864–2009	145	1,85 ± 0,096	0,18	5,00
Кв. 513	12	1900–2009	110	1,71 ± 0,102	0,31	3,99

Таблица 2. Климатические характеристики по метеостанции «Воронеж» с 1981 по 2010 гг.

1981-2010	Средняя температура, °С	Сумма осадков, мм
Январь	- 7,4	37
Февраль	- 7,0	33
Март	- 1,7	30
Апрель	8,1	38
Май	14,7	44
Июнь	18,5	74
Июль	19,7	70
Август	18,4	52
Сентябрь	12,8	57
Октябрь	6,1	49
Ноябрь	- 0,8	47
Декабрь	- 5,1	48
Средняя за год	6,5	579

Таблица 3. Гидротермический коэффициент за период май–сентябрь (рассчитан по данным наблюдений метеостанции «Воронеж»)

Годы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Десятилетия										
1870				1,34	0,89	0,84	0,92	1,25	1,04	0,89
1880	1,06	1,64	0,67	0,73	1,20	1,46	1,09	0,98	0,95	0,49
1890	0,69	0,42	0,56	0,54	0,87	0,67	0,87	0,45	0,72	1,31
1900	0,92	0,89	1,13	1,40	1,13	0,74	1,07	0,85	0,68	0,88
1910	1,00	0,98	1,81	1,35	0,86	1,53	1,71	0,96	1,65	1,34
1920	1,00	0,62	1,40	1,35	0,59	1,71	1,06	1,32	1,75	0,96
1930	1,12	0,92	1,06	1,81	0,79	1,31	0,74	0,86	0,49	0,53
1940	0,88	1,48	0,92	1,09	1,00	1,28	0,56	0,92	1,21	0,69
1950	1,07	1,28	1,05	1,07	0,84	1,04	1,31	0,79	1,47	1,05
1960	0,93	1,16	1,68	0,58	1,20	1,02	0,76	0,86	1,12	1,34
1970	0,85	0,52	0,64	1,36	0,96	0,96	1,32	1,09	1,61	0,78
1980	2,24	0,64	1,28	1,06	0,87	1,59	0,94	1,73	1,79	1,54
1990	1,81	0,96	0,92	1,39	1,29	0,78	0,98	1,22	0,79	0,82
2000	1,41	1,09	1,18	1,36	1,35	1,22	1,18	0,85	0,88	0,63
2010	0,92									

$$K = 1,2 A_{\text{г}} / \varphi \times 100 - 20,$$

где $A_{\text{г}}$ – годовая амплитуда температур; φ – географическая широта.

Значения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова за май-сентябрь (т.е.

с температурой воздуха больше 10° С) за весь период наблюдений осадков и температур воздуха в Воронеже (табл. 3) рассчитаны нами по следующей формуле (Таранков, 1991):

$$\text{ГТК}_{\text{м-с}} = \frac{\text{Р}_{\text{м-с}}}{0,1 \sum t > 10^{\circ} \text{C}},$$

где ГТК м-с – гидротермический коэффициент за май–сентябрь; Р_{м-с} – сумма осадков за май–сентябрь; t – температура воздуха.

Результаты и обсуждение

Проведенный нами анализ климатических показателей по данным метеостанции «Воронеж» до 2010 г. включительно согласуется с данными М.П. Скрыбина (1946, 1964) о наличии связи между фазами циклов солнечной активности и динамикой осадков.

Минимум 23-го (по Цюрихской нумерации) 11-летнего цикла солнечной активности наблюдался в 2008 г. с числом Вольфа 2,9. В 2009 г. число Вольфа выросло очень мало – до 3,1. Очевидно, в 2008–2009 гг. наблюдался минимум не только 11-летнего, но и векового цикла солнечной активности, начавшегося в 1913 г., а также, вероятно, и цикла Брикнера. Наложение минимумов 11-летнего, Брикнера и векового циклов солнечной активности в комплексе с изменениями климата и подстилающей поверхности, вызванными антропогенным воздействием, очевидно, послужило причиной аномальной синоптической обстановки лета 2010 г.

Для анализа изменений климатических характеристик нами определены среднегодовые параметры температур и осадков за два 30-летних временных интервала: 1961–1990 и 1981–2010 гг.

Средняя годовая, минимальная и максимальная температуры воздуха, количество осадков по данным метеостанции «Воронеж» за 1961–1990 гг. (этот период взят в качестве климатической нормы по рекомендации ВМО (Булыгина и др., 2010)) составляют: T_{мин.} = 1,9 °С; T_{макс.} = 10,6 °С; T_{ср.} = 6,1 °С; Р_{сумма ср.} = 583 мм. Средняя годовая, мини-

мальная и максимальная температуры воздуха, количество осадков за 1981–2010 гг. таковы: T_{мин.} = 2,4 °С; T_{макс.} = 11,0 °С; T_{ср.} = 6,5 °С; Р_{сумма ср.} = 579 мм.

