

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 91:630 (581.5)

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ШИРИНА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ?

© 2016 г. О.Н. Соломина, В.В. Кузнецова, В.В. Мацковский, Е.А. Долгова

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: olgasolomina@yandex.ru, matskovsky@igras.ru, dolgovakat@gmail.com

Поступила в редакцию 22.09.2015 г.

До настоящего момента в Международном банке древесно-кольцевых данных для центра Европейской территории России (ЕТР) отсутствовали длинные хронологии. Этот пробел принято объяснять недостатком мотивации среди исследователей-дендрохронологов для работы на данной территории. Действительно, в связи с длительным и интенсивным антропогенным воздействием, в регионе практически не осталось старых деревьев, а климатический сигнал древесно-кольцевых хронологий зачастую неустойчив и зависит от комплекса природно-климатических параметров. В настоящей работе представлена новая дендрохронологическая сеть, состоящая из 9 древесно-кольцевых хронологий по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*) для территории диаметром в 450 км (54–57° с. ш. и 33–40° в. д.), максимальная длина хронологий составляет 297 лет, а также рассмотрен климатический отклик полученных хронологий. Прирост древесины на ЕТР зависит от температуры и осадков вегетационного периода. Все проанализированные хронологии значимо коррелируют ($r \leq 4$) с летними значениями индекса суровости засухи Палмера (PDSI). Все представленные в работе хронологии составлены из образцов, отобранных после суровой засухи 2010 г., которой была охвачена вся ЕТР. Это позволило провести пространственный анализ годичного кольца 2010 г., а также узких годичных колец, сформированных в годы суровых засух на протяжении XX века в контексте влияния засушливых лет на прирост древесины. Настоящее исследование послужит началом для работы над составлением новой сети древесно-кольцевых хронологий в целях исследования влияния засух на формирование годичного кольца на ЕТР в историческом прошлом.

Ключевые слова: дендрохронология, годичные кольца, климатический сигнал, Европейская территория России.

Введение. На европейской территории России динамику атмосферных и почвенных засух изучают больше столетия на основании непосредственных гидрометеорологических наблюдений [4, 5, 6, 9, 28], по историческим источникам [8, 10, 2, 3] и при помощи биоиндикационных методов [8, 15, 11, 16]. Дендрохронологический метод позволяет осуществлять реконструкции температуры воздуха, осадков, индексов засушливости, речного стока и др. [33]. Особенно эффективно его применение в тех районах, где влияние на прирост одного из факторов явно доминирует. В высоких широтах это, как правило, летняя температура, в аридных областях – количество осадков. Трудности возникают при попытках реконструировать климатические изменения в умеренном поясе, где на прирост деревьев влияют несколько

факторов одновременно. Однако опыт показывает, что эти трудности преодолимы. В частности, такие реконструкции выполнены на основе ширины и плотности колец сосны, ели, пихты и дуба в Германии [40, 59], Польше [51], Чехии [41], Швейцарии [37], Австрии [44] и в других районах.

Рассматриваемый подход в центральной части Восточно-Европейской равнины пока применялся sporadически, хотя его перспективы очевидны. Известно, что деревья в некоторых местообитаниях реагируют на дефицит влажности даже в северных районах [50], а Мак Дональд и др. [52], например, использовали это свойство для реконструкции стока северных рек России.

Имеются, однако, и ограничения метода. В частности, они связаны с небольшим количе-



Рис. 1. Расположение пробных площадей отбора образцов на дендрохронологический анализ.

ством сохранившихся высоковозрастных древостоев в этой староосвоенной территории и, что особенно важно, с комплексным климатическим сигналом, отражающим влияние разных климатических факторов на величину прироста деревьев в центре ареала их произрастания. Подробный анализ климатического сигнала, отраженного в ширине годичных колец хвойных на севере и в центральной части ЕТР показал, что в целом граница между деревьями, чувствительными к изменениям температур и гидротермического режима проходит примерно на уровне 55–60° с.ш. [18]. Теоретически, южнее этих широт по ширине годичных колец хвойных в некотором приближении можно восстановить изменения засушливости климата. Цель этой работы – более детальное исследование климатического сигнала, заключенного в ширине годичных колец и возможностей реконструкции условий увлажнения в центральной части ЕТР, в том числе на основе анализа новых древесно-кольцевых хронологий сосны, ели и дуба, построенных авторами в последние годы.

Район работ. Отбор образцов на дендрохронологический анализ проводился в Московской, Владимирской, Ярославской, Калужской, Костромской, Смоленской, Тверской и Тульской областях (рис. 1). Для этой территории характерен равнинный рельеф с относительными высотами до 400 м над у. м. Климат умеренно-континентальный, относится к умеренному поясу атлантико-континентальной европейской (лесной) области со среднегодовыми температурами воздуха 2–6 °С и суммарной солнечной радиацией – 3500–4200 мДж/м² в год. Сумма температур выше

10 °С составляет 1600–2400 °С. Среднегодовое количество осадков уменьшается с севера на юг и составляет от 600–700 мм/год на севере района до 400–500 мм/год – на юге. Территория района работ находится в природной зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Русской равнины [19].

На севере региона распространены еловые леса, южнее значительные площади заняты сосново-еловыми и елово-сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах бореального пояса (Московская и Смоленская области). В юго-западной части района преобладают широколиственные леса из дуба, липы и ясеня.

Материалы и методы. В работе для древесно-кольцевого анализа использованы образцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской (*Picea abies*) и дуба черешчатого (*Quercus robur*), отобранные путем kernового бурения в старовозрастных древостоях в мезотрофных условиях (табл. 1, см. рис. 1). Во всех районах удалось найти деревья, возраст которых превышает инструментальный период метеорологических наблюдений (120 лет и более). Самая продолжительная древесно-кольцевая хронология охватывает период с 1717 г. (Калужская область, сосна обыкновенная). Большинство хронологий построено по сосне обыкновенной, три хронологии – по дубу черешчатому, две – по ели европейской (см. табл. 1). Эта неравномерность объясняется объективными причинами, а именно – в этой части Восточно-Европейской равнины старовозрастные сосняки представлены более широко. Поскольку задача исследования – выявление климатического

Таблица 1. Список древесно-кольцевых хронологий, построенных для живых деревьев дуба черешчатого, ели европейской и сосны обыкновенной

Код площадки	Местоположение	N	E	Порода	Год начала	Год конца	Продолжительность серий, лет	Число лет с двумя и более сериями	Кол-во серий	Корреляция серий	Средняя чувствительность
Калужская область											
H256S ORP	Калуга, сосновый бор Лес у Оптиной Пустыни	54°31'48"	36°12'0"	сосна	1735	2013	279	276	37	0.468	0.255
		54°3'0"	35°49'48"	сосна	1717	2010	294	284	26	0.542	0.269
A05S	Борисоглебский р-н, с. Борисоглеб, сосно- вый бор	57°15'0"	39°9'36"	сосна	1864	2013	150	129	25	0.504	0.233
Ярославская область											
Смоленская область											
F04S	На границе Смолен- ской и Калужской областей, залежь	55°6'0"	34°14'24"	сосна	1895	2014	120	117	19	0.550	0.227
Костромская область											
KL	Заповедник Коло- гривский лес	59°38'24"	44°38'24"	ель	1713	2009	297	273	21	0.548	0.258
K06S	Окрестности г. Кологрива, пионер- ский лагерь	58°52'12"	44°13'48"	сосна	1818	2012	195	195	23	0.455	0.226
Тверская область											
PANS SHIR	У дер. Панюки Дорога на Ширков погост	57°3'0"	33°18'0"	сосна	1897	2010	114	104	16	0.585	0.213
		57°2'24"	32°43'48"	сосна	1826	2010	185		20	0.583	0.249
PACH	Кладбище у дер. Пачково у оз. Глубочица	57°14'24"	33°7'12"	сосна	1843	2010	168	166	11	0.482	0.236
CTZ	Центрально-Лесной заповедник	56°30'0"	32°55'12"	ель	1885	2014	130	130	20	0.495	0.242
Московская область и Москва											
M10S	Район Спас-Клепики, Мещерское, остров на р. Пра	55°14'24"	40°1'12"	сосна	1864	2014	151	141	30	0.501	0.229
M10D	Москва, Измайлов- ский лесопарк	56°16'12"	38°15'0"	дуб	1836	2014	179	172	28	0.559	0.233

Таблица 1 (окончание)

Код площадки	Местоположение	N	E	Порода	Год начала	Год конца	Продолжительность серий, лет	Число лет с двумя и более сериями	Кол-во серий	Корреляция серий	Средняя чувствительность
M11D	Москва, Главный ботанический сад	55°6'0"	37°6'0"	дуб	1796	2014	218	181	7	0.585	0.203
ZVS	Звенигород, на валах церкви на Горшке	55°43'48"	36°50'24"	сосна	1763	2010	248	238	24	0.495	0.299
DUBK	Деревня Дубки	56°6'36"	38°41'24"	сосна	1863	2010	148	144	9	0.496	0.232
OZER	Сосновый лес и вырубка у дер. Озеры	54°52'12"	38°29'24"	сосна	1872	2010	139	138	12	0.597	0.261
Тульская область											
SEL	Дендрарий Крапивинского лесхоза-техникума (с. Селиваново)	53°59'24"	37°25'48"	дуб	1812	2014	203	193	23	0.599	0.217

сигнала, влияющего на прирост древесины, мы отбирали образцы в сходных условиях местообитаний для того, чтобы максимально нивелировать локальные особенности роста отдельных деревьев и леса в целом. При отборе образцов предпочитали зрелый древостой в условиях умеренного увлажнения.

Все образцы, использованные в работе, отбирались приростным буром Пресслера на высоте 1–1.5 м от поверхности земли, по два керны из дерева. Дальнейшая обработка образцов проводилась в дендрохронологической лаборатории Института географии РАН в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [27, 43]. Керны были вклеены в деревянные подложки и отшлифованы для увеличения контрастности колец. Затем годовичные кольца были посчитаны и размечены по десять, пятьдесят и сто лет. Измерения ширины годовичных колец произведены на полуавтоматической установке LINTAB с точностью до 0.01 мм с последующей визуальной перекрестной датировкой [55]. С помощью программы COFESHA [48] проводился контроль качества измерений и поиск выпадающих и ложных колец.

Поскольку ширина годовичных колец, помимо климата, зависит от множества других факторов, в частности, от возраста деревьев, в дендрохронологии принято использовать не абсолютные величины приростов, а их относительные значения – индексы ширины колец. Выбор способа индексирования зависит от задачи исследования [42]. В этой работе возрастной тренд удалялся путем деления значения ширины кольца в каждый год на значение аппроксимирующей функции в этот год. Для этого использовалась программа ARSTAN [42] и отрицательная экспонента либо линейная функция в качестве аппроксимирующей функции. Затем для каждой пробной площади строилась сводная локальная хронология путем погодичного осреднения индексов прироста каждого дерева.

Для выявления связей ширины колец с метеорологическими показателями мы использовали ежемесячные значения минимальной, максимальной, средней температуры воздуха и количества атмосферных осадков, и агроклиматические характеристики: годовые суммы температур больше 0 °C ($T > 0$), 5 °C ($T > 5$), 10 °C ($T > 10$) и 15 °C ($T > 15$), суммы осадков за период с отрицательной температурой $P(T < 0)$, с температурами больше 0 °C $P(T > 0)$, 5 °C $P(T > 5)$, 10 °C $P(T > 10)$ и 15 °C $P(T > 15)$ и гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), полученные по суточным данным. В работе использованы также

сеточные архивы CRU TS 3.23 (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>) с ежемесячными значениями за период 1901–2005 гг. и с разрешением 0.5° по широте и долготе [46] – минимальные, максимальные и средние температуры воздуха, осадки, облачность (в %), амплитуда суточных температур, частота морозных дней, частота дней с осадками и давление водяного пара, архив индекса суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI; <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.pdsi.html>) с 1850 по 2010 г. в узлах сетки с разрешением 2.5° по широте и долготе [57], архив модельных данных по глобальной влажности почв CPC Soil Moisture [45], NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>) с разрешением 0.5° по широте и долготе за период с 1948 г. Расчет корреляционных связей между шириной колец и метеорологическими показателями, а также индексами засухливости проводился по методике В.В. Мацковского [18].

Для оценки устойчивости климатического сигнала во времени была использована климатическая функция отклика, которая, в отличие от корреляционных связей, рассчитывается как регрессия на главные компоненты. При таком расчете учитывается взаимная корреляция климатических параметров и, следовательно, уменьшается вероятность обнаружения случайных корреляционных связей с приростом деревьев. Для этого в работе использовалась программа DendroClim [36], в которой корреляция Пирсона и климатическая функция отклика была посчитана для 15 месяцев, а именно с мая по декабрь предшествующего приросту года, а также с января по октябрь текущего года.

В работе также представлен анализ отдельных лет с положительными и отрицательными аномалиями прироста у значимой части деревьев [53, 54, 56]. Реперными считались годы, в которые больше 30% деревьев имеют прирост больше (меньше) одного стандартного отклонения. Расчет производился после высокочастотной фильтрации исходных рядов измерений 13-летним скользящим средним. Это позволило устранить влияние возраста и локальных факторов. При наличии нескольких лимитирующих факторов такой анализ может дать дополнительную информацию об их влиянии на синхронный аномальный прирост деревьев. Для определения реперных лет была использована программа PointerYears (<http://paleoglaciology.org/ru/TreeRingLab/>).

Результаты. Статистический анализ связи ширины колец с метеорологическими характеристиками. Анализ функции отклика при помощи

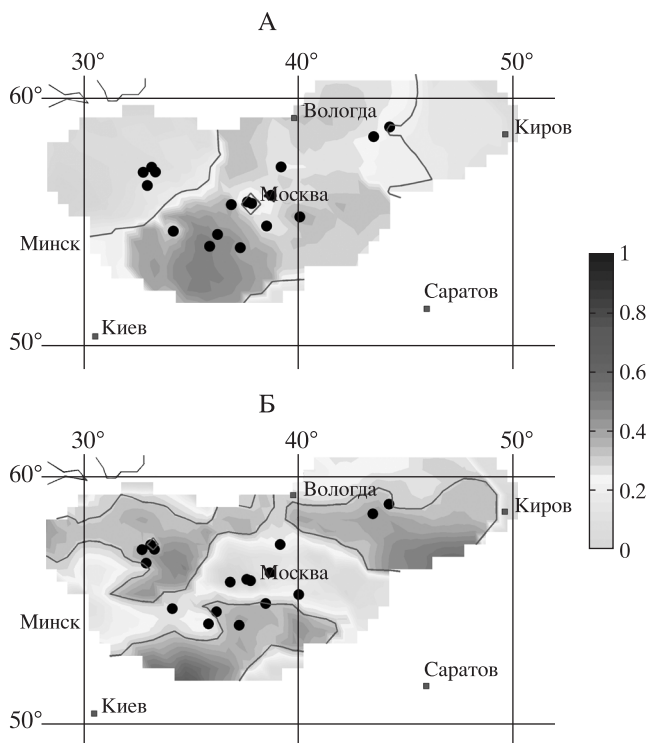


Рис. 2. Корреляция хронологий сосны, ели и дуба с индексами засухливости PDSI (А) и CPC (Б). Методика построения карт описана В.В. Мацковским [17].

программы DendroClim для хронологий по сосне, ели и дубу показал следующие результаты.