Следует отметить, что в г. Воронеже наблюдается значительная изменчивость в выпадении осадков по календарным годам, от 263 (1891 г.) до 845 мм (1980 г.). За вековой период наблюдений минимума осадков (мм) на фоне 30-летней скользящей климатической нормы отмечались в следующие годы: 1891 г. (263 мм), 1895 (305), 1897 (307), 1911 (333), 1921 (364), 1924 (364), 1934 (356), 1938-1939 (380-382), 1946 (334), 1949 (332), 1954 (426), 1971 (401), 1984 (422), 1991 (451), 1996 (447) и 2009 (428). Годы с наиболее обильными осадками (свыше 700 мм) были в 1881 г. (767 мм), 1912 (737), 1915 (708), 1919 (716), 1980 (845), 1989 (733), 1990 (763) и 2004 (706). В среднем около половины годовой суммы осадков и более выпадает в летние месяцы, но по вегетационным периодам отдельных лет также наблюдается изменчивость.

За двадцать лет (1990–2010 гг.) в г. Воронеже среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,4 °С по сравнению с климатической нормой в основном за счёт повышения зимних температур, среднегодовая сумма осадков уменьшилась незначительно (на 4 мм). Континентальность климата (по Ценкеру) уменьшилась с 49,1 (1937–1966) до 44,2 % (1967–1996 гг.) (Матвеев, 2003).

Объективным и широко используемым показателем увлажнения и повторяемости атмосферных засух является гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) (Густокашина, Максютова, 2006; Страшная и др., 2011). Наши расчеты показали, что осреднённые по тридцатилетиям значения ГТК свидетельствуют о растущем тренде увлажненности Восточно-Европейской лесостепи за период инструментальных наблюдений:

1890–1920 гг. = 1,00

1921–1950 гг. = 1,05

1951–1980 гг. = 1,09

1981–2010 гг. = 1,15

Среднее значение ГТК за период 1891–2010 гг. составляет 1,07, однако его колебания очень велики: от 0,42 в 1891 г. до 2,24 в 1980 г. При ГТК меньше 1,0 уже наблюдаются слабые засухи, меньше 0,8 – средние, меньше 0,6 – сильные (Таранков, 1991; Страшная и др., 2011). ГТК меньше 0,6 наблюдался в 1891–1893, 1897, 1924, 1938–1939, 1946, 1963 и 1971 гг. В 2009 г. значение ГТК было равно 0,63.

Результаты наших исследований показывают, что климатическая обстановка летом 2010 гг., и особенно 29 июля (дата начала пожара в Усманском бору), была уникальной по ряду параметров (температура воздуха, ветровые условия), но не была критичной по атмосферным осадкам.

О том, что засуха 2010 г. для древесных растений (в том числе для сосны обыкновен-

ной) не была критичной, свидетельствует ширина ранней древесины годичного кольца и начавшееся (у части образцов) формирование зоны поздней (точнее переходной) древесины. Ширина годичного кольца 2007 г. у сгоревших сосен в большинстве случаев меньше, чем в 2009 и 2010 гг. (табл. 4). Это обусловлено тем, что в мае 2007 г. средняя температура воздуха была практически такая же, как и в 2010 г., максимальная – значительно выше (35,7 против 28,5 °С), а осадков меньше нормы (83 %). В мае 2010 г. осадков выпало 136 % от нормы, что и способствовало нормальному формированию ранней древесины.

Осадков в июле 2010 г. выпало 54 % от нормы, что не является катастрофически низким значением. Следует отметить, что количество осадков менее 50 % от нормы считается показателем очень сильной атмосферной засухи, 50–70 % – сильной (Страшная и др., 2011). В июле 2007 г. осадков выпало менее 40 % от нормы. В 2010 г. температуры июля и всего тёплого периода были аномально вы-

Таблица 4. Характеристика среднемесячных (факт.) и максимальных (макс.) температур и месячной суммы осадков за май–август с 2007 по 2010 гг. (по данным метеостанции «Воронеж») в сравнении с динамической нормой (за 30 лет)