Из рассмотренных трех хронологий по дубу (Московская (M10D, M11D) и Тульская (SEL) области) у московских хронологий прослеживается слабый отклик на средние температуры мая–августа и индекс PDSI (только M11D), в то время как тульская хронология оказалась чувствительна преимущественно к индексу PDSI за текущий год. Тверская хронология ели (CTZ), в целом, оказалась более чувствительной как к температурам зимы и весны текущего года, так и к индексу PDSI. Костромская хронология (KL) показывает отклик на количество летних осадков за предшествующий год и более слабый, чем CTZ отклик на PDSI как за текущий, так и за предшествующий годы. Кроме того, Костромская хронология оказалась единственной среди всех рассмотренных нами, чувствительной к ГТК.

Большинство хронологий по сосне чувствительны к индексу PDSI, как за текущий, так и за предшествующий годы. К средним температурам чувствительны лишь несколько хронологий (например, F04S – к зимним температурам предыдущего года, H256S, ZVS и OPP – к осенне–зимним температурам текущего года и пр., табл. 2). Большинство хронологий не демонстрируют выраженной связи с агроклиматическими характеристиками.

Таблица 2. Обобщенные данные реакции приростов древесины сосны, ели и дуба на метеорологические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Ярославская	сосна	A05S	P+	июнь	P–	апрель
			CPC+	июль		
			CPC+	август		
			CPC+	сентябрь		
			T–	июль		
Костромская	сосна	K06S	T+	ноябрь	CPC+	январь
					T–	июнь
					T–	август
	ель	KL	CPC+	год	T–	февраль
			PDSI+	год	CPC+	октябрь–сентябрь
			T–	июнь	PDSI+	октябрь–сентябрь
			T–	июль		
			T–	август		
Тверская	ель	CTZ	P–	декабрь	P–	октябрь–сентябрь
			T+	декабрь	P–	октябрь–март
					P–	май–август
					P–	январь
					P–	август
					T–	май–август
					T–	июнь–июль
	сосна	PACH	T+	апрель	T+	октябрь–сентябрь
			T+	ноябрь	T+	апрель
		PANS	P+	август	CPC+	год
			CPC+	год	PDSI+	год
			PDSI+	год	T+	май
			T+	апрель	T+	октябрь–март
			T–	август	T+	август
					T–	июнь
					T+	октябрь–сентябрь
		SHIR	PDSI+	август–ноябрь	CPC+	октябрь–сентябрь
			CPC+	июнь–декабрь	CPC+	октябрь–март
			T–	июнь		

Таблица 2 (продолжение)

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Смоленская	сосна	F04S	CPC+	год	PDSI+	март
			T+	май	PDSI+	апрель
			T+	август	PDSI+	май
					CPC+	год
					T+	август
					T–	июнь
					T+	октябрь–сентябрь
					T+	октябрь–март
Московская	дуб	M10D	нет сигнала			
	сосна	M10S	P+	декабрь	P+	июль
			T+	апрель	P+	октябрь–сентябрь
			T+	июнь	P+	июнь–июль
			T+	июль	T+	февраль–март
					T+	октябрь–сентябрь
					T+	октябрь–сентябрь
					T+	январь
	дуб	M11D	CPC+	июль	P+	июнь
			CPC+	июнь		
			PDSI+	год		
			T–	октябрь		
			P+	июнь		
	сосна	OZER	PDSI+	год	P+	октябрь–март
			CPC+	год		
			P+	декабрь		
	сосна	ZVS			T–	май–август
					CPC+	июль
					P+	март
					T+	октябрь–март
	сосна	DUBK	P–	апрель	T+	январь
					P+	март
Калужская	сосна	H256S	P+	август	P+	март
			T+	июль	T+	сентябрь
			T+	декабрь	T+	октябрь–сентябрь
			P+	март	PDSI+	март
					PDSI+	февраль
			CPC+	год	T+	октябрь–март

Таблица 2 (окончание)

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Тульская	сосна	OPP	T+	июнь	T+	февраль
					T+	март
					T+	июнь–июль
					T+	октябрь–сентябрь
			T+	июль	CPC+	год
	дуб	SEL			T+	октябрь–март
			P+	август	P+	август
			PDSI+	июль–декабрь		
			CPC+	август		
			CPC+	сентябрь		
			CPC+	октябрь		

ми и лишь две (PANS и SHIR) проявили слабую чувствительность к годовым суммам температур 0°C ($T > 0^{\circ}$), 5°C ($T > 5^{\circ}$) и 15°C ($T > 15^{\circ}$).

Статистический анализ показывает, что значимые корреляционные связи хронологий с метеопараметрами отмечаются довольно часто, но теснота этих связей не очень велика – коэффициент корреляции редко превышает ($r = 0.5$, $p < 0.05$). Это и понятно, поскольку в условиях умеренной зоны на прирост деревьев влияют одновременно многие климатические факторы. Результаты ана-

лиза в обобщенном виде показаны в табл. 2. Из таблицы видно, что наиболее часто встречаются положительные связи приростов с температурой периода осени-зимы-весны, с весенне-летними осадками, а также с индексами засушливости (PDSI и CPC), преимущественно за предшествующий год. Интересно, что ни одна из хронологий не показала связи с коэффициентом Селянинова. Хронологии, чувствительные к индексам засушливости, имеют положительные связи с количеством осадков июля или августа, что подтверждает чувствительность деревьев к засухам.

Пространственные корреляции локальных хронологий с индексами засушливости показаны на рис. 2А, Б. С индексом PDSI положительно коррелируют все хронологии, за исключением компактной группы хронологий, расположенных на северо-западе региона и московских хронологий дуба черешчатого. Интересно, что они, тем не менее, коррелируют с индексом влажности почв (рис. 2Б), однако связь с этим параметром ослабевает для нескольких хронологий Москвы и Подмосковья. В целом, поля значимых положительных корреляций ширины годичных колец с индексами засушливости занимают обширную площадь и отражают тенденцию к положительной связи всех трех видов деревьев с индексами сухости.

Таким образом, результаты корреляционного анализа показывают, что наиболее перспективным является поиск связей ширины годичных колец ели, сосны и дуба в диапазоне между 60 и 50° с.ш. и 30 – 50° в.д. с комплексными показателями засушливости (увлажненности), однако дополнительные данные, в частности, новые

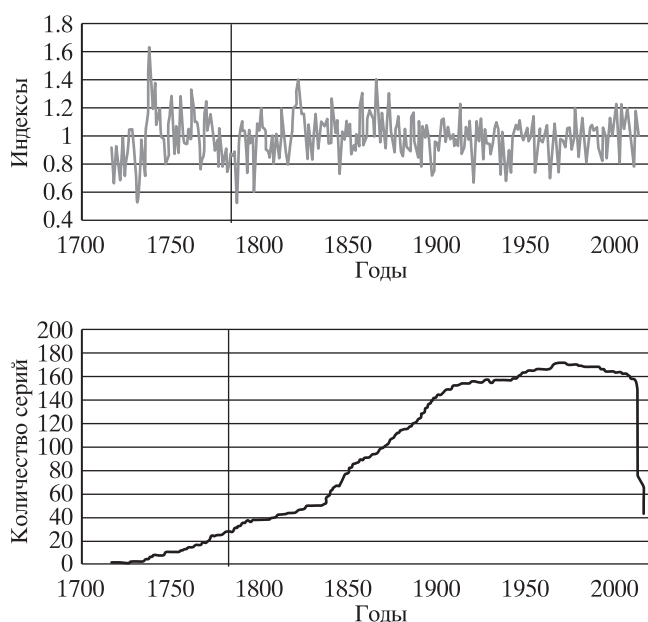


Рис. 3. Сводная хронология ширины годичных колец сосны SENS (ARSTAN) за 1717–2014 гг. для Тверской, Московской и Калужской областей. EPS > 0.85 (надежная хронология) – с 1779 г.

Таблица 3. Корреляция индексов ширины колец сводной хронологии сосны SENS с метеорологическими данными

Хронология SENS: 55.7 N, 37.5 E; (1717-2014)																								
Архив 223		IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X p-IX	X p-III	IV-IX	-VIII	VI-VII
27612, 16.6 км, (1948–2008)	Т мин				0.31					0.33	0.38		0.31						0.3	0.5	0.52			
	Т средн					-0.28				0.39	0.27	0.26	0.33						0.28	0.49	0.48			0.26
	Т макс					-0.33							0.29							0.3	0.38			
	Осадки				0.33								0.28	0.41							0.41			
Архив 455																								
27612, 12.8 км, (1939–2007)	Т средн					-0.27	-0.23			0.31	0.23	0.19	0.2						0.24	0.25	0.32			
	Осадки					0.35				0.27		0.25	0.35								0.39			
Архив 476																								
27612, 16.3 км, (1948–2006)	Т средн						-0.39			0.35									0.27	0.38	0.39			
Индекс PDSI																								
56.25 N, 38.75 E, 99.2 км, (1870–2005)																								
						0.22	0.3	0.23	0.24	0.25	0.27	0.3	0.26	0.29	0.3	0.29	0.31	0.2	0.3	0.26	0.3	0.31	0.3	
Индекс CPC																								
55.75 N, 37.25 E, 16.7 км, (1948–2009)																								
						0.35	0.42	0.37	0.32	0.35	0.38	0.42	0.5	0.51	0.44	0.37	0.32		0.48	0.41		0.4	0.39	0.36
CRU TS 3.0																								
55.75 N, 37.25 E, 16.7 км, (1901–2005)	Т мин			0.24						0.25	0.23	0.2							0.3	0.35	0.33			
	Т средн					-0.25	-0.25			0.26	0.23	0.2							0.27	0.26	0.3			
	Т макс					-0.23	-0.23			0.28									0.22	0.22	0.27			
	Осадки		0.23			0.27							0.25	0.22						0.25				0.22

Таблица 4. Годы аномального прироста сосны по сводной хронологии SENS

Годы минимального прироста			Реперные годы >30%
2 ст. откл.	1.5 ст. откл.	1 ст. откл.	
			1731 1732 1759
1782	1782 1783	1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786	
1787 1788	1787 1788	1787 1788 1789	1787
1797	1793 1797 1798	1793 1797 1798 1808 1812	1797
	1845	1845	1827 1845 1868
	1891 1897 1898	1891 1897 1898	1891 1897 1898 1914
1921	1921	1921 1926	1921
1939	1936 1939 1940	1936 1939 1940 1941	1936 1939 1940
1942	1942	1942	1942
1964	1956 1964 1969	1956 1964 1969	1956 1964 1969 1985
		1993 1996 2003 2011	1996 2003 2011

хронологии и их дендроклиматический анализ, требуются для ели и дуба.

Сводная хронология сосны, чувствительная к увлажненности. Более детальный анализ климатического сигнала, отраженного в годичных кольцах на рассматриваемой территории возможен только для хронологий сосны, из-за небольшого

количества имеющихся хронологий двух других пород. Путем объединения тех локальных хронологий сосны, которые показывают положительные статистически значимые корреляционные связи с индексами PDSI и CPC мы построили обобщенную сводную хронологию SENS, которая теоретически должна быть чувствительна к засушливости. В нее включены образцы семи локальных хронологий PANS, SHIR, ZVS, OZER, OPP, H256S, M10S, M13S, выявленные для Тверской, Московской и Калужской областей. Расстояние между крайними точками – 833 км с запада на восток и 504 км с севера на юг. Всего в хронологию SENS вошло 172 образца (рис. 3).

Корреляционный анализ этой хронологии с метеорологическими данными (табл. 3) показывает наличие положительных связей с индексами влажности почв и PDSI за весь предшествующий год или за более короткий период, а также с температурами и осадками холодного периода. Судя по величине коэффициентов корреляции, вклад всех трех групп этих факторов примерно одинаков. Это означает, что создать на основе этой хронологии надежную реконструкцию одного из этих факторов, по-видимому, не удастся.

Анализ минимумов прироста. По опыту предыдущих исследований [30, 31] известно, что даже при относительно низких коэффициентах корреляции ширины колец с метеорологическими показателями и комплексном климатическом сигнале, наиболее заметные аномалии приростов, особенно минимумы, все же соответствуют крупным климатическим аномалиям (табл. 4).

В табл. 4 приводятся годы наибольших отрицательных отклонений (2, 1.5 и 1 стандартных отклонений) ширины колец по хронологии сосны SENS. Кроме того, в ней приводятся реперные годы, то есть такие годы, когда угнетение испытывали более 30% всех древесно-кольцевых серий, вошедших в хронологию SENS. Как видно из таблицы, в целом наблюдается соответствие аномалий прироста по сводной хронологии сосны и реперных годов. Только в двух случаях (1827 и 1914 гг.) реперные годы не совпадают с аномалиями в сводной хронологии. Ниже приводится сопоставление годов аномального прироста по сводной хронологии и реперных лет с инструментальными и историческими данными. Годы с положительными аномалиями, как правило, менее репрезентативны в климатическом отношении. В наших хронологиях это – 1727, 1728, 1801, 1813, 1822, 1866, 1873, 1925, 1955 и 2001 гг.

Для анализа причин низкого прироста в 1921, 1939, 1942, 1964 и 2011 гг. (больше двух стандартных отклонений), мы оценили особенности

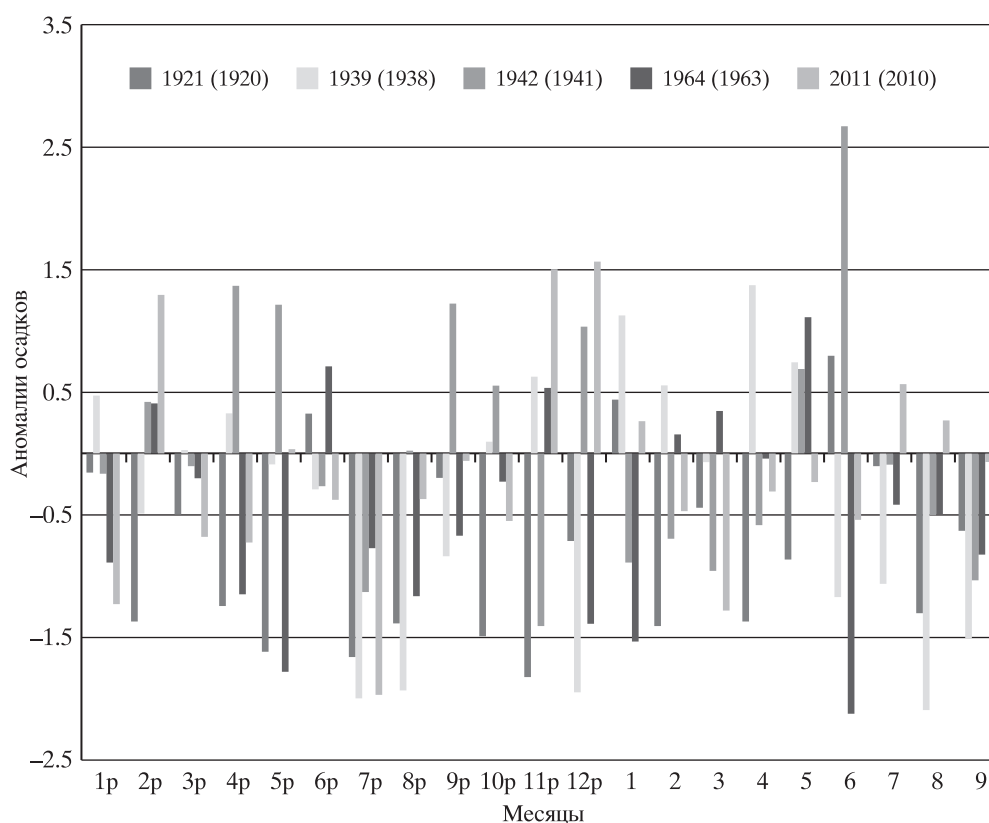


Рис. 4. Аномалии среднемесячной температуры и сумм осадков в годы низких приростов древесины сосны в 1921, 1935, 1941, 1964, 2011 гг.