Температура воздуха	май			июнь			июль			август		
	факт.	норма	макс.	факт.	норма	макс.	факт.	норма	макс.	факт.	норма	макс.
2007	17,2	14,8	35,7	19,2	18,0	34,6	21,0	19,5	33,0	22,4	18,3	36,3
2008	13,7	14,7	29,0	17,3	18,6	28,5	21,1	19,7	34,0	21,0	18,4	36,1
2009	14,7	14,7	26,0	20,2	18,6	32,5	21,6	19,7	35,0	17,5	18,4	29,5
2010	17,3	14,7	28,5	22,5	18,6	38,9	26,4	19,7	40,1	25,4	18,4	40,5
Осадки	май			июнь			июль			август		
	факт.	норма	% от нормы	факт.	норма	% от нормы	факт.	норма	% от нормы	факт.	норма	% от нормы
2007	38	46	83	64	66	97	29	73	40	42	57	74
2008	67	44	152	24	74	32	46	70	66	30	52	58
2009	44	44	100	32	74	43	41	70	59	51	52	98
2010	60	44	136	37	74	50	38	70	54	90	52	173

Таблица 5. Сумма осадков и средняя температура июля, ГТК за май-сентябрь в засушливые годы в Восточно-Европейской лесостепи

Год	Сумма осадков, мм	Ср. температура, °С	ГТК
1908	30	19,8	0,68
1938	10	24,7	0,49
1939	15	22,3	0,53
1971	31	20,6	0,52
1972	37	23,5	0,64
1992	50	18,9	0,92
2002	50	23,9	1,18
2005	32	20,1	1,22
2007	29	21,0	0,85
2009	41	21,6	0,63
2010	38	26,4	0,92

соки. По данным метеостанции «Воронеж» в июне, июле и августе 2010 г. был зафиксирован температурный рекорд максимальной температуры воздуха, составивший 38 °С. Такая температура наблюдалась лишь в июле 1938 г. и августе 1946 г. Среднемесячная температура июля 2010 г. достигла 26,4 °С. Предыдущий максимум (24,9 °С) наблюдался в июле 1938 г.

В июле 2010 г. вследствие интенсивной транспирации при очень высоких температурах воздуха вода не успевала в достаточном количестве подаваться к кронам, в результате чего произошло сильное иссушение листьев и хвои. В свою очередь, иссушение крон способствовало усилению скорости распространения верховых пожаров.

Динамическая норма осадков (за 30-летний период) самого жаркого месяца в Восточно-Европейской лесостепи (июля) составляет 70 мм, а средняя температура июля – 19,7 °С (табл. 5).

В годы сильных засух количество осадков июля снижалось до 30–40 и даже до 10–15 мм. Годы наиболее сильных засух, сопровождавшиеся катастрофическими пожарами

(1939, 1972 и 2010), характеризуются недостатком осадков в течение не менее 2-х предыдущих лет и чрезвычайно высокими средними и максимальными температурами воздуха теплого периода (май–август). Соответственно, в эти годы наблюдались низкие значения ГТК в мае–сентябре.

Сумма осадков в апреле–октябре 2009 г., 211 мм, была больше лишь значения того же периода 1971 г. – 158 мм. Минимум осадков 1971 г. послужил причиной сильнейшей засухи, охватившей всю европейскую территорию России в 1972 г. (257 мм за апрель–октябрь). Засуха 1972 г. была аналогична засухе 2010 г. и по ситуации с пожарами.

Изменения климатообразующих параметров подстилающей поверхности усиливаются в результате антропогенного воздействия на лесной покров региона. Ещё С.И. Костин (1958) отмечал значительное влияние на температуру воздуха в мае–сентябре и увлажнение атмосферы системы полезащитных лесных полос и крупных островных лесных массивов лесостепи (Усманский бор, Хреновской бор, Шипов лес, Теллермановский лес и др.). В настоящее время сеть лесных полос су-

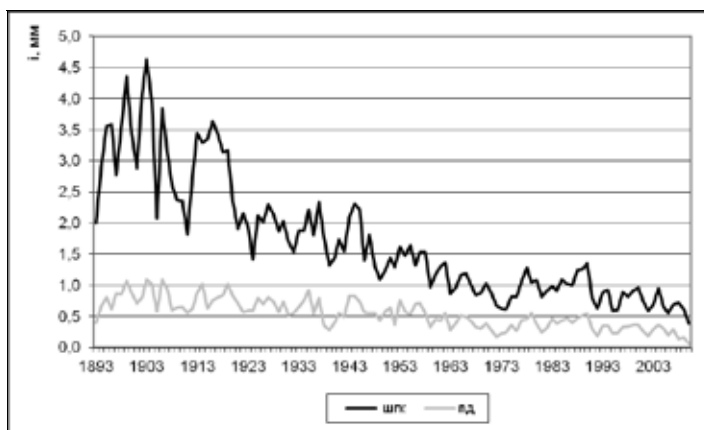


Рис. 1. Средние значения (i , мм) ширины годичных колец и поздней древесины сосны обыкновенной в квартале 45 (выделы 1, 2, 11) Усманского бора

щественно нарушена, большая часть островных лесных массивов подверглась интенсивным рубкам, рекреационное воздействие привело к уплотнению почвы, прокладке сети автомобильных дорог и т.п. В результате даже в многоводный период, наблюдающийся сейчас в лесостепи, весной происходит слабое насыщение почв влагой, снижение влажности воздуха и интенсивности влагооборота, повышение температуры подстилающей поверхности и прилегающего слоя воздуха в тёплый период.