1p–12p – месяцы предыдущего года, 1–12 – месяцы текущего года. Данные получены из архива CRU TS 3.22 за период 1901–2013 гг., осреднены для территории 52.5–57.5° с.ш., 32.5–40.5° в.д.

климатических условий в эти годы по инструментальным данным, обобщенным для территории 52.75–57.25° с.ш. и 32.75–40.25° в.д., определенной минимальным прямоугольником, включающим все выбранные для анализа пробные площади. Поскольку на величину прироста текущего года часто влияют условия предшествующего, что связано с накоплением в течение всего вегетационного периода запасных веществ в паренхимных клетках древесины [24], в этом анализе мы учли и 1920, 1938, 1941, 1963 и 2010 гг.

Материалы рис. 4 показывают, что, при всей пестроте картины годам с низким приростом сосны предшествовали аномально жаркие июль и август предыдущего года. Видно также, что при этом в годы аномально низкого прироста наблюдается тенденция к дефициту осадков, особенно в летние месяцы как предыдущего, так и текущего года, причем дефицит осадков во всех случаях наблюдался также в июле и в августе предыдущего года, а также в середине и конце зимы. Дополнительно к этим факторам следует учитывать и зимние температуры. Так, зима 1941–1942 гг. была очень холодной и малоснежной, а лето – дождливой и

холодным. В результате кольцо 1942 г. оказалось очень узким. Август 2010 г. стал самым жарким и сухим за весь рассматриваемый период, что, вероятно, вызвало минимальный прирост в 2011 г.

Осреднение климатических показателей для лет с минимальными приростами подтверждает выводы, приведенные выше для отдельных лет: на прирост отрицательно влияют холодные зимы и дефицит осадков за гидрологический год; кроме того, прирост уменьшается, если вторая половина лета предшествующего года была засушливой.

Особый интерес для анализа представляет 2010 г., когда на ЕТР наблюдались рекордно высокие температуры и скудные осадки [7]. Это произошло из-за исключительно устойчивой области высокого давления, которая преобладала в течение нескольких недель на ЕТР в период с раннего июля по середину августа и блокировала продвижение на восток западных воздушных масс, приносящих дождь и прохладную погоду. В Москве в июле 2010 г. был побит рекорд максимальных температур воздуха в 35.6 °С, установленный 11 июля 1996 г. Аномально высокими

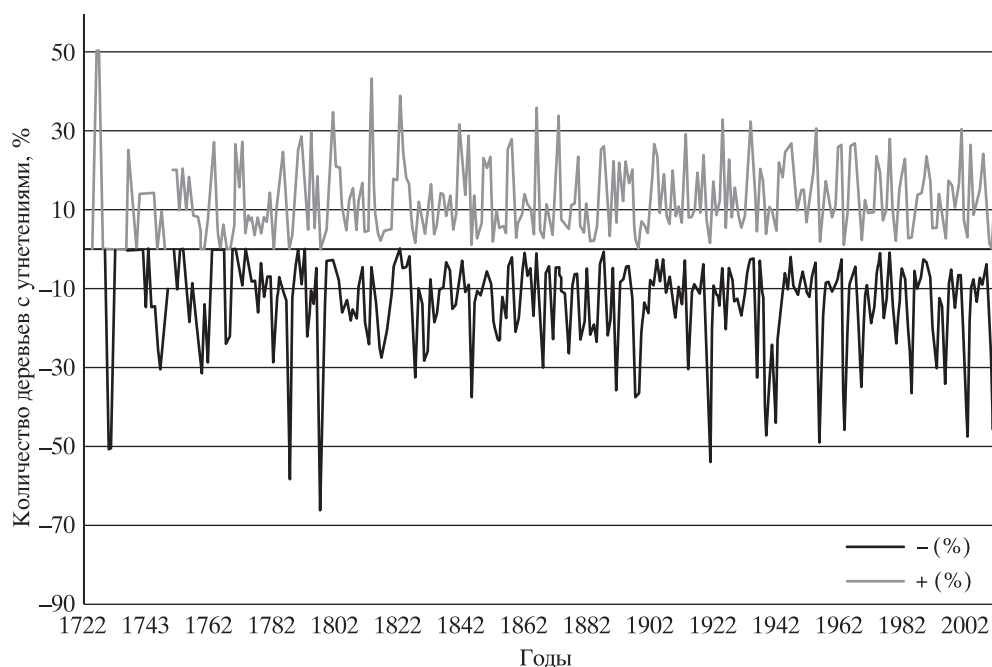


Рис. 5. Реперные годы в хронологии SENS.

были и ночные температуры. Показатель числа “тропических ночей” (минимальные ночные температуры $<20^{\circ}\text{C}$) для некоторых метеостанций в июле превосходил норму на 20°C . В Москве их было 16 при норме 0.5 в год. Норма осадков в центральной и южной частях ЕТР была на 100–200 мм ниже, чем в июне, июле и августе.

Из 14 рассмотренных нами хронологий сосны и дуба, расположенных в центре ЕТР от Костромской и Ярославской областей на севере до Тульской – на юге, в 2010 г. у семи наблюдалось угнетение приростов (в Ярославской, Калужской, Тверской и Московской областях). По количеству деревьев, испытавших угнетение, реперный 2011 г. сопоставим с десятью другими годами с наиболее сильным угнетением (рис. 5). В сводной хронологии SENS прирост сосны в 2010 г., однако, не был аномальным по сравнению с приростами за период 1779–2014 гг. Кольцо следующего, 2011 г., года – узкое (>1 стандартного отклонения), однако величина угнетения относительно небольшая. Скорее всего, отсутствие заметного угнетения в 2010 г. было связано с тем, что сильная жара началась во второй половине лета, когда кольцо уже было сформировано, поэтому прирост был аномально низким в следующем году.

Для анализа причин аномалий прироста сосны за пределами инструментального периода наблюдений были использованы исторические данные [2, 3, 34]. К сожалению, эти данные очень неполны, имеются далеко не для всех лет, часто не имеют ясной пространственной привязки (“Россия”).

Несмотря на эту ограниченность, исторические данные содержат информацию, позволяющую расширить контекст дендрохронологических реконструкций. Они, в частности, показывают, что низкие приросты сосны в 1786 гг. последовали за холодной зимой и весной 1785–1786 гг., которые отмечались в районе Москвы, Калуги и Тулы [2, 3, 34]. Следующая зима 1786–1787 гг. была также необычайно суровой в Тульской, Рязанской, Воронежской, Орловской, Калужской и Смоленской и, видимо, вызвала аномалию прироста в 1787 г. По сведениям Е.П. Борисенкова и В.М. Пасецкого зима 1786–1787 гг. была настолько сурова, что в 1787 г. в указанных губерниях “не собрали даже семян” и в этот год случился, “быть может, самый ужасный голод”. Образование узкого кольца в 1782 г., возможно, связано с аномальными условиями предыдущего, 1781 г., когда неурожай отмечался в 16 губерниях России [2, 3]. “Непомерный голод” из-за неурожая (“даже лебеда не уродилась”) в 1788 г. в Московской, Калужской, Тульской и в других губерниях [35] совпадает с аномалией прироста в две сигмы в 1788 г. Почему случились неурожай в 1781 и 1788 гг. из исторических источников мы достоверно не знаем. Аномалии 1797 и 1798 гг., возможно, последовали за засушливым летом 1796 г., хотя Е.П. Борисенков и В.М. Пасецкий не указывают, к какому конкретному району России относится это историческое свидетельство. Узкое годичное кольцо, сформировавшееся в 1827 г., вероятно, обусловлено сильной жарой и засухой 1826 г.,

отмеченными в Смоленской, Калужской, Вологодской, Новгородской и Пензенской губерниях. Первая половина лета 1827 г. была засушливой лишь на юге страны, а во второй половине начались обильные дожди.