На графике (рис. 1), показывающем изменение средней ширины годичных колец сосновых древостоев в кв. 45, хорошо прослеживается циклическая динамика засушливых периодов по минимумам прироста древесины. Однако наложение целого ряда различных комплексно действующих факторов в формировании прироста сосны не всегда приводит к снижению радиального прироста пропорционально силе засухи. Это в какой-то мере нарушает связь циклических колебаний прироста сосны и засушливых лет в Центральной лесостепи. Кроме того, в зависимости от распределения осадков по месяцам, температурного режима и внутренних факторов может

происходить сдвиг минимального прироста на 1 и даже 2 года.

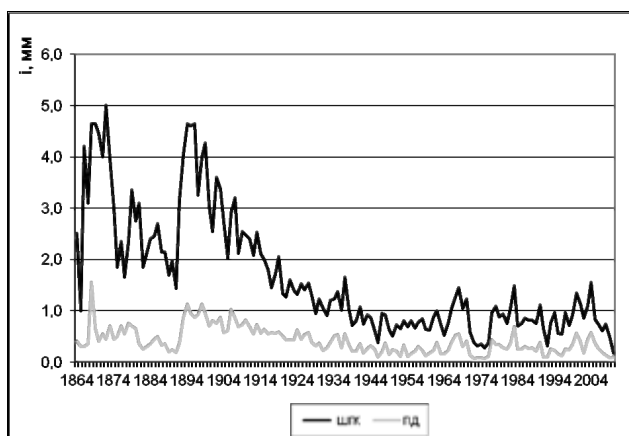
В радиальном приросте древостоев в кв. 45 особенно узкие годичные кольца отмечены в следующие годы: 1897, 1905, 1909, 1911, 1921, 1924, 1939–1940, 1946, 1949–1950, 1959, 1963–1964, 1972–1974, 1981, 1992, 1995–1996, 2002, 2006. Глубокие минимумы прироста наблюдали в 1939–1940, 1949, 1972–1973, 1995–1996 гг.

По данным С.М. Матвеева (2003), в свежих борах и суббоях (А₂-В₂) Центральной лесостепи доля поздней древесины сосны в общем приросте составляет в среднем 31–36 %. Установлено увеличение доли поздней древесины сосны в ширине годичного кольца до 50–70-летнего возраста во всех типах лесорастительных условий, после чего наблюдается некоторое её снижение.

Наше исследование в кв. 45 Усманского бора показало увеличение доли поздней древесины в древостое сосны к 60 годам, снижение в течение 20 лет, вторичный подъём в 90-летнем возрасте (несколько меньший, чем в 60-летнем) и далее снижение до гибели деревьев в 110-летнем возрасте (табл. 6). Средняя доля поздней древесины в общем приросте

Таблица 6. Средняя по десятилетиям ширина годичных колец и поздней древесины у сосны, доля зоны поздней древесины в лесорастительных условиях свежей субори (В₂), кв. 45

Годы	Прирост, мм	Поздняя зона, мм	Поздняя зона, %
1900-1909	3,37	0,84	24,9
1910-1919	2,39	0,60	25,1
1920-1929	1,58	0,53	33,5
1930-1939	1,60	0,50	31,3
1940-1949	1,39	0,48	34,5
1950-1959	1,16	0,47	40,5
1960-1969	0,91	0,34	37,4
1970-1979	0,78	0,28	35,4
1980-1989	0,83	0,33	39,8
1990-1999	0,56	0,20	35,7
2000-2009	0,53	0,17	32,1
Среднее	1,37	0,43	31,4

Рис. 2. Средние значения (i , мм) ширины годичных колец и поздней древесины сосны обыкновенной в кв. 85, выдел 4, Усманского бора

сосны составила 31,4 % (диапазон колебаний от 24,9 до 40,5 %).

Глубокие минимумы прироста поздней древесины в древостоях сосны кв. 45 характеризуются четкой циклической повторяемостью и наблюдались в следующие годы: 1911, 1922, 1931, 1939, 1952, 1963, 1972, 1981, 1992, 2002 (рис. 1). В приросте прослеживается солнечный цикл (Швабе-Вольфа) длительностью около 11 лет, а также магнитный цикл (Хейла)

длительностью 20–24 года колебаний солнечной активности.

В кв. 85 наиболее глубокие минимумы прироста одновременно ширины годичных колец и поздней древесины наблюдались в следующие годы: 1889, 1905, 1946, 1964, 1972–1976, 1992, 1996, 2002, 2009–2010 (рис. 2).

В сосняке Хреновского бора (кв. 513) узкие годичные кольца отмечены в следующие годы: 1905, 1911, 1915, 1926, 1939–1940,

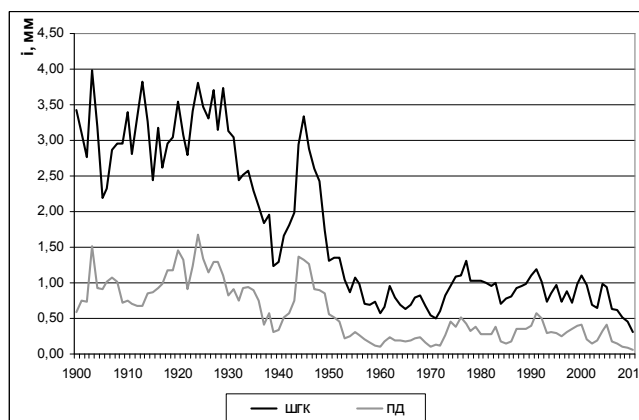


Рис. 3. Средние значения (i , мм) ширины годичных колец и поздней древесины сосны обыкновенной в кв. 513, выдел 8, Хреновского бора

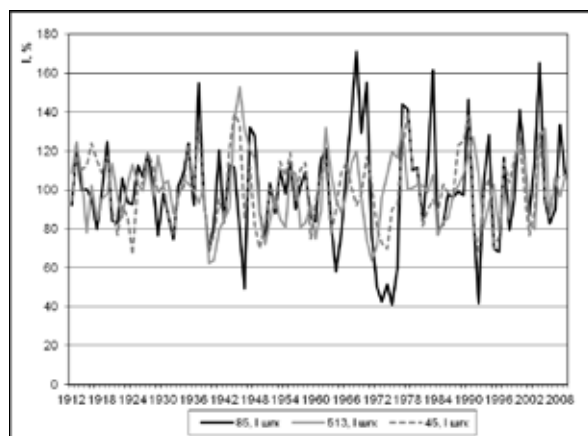


Рис. 4. Индексы прироста (I , %) ширины годичных колец сосны обыкновенной в кв. 45 и 85 (Усманский бор) и 513 (Хреновской бор)

1954, 1960–1961, 1972, 1984–1985, 1992, 1996, 2002–2003, 2009 (рис. 3). Глубокие минимумы прироста были в 1905–1906, 1939–1940, 1971–1972 и с 2006 по 2009 гг. Здесь хорошо прослеживается цикл Брикнера длительностью 32–34 года.

Циклы разных порядков лучше прослеживаются в индексированных рядах радиального прироста (рис. 4). Глубокие минимумы радиального прироста сосны во всех трёх древостоях (кв. 45, 85 и 513) наблюдались в 1939–1940 и 1972–1975 гг.

Цикличность индексов прироста годичных колец в обследованных древостоях, ГТК и чисел Вольфа, возрастание их синхронности с середины 1970-х гг. до настоящего времени представлены на рис. 5. Спектральный анализ изменчивости временных рядов, а также анализ периодограмм, построенных с применением окна Хемминга (сглаживание значений периодограммы взвешенным способом средних), дал следующие результаты.

В рядах ширины годичных колец периоды, соответствующие полосам частот с увели-

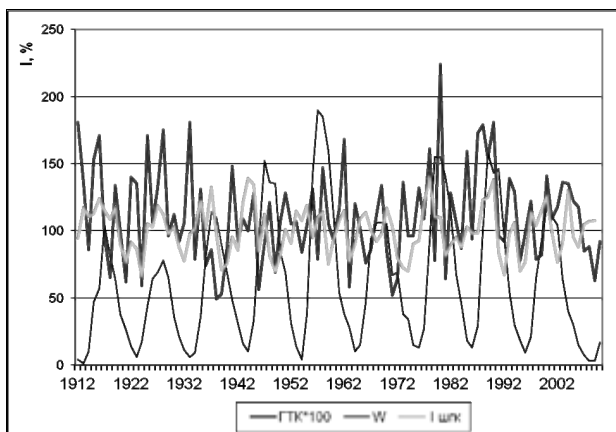


Рис. 5. Динамика индексов ширины годичных колец сосны (I , %) в кв. 45 Усманского бора, ГТК за март-сентябрь и чисел Вольфа (W)

ченной спектральной плотностью, не одинаковы (в 45 кв. – 14,8, 10,7 и 3,9 года, в 85 кв. – 12,2 года, в 513 кв. – 18,3 и 11,0 лет). В индексированных рядах ширины годичных колец максимальная спектральная плотность наблюдается при периоде колебаний 10,5–10,9 года, а индексов поздней древесины – 9,8–10,5 года.