Лето 1844 г. в Петербургской, Новгородской, Псковской и Тамбовской губерниях было таким дождливым, что “от обильного потопления огороды почти уничтожены”. Зима 1845 г. отличалась “необыкновенной суровостью”. Зима 1867–1868 гг. была “чрезвычайно холодной” в западных губерниях, а в 1868 г. на севере и западе России отмечена засуха, что послужило причиной аномально низкого прироста в этом году. Такая же по величине аномалия прироста наблюдалась в 1891 г., также по причине засухи, начавшейся весной и закончившейся осенью, которая случилась в 21 губернии России [2, 3, 7, 12]. Кроме того, зима 1890 г. была суровой: в Смоленской, Тульской и Тамбовской губерниях в декабре отмечены “необычайные холода”. Низкий прирост в 1897 и 1898 гг., возможно, связан “с морозами и оттепелями” зимой. В 1897 г. на юго-востоке России, от Петербурга до Курска, Калуги, Воронежа, наблюдались засухи, сменившиеся волной холода в августе, лето 1898 г. также было засушливым, что, вероятно, также повлияло на аномально низкий прирост этих лет [2]. Аномалия прироста в 1914 г., вероятно, связана с неустойчивой погодой в январе–феврале этого года, а также “необычайно высокими температурами” в июле на северо-западе страны.

Таким образом, при сопоставлении данных дендрохронологии и исторических свидетельств наблюдается очень неоднозначное соответствие: низкий прирост может совпадать и с холодной зимой, и с летней жарой, и даже с избыточным увлажнением. При этом, интересно, что, судя по инструментальным данным, все заметные аномалии приростов XX в. в 1921, 1936, 1939, 1940 и 1964 гг. были связаны с засухами [12]. Вопрос о том, означает ли это, что в XX в. произошло изменение характера связи климатических колебаний с приростами, остается открытым. Заметим, что в XIX в. и в последние 50 лет аномалий прироста, выходящих за пределы двух стандартных отклонений, не выявлено. Периоды наибольшего понижения ширины колец сосны наблюдались в 1780–1790-х и в 1920–1960-х гг.

Дискуссия. Многочисленные работы наших предшественников показывают, что прирост древесины основных пород в центральной части Восточно-Европейской равнины зависит от многих гидрометеорологических факторов. Так, А.А. Молчанов [20] пришел к выводу об отсутствии однозначного соответствия между приро-

стами ели (Смоленская область), сосны (Московская область) и дуба (Тульская область) и среднегодовыми метеорологическими характеристиками. По всей вероятности, это связано с тем, что при подобном анализе важно использовать сезонные, а не среднегодовые параметры климата. Т.Т. Битвинскас [1] проанализировал климатический сигнал в 260 хронологиях сосны и дуба по профилю Мурманск–Карпаты и отметил, что на прирост оказывает существенное влияние температура зимних месяцев (преимущественно января и февраля) и температура начала периода вегетации (март–апрель). Подробный дендроклиматологический анализ приростов ели и дуба был проведен З.Н. Самаровой [21, 22] в Брянском лесном массиве на основе 32 пробных площадей. Она установила, что благоприятные условия для прироста ели создаются в случае, если в начале сезона вегетации в мае выпадает мало осадков в связи с тем, что ель, как правило, произрастает в условиях верховодки и поэтому ранней весной получает достаточно влаги. Дуб, напротив, отрицательно реагирует на недостаток воды в мае, слабо реагирует на меньшее увлажнение в июне и положительно реагирует на его повышение в августе. Прирост обеих пород отрицательно коррелирует с температурой января, поскольку в условиях теплой зимы физиологические процессы в деревьях ускоряются и запас питательных веществ расходуется больше, чем в холодные зимы, что отражается на приросте древесины в вегетационный период. А.Н. Кренке и М.М. Чернавской [8, 32] отмечена положительная связь прироста ранней древесины сосны и температур воздуха в декабре предшествующего года и марте текущего года, а также показано, что фактором, ограничивающим рост сосны на территории центра ЕТР, является высокая температура начала лета.

Очевидно, что при движении на юг и юго-восток, происходит усиление климатического сигнала, отраженного в ширине годичных колец. Основным метеорологическим фактором, влияющим на прирост сосны в Воронежской области, является сумма осадков с апреля по октябрь, причем сильные засухи (1939, 1972 и 2010 гг.) наблюдались только после нескольких (2–3) лет с дефицитом осадков и обязательно в комбинации с высокими температурами воздуха [13, 14]. Глубокие минимумы прироста эти авторы отмечают в 1939–1940, 1949, 1972–1973, 1995–1996 гг. Кроме 1972–1973 гг. минимумы отмечаются и в хронологии сосны из центрального региона ЕТР.

Наши результаты показывают, что при использовании интегральных гидроклиматических показателей (таких как индексы засушливости) и

данных реанализа, которые рассчитываются для заданной территории, а также при наличии больших массивов дендрохронологических данных, пестрота индивидуальных реакций деревьев и пробных площадей может быть до некоторой степени нивелирована. Для реконструкции климата отобраны лишь те пробные площади и древесные породы, у которых реакция на климатические изменения сходная. Особенность нашего подхода заключалась в поиске именно таких интегральных параметров и объектов.

Использованные подходы и полученные результаты наиболее близки к таковым у польских коллег, которые исследовали тот же вид сосны (*Pinus sylvestris*) в близких эколого-климатических условиях. Ученые [51] установили, что в Польше сосна наиболее чувствительна к температуре с февраля по март и к осадкам с мая по июль. Осадки июня–августа реконструированы по ширине колец сосны (*Pinus nigra*) в Австрии, в районе Вены [44], по ели (*Picea abies*) осадки (май–август) реконструированы в Баварии [58] и (март–июль) – в Моравии [40]. В Архангельской области прирост ели положительно коррелирует с увлажненностью [50]. На основе коллекции образцов пихты (*Abies alba*), полученной из растущих деревьев и из исторической древесины, восстановлены осадки апреля–июня в центральной Европе для периода 1962–2007 гг. [39].

Непосредственное сопоставление минимумов прироста сосны в центре ЕТР с западноевропейскими реконструкциями засухливости не имеет смысла из-за особенностей атмосферной циркуляции в этом регионе. Так, судя по результатам исторической климатологии, в Западной Европе наиболее засушливым годом за последние 500 лет считается 1540 г. Он был вызван устойчивой областью высокого давления над Западной и центральной Европой и низким давлением над Атлантикой и европейской частью России, где в это время преобладала холодная влажная погода, о чем, в частности, свидетельствуют данные Новгородской летописи [57]. Финская хронология сосны, чувствительной к количеству осадков, также показывает, что этот год был влажнее среднего [47].

Иногда реакция деревьев наблюдается на следующий после засухи год, как это случилось в 1541 г. в Швейцарии (лиственница) [37] или в южной Моравии (пихта) [38]. При том, что самая значительная засуха за последние 500 лет в Европе наблюдалась именно в предыдущем, 1540 г. Несколько подобных случаев отмечено выше для нашей хронологии сосны на Русской равнине, в

частности, для климатической аномалии 2010 г., которая сказалась на ширине колец на год позже.

Наш анализ показывает, что аномалии прироста сосны (узкие кольца) в конце XVIII и в середине XIX вв. (1845 г.), были преимущественно связаны с холодными зимами, в то время как угнетения в XX – начале XXI вв. главным образом следовали за периодами засухливости. Это может быть связано с тенденцией к уменьшению континентальности и суровости климата в московском регионе в последние столетия, о чем, в частности, свидетельствуют исторические данные [14] и длинные ряды метеорологических наблюдений по Москве [13]. Если это так, то можно предположить изменение доминирующего сигнала в ширине годовых колец в этом регионе на протяжении последних 2–2.5 столетий, однако это предположение требует дальнейшего исследования.