Частота 11,1 абсолютно превалирует в ряду чисел Вольфа. Здесь кроме этой частоты лишь слегка проявляется повышение плотности на частоте 37,0.

В несглаженных рядах осадков и ГТК высокая спектральная плотность наблюдается на высокочастотных колебаниях, также данные ряды показывают несколько значимых пиков низкочастотных колебаний (8,9–9,4; 15,3; 32,7 и 61 год). Причем цикл Брикнера (32,7 года) в ряду ГТК выражен очень высоким пиком.

Более детальный анализ цикличности прироста сосны обыкновенной в Центральной лесостепи и солнечной активности (с применением спектрального, кросс-спектрального и визуального графического анализов) приведен в ранее опубликованной работе (Матвеев, 2005).

С 1900 до 1950 гг. минимумы осадков и ГТК чаще наблюдаются при высоких значе-

ниях солнечной активности, максимумы – в эпохи минимума. С 1950-х гг. и до 1975 г. амплитуда колебаний ГТК сравнительно низкая и наблюдается переход от более выраженных обратных связей (между экстремумами ГТК и числами Вольфа) к прямым. С середины 1970-х гг., резко увеличилась амплитуда колебаний атмосферных осадков и температур воздуха и, соответственно, ГТК. Три мощных пика (два одинарных, третий множественный) синхронизированы с эпохами максимумов солнечной активности. Глубокие минимумы наблюдались в эпохи минимумов солнечной активности.

Количественная оценка степени сходства дендрошкал достаточно сложна. Наиболее высокие корреляционные связи наблюдаются между радиальным приростом различных частей ствола одного дерева. Связи между разными деревьями одного насаждения или одних лесорастительных условий более слабые, но достаточно высокие (коэффициент корреляции 0,6–0,7). Нами проведен попарный корреляционный анализ рядов ширины годичных колец пяти кернов с пяти деревьев сосны обыкновенной, произрастающей в кв. 45 выдела 2, как между собой, так и с поздней

Таблица 7. Результаты попарной корреляции ширины годичных колец (i) и поздней древесины (ПД) у пяти кернов, взятых с пяти деревьев сосны обыкновенной, кв. 45

i1/i2	i1/i3	i1/i4	i1/i5	i2/i3	i2/i4	i2/i5	i3/i4	i3/i5	i4/i5
1911 – 2010									
0,71	0,63	0,83	0,74	0,80	0,83	0,83	0,79	0,83	0,91
1895 – 2010									
				0,77	0,72	0,92	0,73	0,81	0,81
i1/П.Д.1	i2/П.Д.2	i3/П.Д.3	i4/П.Д.4	i5/П.Д.5					
0,73	0,63	0,74	0,76	0,88					
ПД1/ ПД2	ПД1/ ПД3	ПД1/ ПД4	ПД1/ ПД5	ПД2/ ПД3	ПД2/ ПД4	ПД2/ ПД5	ПД3/ ПД4	ПД3/ ПД5	ПД4/ ПД5
1911 – 2010									
0,48	0,41	0,58	0,47	0,61	0,51	0,50	0,57	0,65	0,80
1895 – 2010									
				0,49	0,60	0,41	0,58	0,60	0,67

древесиной, а также рядов поздней древесины между собой (табл. 7).

Среднее (и наиболее характерное) значение коэффициента корреляции ширины годичных колец с поздней древесиной – 0,75. Корреляция индивидуальных рядов пяти деревьев между собой несколько возрастает при уменьшении анализируемого интервала за счет исключения начальных колец. Корреляционная связь поздней древесины пяти деревьев значительно ниже, чем общей ширины годичных колец. Корреляция индексов прироста ширины годичных колец и поздней древесины во всех обследованных древостоях имеет близкие значения (0,7–0,8).

Проведенный нами корреляционный анализ для пар индексов годичных колец и климатических показателей (осадки апрель–октябрь, ГТК май–сентябрь), а также солнечной активности выявил во всех случаях лишь слабые или умеренные связи (табл. 8).

Наиболее высокое значение коэффициента корреляции (0,42 – умеренная связь) выявлено трижды: для индексов прироста сосны Усманского бора (кв. 45) с ГТК (причем одинаково за интервалы 1896–2009 и 1975–2009 гг.)

и тех же индексов с осадками теплого периода за интервал 1975–2009 гг.

Попарная корреляция индексов поздней древесины с климатическими показателями во всех случаях ниже и варьирует от 0,22 до 0,32.

Попарный корреляционный анализ чисел Вольфа, ГТК и осадков за период апрель–октябрь подтверждает заключение графического анализа (возрастание синхронности их колебаний с середины 1970-х гг. до настоящего времени). За временной интервал 1873–2010 гг. коэффициент корреляции равен 0,06–0,07, тогда как за временной интервал 1975–2010 гг. его значение резко возрастает до 0,27–0,30 (табл. 8).

Заключение

Анализ многолетних изменений климатических параметров в Восточно-Европейской лесостепи (по данным наблюдений метеостанции «Воронеж») выявил растущие тренды увлажнения и среднегодовых температур воздуха, снижение континентальности на фоне значительных циклических колебаний. С середины 1970-х гг. колебания лимитирующих прирост древесных растений факторов

Таблица 8. Результаты попарной корреляции рядов значений индексов ширины годичных колец и поздней древесины, чисел Вольфа и ГТК

W / ГТК	W / P4-10	P4-10 / I 85/4 шгк	ГТК / I 85/4 шгк	ГТК / I 45/2 шгк	P4-10 / I 45/2 шгк
1873–2010		1873–2009		1896–2009	
0,07	0,06	0,29	0,29	0,42	0,39
W / ГТК	W / P4-10	P4-10 / I 85/4 шгк	ГТК / I 85/4 шгк	ГТК / I 45/2 шгк	P4-10 / I 45/2 шгк
1975–2010		1975–2009		1975–2009	
0,30	0,27	0,34	0,31	0,42	0,42
		P4-10 / I 85/4 пд	ГТК / I 85/4 пд	ГТК / I 45/2 пд	P4-10 / I 45/2 пд
		1873–2009		1896–2009	
		0,23	0,22	0,31	0,29
		P4-10 / I 85/4 пд	ГТК / I 85/4 пд	ГТК / I 45/2 пд	P4-10 / I 45/2 пд
		1975–2009		1975–2009	
		0,28	0,25	0,26	0,32

Примечание. W – числа Вольфа, P4-10 – осадки апрель-октябрь, ГТК – май-сентябрь, I шгк – индексы прироста годичных колец, I пд – индексы прироста поздней древесины, 85/4, 45/2 – квартал/выдел.

в Восточно-Европейской лесостепи проходят в синфазе с 11-летним циклом солнечной активности. До этого времени преобладали асинхронные колебания. Наложение минимумов 11-летнего, Брикнера и векового циклов солнечной активности в комплексе с изменениями климата и подстилающей поверхности, вызванными антропогенным воздействием, очевидно, послужило причиной аномальной синоптической обстановки лета 2010 г.

Годы наиболее сильных засух (1939, 1972, 2010) характеризуются не менее чем двухлетним недостатком атмосферных осадков и аномальными температурами воздуха теплого периода. Циклическая динамика засух отражается в радиальном приросте сосны обыкновенной синхронно, но не строго пропорционально силе засухи, и может происходить сдвиг минимального прироста на год.

Список литературы

- Агафонов Л.И., Кукарских В.В. (2008) Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала. *Экология* 3: 173–180.
- Арбатская М.К., Ваганов Е.А. (1997) Многолетняя изменчивость частоты пожаров и прироста сосны в средней подзоне тайги Средней Сибири. *Экология* 5: 330–336.
- Балыбина А.С. (2005) Климатические факторы динамики радиального прироста хвойных пород деревьев в лесных фитоценозах Предбайкалья. Иркутск: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук., 23 с.
- Борисов А.А. (1975) Климат СССР в прошлом, настоящем и будущем. Л.: Издательство Ленинградского университета, 432 с.
- Булгына О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. (2010) Погода на территории Российской Федерации в 2010 году. http://www.meteo.ru/climate_var/sp.php?id_article=18

Валендик Э.Н., Иванова Г.А. (1990) Экстремальные пожароопасные сезоны и их реконструкция. Свердловск: Тез. докл. V Всесоюз. совещ., с. 30.

Герасимова О.В., Жарников З.Ю., Кнорре А.А., Мыглан В.С. (2010) Климатически обусловленная динамика радиального прироста кедра и пихты в горно-таежном поясе природного парка «Ергаки». Журнал Сибирского федерального университета, Биология 1: 18–29.

Густокашина Н.Н., Максютова Е.В. (2006) Тенденции изменения засушливости в степи и лесостепи Предбайкалья. География и природные ресурсы 4: 76–81.