Амплитуда депрессии прироста зачастую не соответствует вызвавшей ее климатической аномалии, поскольку влияние одних неблагоприятных факторов среды может в какой-то степени нивелироваться другими. По этой причине при сравнении амплитуды реконструированных событий с инструментальными следует быть очень осторожными. Например, засуха 1540 г. продолжалась 11 месяцев, что вызвало дефицит стока на Рейне и Эльбе до 90%. Температуры весны–лета в 1540 г. превосходили значения экстремального 2003 г. [57]. Между тем реакция годовых колец на это экстремальное событие была далеко неоднозначной [57]. Аномальная летняя жара в московском регионе в 2010 г., которая проявилась в годовых кольцах сосны как уменьшение прироста в 2011 г. в пределах одного стандартного отклонения, по метеорологическим данным была аномальным событием по многим параметрам, начиная с 1920 г. В этом отношении реперные годы, видимо, являются более надежным показателем угнетений, связанных с климатическими аномалиями. Справедливости ради следует отметить, что климатические модели (CMIP5) пока не могут воспроизвести отдельные засухи, даже для экстремального 1540 г. [57].

Интересно группирование во времени реперных лет и аномалий ширины колец в сводной хронологии сосны, в частности, редкая встречаемость отрицательных аномалий в XIX в. Поскольку этот период в хронологии включает много молодых деревьев с большим приростом, можно было бы предположить, что этот эффект связан с недостаточным удалением возрастного тренда из рядов измерений, то есть с проблемами стандартизации. Однако это предположение опровергает редкая встречаемость реперных годов

в этот период, которые рассчитываются только по высокочастотной составляющей рядов, и не подвержены влиянию возрастного тренда. Вместе с тем для XIX в. характерно общее увеличение прироста, выражающееся как в заметном “горбе” сводной хронологии, так и в пяти положительных реперных годах на протяжении 100 лет.

Выводы. Наш анализ показывает, что прирост сосны, ели и дуба в центральной части Восточно-Европейской равнины в Тверской, Московской и Калужской областях регулируется несколькими климатическими параметрами. Наиболее достоверные результаты получены для древесно-кольцевых хронологий сосны. Они свидетельствуют о том, что прирост сосны в условиях умеренного и недостаточного увлажнения главным образом зависит от параметров, характеризующих засушливость в течение всего года, предшествующего образованию годичного кольца. На прирост также могут влиять аномально низкие температуры зимы. Эти результаты подтверждают наши прежние выводы [23, 17], однако теперь они более репрезентативны и получены на основе достаточного количества хронологий. Реакция деревьев на засушливые условия может проявиться как в год климатической аномалии, так и на следующий, как это случилось у большинства деревьев центрального региона в случае жары 2010 г.

Есть основания полагать, что большинство аномалий прироста сосны XX–XXI вв. связаны с засухами, однако это не очевидно для более раннего периода XVIII–XIX вв., для которого отсутствуют метеорологические данные. Из-за возможной неустойчивости климатического сигнала перспективы для дендрохронологических реконструкций в умеренной зоне Восточно-Европейской равнины открываются скорее при использовании в качестве индикатора отдельно ранней и, особенно, поздней древесины, а также плотности и изотопного состава колец [49]. Возможно, другие древесные породы, например, более влаголюбивая ель восточная, может служить более устойчивым индикатором климата в этом районе, особенно если она произрастает в засушливых условиях [25, 26]. Опыты с дубом – другой широко распространенной и долгоживущей древесной породой, показывают, что в этом районе ширина его годичных колец определяется не одним, а сочетанием климатических и других факторов (например, возраста) и слабо коррелирует с метеорологическими данными [29].

Благодарности. Работа поддержана проектом РНФ № 14-17-00645. Материалы по Калужской области собраны в рамках проекта РФФИ № 14-4603077.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Битвинскас Т.Т. Разработка основ дендроклиматологических исследований в Литовской ССР // Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. 1984. Т. 4. С. 4–49.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 524 с.
3. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI–XVII вв. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
4. Воейков А.И. Засуха 1885 года по сведениям, полученным Императорским Русским географическим обществом // Записки имп. рус. геогр. о-ва по общ. геогр. СПб.: 1887. Т. XVII. № 2.
5. Грингоф И.Г. Засухи и опустынивание – экологические проблемы современности // Тр. ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 14–40.
6. Дроздов О.А. Засухи и динамика увлажнения. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 93 с.
7. Ермолов А.С. Неурожай и народное бедствие. СПб.: Тип. В. Киршбаума, 1892. 270 с.
8. Кренке А.Н., Чернавская М.М., Браздил Р. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом. М.: Наука, 1995. 224 с.
9. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Спутниковый индекс климатических экстремумов увлажнения засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4. С. 5–12.
10. Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н. История гидросферы. М.: Науч. мир, 1998. 370 с.
11. Лазуренко Л.Б. Дендроклиматология сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в условиях центральной лесостепи. Дис. ... канд. биол. наук. Воронеж: Воронежская гос. лесотехнич. Академия 2002, 75 с.
12. Логинов В.Ф., Неушкин А.И., Рочева Э.В. Засухи, их возможные причины и предпосылки предсказания. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1976. 71 с.
13. Локощенко М.А. Катастрофическая жара 2010 года в Москве по данным наземных метеорологических измерений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 5. С. 523–536.
14. Ляхов М.Е. Климатические экстремальные природные явления в центральной части ЕТС в XIII–XX вв. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1984. № 6. С. 68–75.
15. Матвеев С.М., Матвеева С.В., Шурыгин Ю.Н. Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области // J. of Siberian Federal University. Biology. 2012. Vol. 5. P. 27–42.
16. Матвеев С.М. Дендроиндикация состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи: Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 272 с.

17. *Мацковский В.В.* Возможности и ограничения реконструкции климатического сигнала по ширине годовичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России. Дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 2011. 222 с.
18. *Мацковский В.В.* Климатический сигнал в ширине годовичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России. М.: ГЕОС, 2013. 148 с.
19. *Мильков Ф.Н.* Природные зоны СССР. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Мысль, 1977. 224 с.
20. *Молчанов А.А.* Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука 1976. 168 с.
21. *Самарова З.С.* Дендроклиматический анализ радиального прироста ели в Брянской области // Продуктивность таежных биогеоценозов / Тез. докл. краев. науч. конф. Красноярск. 15–17 апреля 1986 г. 142 с.
22. *Самарова З.С.* Сравнительный дендроклиматический анализ ели и дуба в Брянском лесном массиве. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 1992. 28 с.
23. *Соломина О.Н., Мацковский В.В., Жуков Р.С.* Дендрохронологические “летописи” “Вологда” и “Соловки” как источник данных о климате последнего тысячелетия // ДАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 539–544.
24. *Рудаков В.Е.* Метод изучения колебаний климата на толщину годовичных колец // Докл. АН АрмССР. 1951. Т. 13. № 3. С. 75–79.
25. *Румянцев Д.Е.* Влияние климатических факторов на рост сосны в условиях заповедника “Кивач” (Южная Карелия) // Тез. докл. междунар. молод. конф. “Экология-2003”. Архангельск: Ин-т экологических проблем Севера, 2003. С. 204–205.
26. *Румянцев Д.Е.* Диагностика особенностей роста сосны и ели в южной Карелии с использованием методов дендрохронологии. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Институт лесоведения РАН, 2004. 24 с.
27. *Феклистов П.А.* Дендроклиматический анализ прироста сосны и ели в северной подзоне тайги Архангельской области. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту: Ин-т эколог. природ. экосистем, 1978. 19 с.
28. *Фролов А.В., Страшная А.И.* О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур // Сб. докл. совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета РАН “Исследования по теории климата Земли”. М.: Триада ЛТД, 2011. С. 22–31.
29. *Хасанов Б.Ф.* Структура древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) как показатель аномальных климатических явлений (на примере средней полосы Европейской части России). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2008. 27 с.
30. *Хачатуров М.А.* Дендрохронологический метод мониторинга отклика лесных экосистем на изменение климата (автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, 1993. 16 с.
31. *Хачатуров М.А.* Дендрохронологические исследования в СССР и задачи биоклиматического мониторинга лесов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1989. Т. 12. С. 259–265.
32. *Чернавская М.М.* Реконструкция термических условий малого ледникового периода на севере Евразии (по дендрохронологическим данным) // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1985. № 1. С. 99–103.
33. *Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепан В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М.* Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Уч.-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
34. *Щепкин В.Н.* Голода в России // Исторический вестник. 1886. № 24 (2). С. 489–521.
35. *Щербатов М.М.* Рассуждение о нынешнем в 1787 году почти повсеместном голоде в России, о способах оному помочь и впредь предупредить подобное же нещастие, Кн. М.М. Щербатова // Чт. в общ. истории и древностей. 1860. Т. I. С. 81–112.
36. *Biondi F. and Waikul K.* DENDROCLIM2002: A C++ Program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies // Computers & Geosciences. 2004. Vol. 30. P. 303–311.
37. *Büntgen U., Bellwald I., Kalbermatten H., Schmidhalter M., Frank D., Freund H., Bellwald W., Neuwirth B., Nüsser M., and Esper J.* 700 Years of Settlement and Building History in the Lötschental, Switzerland // Erdkunde. 2006. Bd. 60. H. 2. P. 96–112.
38. *Büntgen U., Brázdil R., Dobrovodný P., Trnka M., Kyncl T.* Five centuries of Southern Moravian drought variations revealed from living and historic tree rings // Theor. Appl. Climatol. 2011. Vol. 105. P. 167–180. DOI:10.1007/s00704-010-0381-9.
39. *Büntgen U., Trouet V., Frank D., Leuschner H.H., Friedrichs D., Luterbacher J., and Esper J.* Tree-ring indicators of German summer drought over the last millenium // Quat. Sci. Rev. 2010. Vol. 29. P. 1005–1016.
40. *Büntgen U., Brázdil R., Heussner K.-U., Hofmann J., Kontic R., Kyncl T., Pfister C., Chromá K., and Tegel W.* Combined dendro-documentary evidence of Central European hydroclimatic springtime extremes over the last millennium // Quat. Sci. Rev. 2011. doi:10.1016/j.quascirev. 2011.10.010.
41. *Brazdil R., Štěpánková P., Kyncl T., and Kyncl J.* Fir tree-ring reconstruction of March–July precipitation