Карбаинов Ю.М., Моложников В.Н. (1986) Дендроиндикация периодичности возникновения лесных пожаров. В: Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск, Наука, с. 194–199.

Комин Г.Е. (1967) Влияние пожаров на возрастную структуру и рост северотаежных заболоченных сосняков Зауралья. В: Типы и динамика лесов Урала и Зауралья. Свердловск, Тр. ин-та экологии растений и животных УРАН СССР (53), с. 207–211.

Костин С.И. (1958) Основы метеорологии и климатологии. Л.: Гидрометеиздат, 404 с.

Ленская О.Ю., Ботова М.Г. (2011) Особенности текущих климатических изменений в регионе Южного Урала. Вестник Челябинского государственного университета. Экология. Природопользование 5: 44–49.

Матвеев С.М., Чеботарев В.В. (2002) Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов. Изв. вузов. Лесн. журн. 2: 36–41.

Матвеев С.М. (2003) Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Издательство ВГУ, 272 с.

Матвеев С.М. (2005) Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности. Изв. вузов. Лесн. журн. 1-2: 14–21.

Мелехов И.С. (1979) Значение структуры годичных слоев и её динамики в лесоводстве и дендроклиматологии. Изв. вузов. Лесн. журн. 4: 6–14.

Молчанов А.А. (1976) Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 167 с.

Панюшкина И.П., Арбатская М.К. (1999) Дендрохронологический подход в исследовании горимости лесов Эвенкии. Сибирский экологический журнал 2: 167–173.

Погода и климат – Климат Воронежа (2011) <http://www.pogoda.ru.net/climate/34123>

Скомаркова М.В., Ваганов Е.А., Вирт К., Кирдянов А.В. (2009) Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири. География и природные ресурсы 2: 80–85.

Скрябин М.П. (1946) Вековые циклы природных условий и боровая лесная растительность лесостепи. М.: Материалы по изучению причин усыхания дуба в лесостепной зоне. Труды Воронежского государственного заповедника т. 3, с. 89–108.

Скрябин М.П. (1964) Условия среды и взаимоотношения между древесными породами в Усманском бору в ходе последнего векового цикла. Труды Воронежского государственного заповедника. 14: 42–46.

Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. (2008) Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. География и природные ресурсы 2: 74–79.

Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. (2011) Агриметорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет. Труды Гидрометцентра России 345: 171–188.

Таранков В.И. (1991) Лесная климатология. Воронеж: Политехнический институт, 83 с.

Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. (1997) Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 140 с.

Шубкин Р.Г., Осколков В.А., Воронин В.И. (2006) Метод дендрохронологии: выявление крупномасштабных лесных пожаров и градаций хвоегрызущих насекомых. Лесное хозяйство 2: 45–47.

Solar Influences Data analysis Center. (2011) <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>

Recurrence of Severe Droughts and Long-Term Dynamics of Radial Increment of the Scots Pine in the Usman and Khrenovoe Forests in the Voronezh Region

**Sergey M. Matveev,
Svetlana V. Matveeva and Yuriy N. Shurygin**
*Voronezh State Academy of Forestry Engineering,
8 Timiryazeva st., Voronezh, 394087 Russia*

Studied the cyclic dynamics of limiting growth trees climatic factors (using a series of observations of weather station "Voronezh") and the growth of Scots pine stands in the Usman and Khrenovoe pine forests of the Voronezh region. The conditions of severe drought and weather conditions of the fire in 2010 in Voronezh have been analyzed. In the secular dynamics of droughts (and radial increment of Scots pine) in the Central forest-steppe region easily traced cycles: the 11-year (solar or Schwabe-Wolf), magnetic (Hales), Brikners with important prognostic value. Since the mid-1970-s variations in climatic factors (precipitation during the warm period, the moisture conditions presented by hydrothermal coefficient) in the Central forest-steppe are in phase with the 11-year cycle of solar activity. The main meteorological factor affecting the growth of pine trees forming a precipitation of the warm period (April-October). Radial increment of Scots pine response to drought conditions simultaneously or with a delay of one year. Severe drought in the forest-steppe zone (1939, 1972, 2010 years) observed only after two or three or more years with a significant lack of rainfall and necessarily accompanied by increased relative to the norm air temperatures. The drought in 2010 resulted from the decrease in precipitation from 2007 to 2009 (509, 485, and 428 mm, respectively, at the normal 570 mm) and abnormally high temperatures of summer 2010. One of the reasons for the temperature anomalies of summer 2010 likely is the overlay of minimum of 11 years and centuries-old cycles of solar activity (2008).

Keywords: Voronezh region, droughts, precipitation, air temperature, hydrothermal coefficient, solar activity, cyclicality, Pinus sylvestris, dendroclimatic analysis.