- in southern Moravia (Czech Republic), 1376–1996 // *Clim. Res.* 2002. Vol. 20. P. 223–239.
42. Cook E.R. A Time series analysis approach to tree-ring standardization: Ph. D. Diss. University of Arizona, 1985.
 43. Cook E.R. and Kairiukstis L.A. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences.* Dordrecht; N. Y., 1990.
 44. Dobrovolný P., Brázdil R., Trnka M., Kotyza O., Valášek H. Precipitation reconstruction for the Czech Lands, AD 1501–2010 // *Int. J. of Climatology.* 2015. Vol. 35 (1). P. 1–14.
 45. Fan Y. and H. van den Dool. Climate Prediction Center global monthly soil moisture data set at 0.5° resolution for 1948 to present // *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109 (D10102). doi:10.1029/2003JD004345.
 46. Harris I., P. Jones, T. Osborn, and D. Lister. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // *Int. J. of Climatology.* 2013. Vol. 34 (3). P. 623–642.
 47. Helama S., Timonen M., Holopainen J., Ogurtsov M.G., Mielikäinen K., Eronen M., Lindholm M., and Meriläinen J. Summer temperature variations in Lapland during the Medieval Warm Period and the Little Ice Age relative to natural instability of thermohaline circulation on multi-decadal and multi-centennial scales // *J. Quat. Sci.* 2009. Vol. 24. P. 450–456.
 48. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin.* Vol. 43. P. 69–78.
 49. Kress A., Saurer M., Siegwolf R.T.W., Frank D.C., Esper J., and Bugmann H. A 350 year drought reconstruction from Alpine tree ring stable isotopes // *Global Biogeochem. Cycles.* 2010. Vol. 24 (2). doi:10.1029/2009GB003613.
 50. Kuuluvainen T. and Aakala T. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification // *Silva Fennica.* 2011. Vol. 45(5). P. 823–841.
 51. Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., and Pospieszńska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland // *Int. J. Biometeorol.* 2012. 56:1–10. DOI:10.1007/s00484-010-0390-5.
 52. MacDonald G., Kremenetski K., Smith L.H.G. Hidalgo. Recent Eurasian river discharge to the Arctic Ocean. The context of longer-term dendrohydrological records // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112 (G4). G04S50. doi:10.1029/2006JG000333.
 53. Neuwirth B., Esper J., Schweingruber F.H., and Winiger M. Site ecological differences to the climatic forcing of Spruce Pointer years from the Lotschental, Switzerland // *Dendrochronologia.* 2004. Vol. 21. Iss. 2. P. 69–78.
 54. Neuwirth B., Schweingruber F., and Winiger M. Spatial patterns of Central European Pointer years from 1901 to 1971 // *Dendrochronologia.* 2007. Vol. 24. Iss. 2–3. P. 79–89.
 55. Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996.
 56. Schweingruber F.H., Eckstein D., Bachet S.F., and Bräker O.U. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in Dendrochronology // *Dendrochronologia.* 1990. Vol. 8. P. 9–38.
 57. Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.A. López-Moreno (2011), Comment on “Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900–2008” by Aiguo Dai. *J. Geophys. Res.*, 116, D19112. DOI:10.1029/2011JD016410.
 58. Wetter O., Pfister K., Werner J.P., Zorita E., Wagner S., Seneviratne S.I., Herget J., Grünewald U., Luterbacher J., Alcoforado M.-J., Barriendos M., Bieber U., Brázdil R., Burmeister K.H., Camenisch C., Contino A., Dobrovolný P., Glaser R., Himmelsbach I., Kiss A., Kotyza O., Labbé T., Limanówka D., Litzenburger L., Nordl Ø, Pribyl K., Retsö D., Riemann D., Rohr C., Siegfried W., Söderberg J., and Spring J.-L. The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worst case Climatic Change. 2014. 125:349–363. DOI:10.1007/s10584-014-1184-2.
 59. Wilson R.J.S., Luckman B.H., and Esper J. A 500-year dendroclimatic reconstruction of spring/summer precipitation from the lower Bavarian Forest Region, Germany // *Int. J. of Climatology.* 2005. Vol. 25 (5). P. 611–630.

What Determines the Width of Annual Tree-Rings in the Central Part of East-European Plain?

O.N. Solomina, V.V. Kuznetsova, V.V. Matskovskii, E.A. Dolgova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: olgasolomina@yandex.ru, matskovsky@igras.ru, dolgovakat@gmail.com

No tree-ring chronologies were reported so far in the International Tree Ring Data Bank for the central part of the East-European Plain. This absence is traditionally explained by the lack of motivation for tree-ring research in this area. Indeed, due to the intense anthropogenic pressure the old trees are rare in this region and the climatic signal embedded in the ring width is not strong and is always complex. In this study we present the new tree-ring network of 9 ring width chronologies of pine (*Pinus sylvestris*) up to 297 years long in a large region of about 450 km in diameter in the Central Russia (54–57N, 33–40E) and analyze their climatic response. Tree ring growth in the region is controlled by both temperature and precipitation of vegetation period, and all the analyzed chronologies have significant correlation with summer PDSI values (with coefficients up to $r \leq 0.4$). All of them were sampled after the year 2010 when a severe summer drought spread over the European part of Russia. This allowed spatial analysis of 2010 year annual ring (and rings related to the years of other known severe droughts of 20th century) in the context of drought impact on tree growth. This study is a starting point for constructing large tree ring network for further investigation of severity and spatial distribution of droughts in European Russia in the past.

Keywords: dendrochronology, tree-rings, climatic signal, European part of Russia.

doi:10.15356/0373-2444-2016-3-47-64