

УДК: 630*181.62:630*181.65:630*811.4

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА И ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ТЕЛЛЕРМАНОВСКИХ ДУБРАВАХ

© 2024 г. Н. Ф. Каплина^{a,*}

^aИнститут лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., 143030 Россия

*E-mail: kaplina@inbox.ru

Поступила в редакцию 25.03.2024 г.

После доработки 25.04.2024 г.

Принята к публикации 29.08.2024 г.

Колебания прироста и жизненного состояния дубрав лесостепи привело в XX в. к их ослаблению и усыханию с периодичностью около 25–45 лет. В условиях изменения климата возрастает актуальность изучения волновой динамики дубрав с целью анализа рисков усыхания дуба и возможностей их снижения. В статье представлены результаты изучения долгопериодных внутривековых колебаний с XIX в. радиального прироста ранней и поздней древесины ствола в 270-летней нагорной и 230-летней пойменной дубравах в сравнении с циклами в 90-летней нагорной и 130-летней пойменной дубравах. Возрастной тренд описан как вековой цикл, две ветви которого различны по периоду и амплитуде. В старовозрастных дубравах выделено по 5 циклов радиального прироста ствола дуба, в более молодых дубравах – по два периода. Жизненное состояние дуба оценивали по типу развития кроны, последний идентифицировали по ширине прироста ранней древесины. Первые 1–2 цикла – 50–70-летние, наиболее продолжительные, асинхронные в нагорной и пойменной старовозрастных дубравах, вызванные волновым самоизреживанием древостоев. Затем продолжительность циклов снижается до 25–40 лет: в пойменной дубраве – с конца XIX в., в нагорной – с начала XX в. Эти колебания синхронны во всех изученных дубравах как следствие засух и повреждения листьев насекомыми, их минимумы совпадают с волнами усыхания дуба. Рубки ухода повысили устойчивость 90-летней дубравы к долгопериодным колебаниям. CV индексов прироста в ней меньше, чем в остальных дубравах, в среднем в 1.3 раза, CV долгопериодной внутривековой составляющей – в 2 раза. Разреживание полога древостоев при волновом отпаде в 1960–1970-е гг., очевидно, повысило устойчивость дубрав к следующему долгопериодному циклу. Риск ослабления и усыхания дуба повышается в минимумах внутривековых циклов и зависит от их амплитуды. Также риск возрастает вблизи минимумов вековых циклов – в нагорных дубравах после 130-летнего возраста, в пойменных – после 60- и 190-летнего. Повышение вероятности усыхания дуба ожидается только в нагорных дубравах не ранее начала 2030-х гг.

Ключевые слова: дуб черешчатый, долгопериодные циклы, жизненное состояние, радиальный прирост, ранняя и поздняя древесина, риск ослабления и усыхания дуба.

DOI: 10.31857/S0024114824060029, **EDN:** NVPCJQ

Теллермановские дубравы расположены на южной границе лесостепи – в зоне риска в условиях изменения климата и сдвига границ природных зон. Для них характерны колебания прироста и жизненного состояния, что приводит к периодическому повышению риска ослабления и усыхания. В Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН изучение дубрав и основных факторов их волновой динамики – засух и вспышек насекомых-филлофагов – ведутся с середины 1940-х гг. (Дубравы ..., 1975; Состояние ..., 1989; Экосистемы ..., 2004). В XX в. особенно сильные депрессии дубрав в Европе повторялись с периодичностью около 25–45 лет (Состояние..., 1989; Бугаев, 2013; Losseau et al., 2020). С учетом этой

периодичности и современного состояния дубрав ожидается новая волна их отмирания (Бугаев и др., 2013). Согласно дендрохронологической реконструкции климата Воронежской области, XIX в. характеризовался в целом менее засушливыми условиями, чем XX – начало XXI в. (Соломина и др., 2017). На рубеже ХХ–XXI вв. в европейской части России влажная фаза сменилась сухой, за последние 15–20 лет в Воронежской области возросло число случаев почвенной засухи (Национальный доклад ..., 2021). В этих условиях возрастает актуальность изучения волновой динамики дубрав с целью анализа рисков усыхания дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и возможностей их снижения.

Старовозрастные лесостепные дубравы – уникальные памятники природы, сохранившиеся благодаря семенному происхождению, благоприятным лесорастительным условиям и охранному режиму (Царалунга, Царалунга, 2017). Анализ их радиального прироста позволяет изучить рост и развитие дуба черешчатого как в предыдущие века, так и на заключительном этапе онтогенеза.

Для прироста и жизненности дерева в варьирующих условиях среды характерны как кратковременные, так и долговременные изменения (Алексеев, 1989; Dobbertin, 2005). На примере Теллермановских дубрав цикличность жизненного состояния дерева описана как совокупность долговременной, средневременной и кратковременной составляющих (по длительности восстановления морфофункциональных частей кроны: скелетных осей, осей ветвления, облиственных побегов). Продолжительность долгопериодного цикла обусловлена длительностью усыхания и восстановления скелетных осей кроны. Долговременную составляющую предложено оценивать по типу развития кроны дуба, который определяется по мощности скелета кроны и тесно связан с приростом ранней древесины (РД) ствола. Прирост поздней древесины (ПД) характеризует потенциал жизненного состояния. В 90-летней нагорной и 130-летней пойменной дубравах выделено по два долгопериодных цикла с серединой XX в. (Каплина, 2022).

Цель статьи – изучить долгопериодные внутриековочные циклы радиального прироста, жизненного состояния и риска ослабления и усыхания дуба с XIX в. в 270-летней нагорной и 230-летней пойменной дубравах в сравнении с 90-летней нагорной и 130-летней пойменной дубравами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объекты исследования – дубравы Теллермановского опытного лесничества.

Нагорные смытево-осоковые дубравы находятся на южной границе естественного распространения (Экосистемы ..., 2004). Древостои преимущественно семенного происхождения, I класса бонитета, сформированы дубом поздней феноформы. Старовозрастная дубрава естественного происхождения (кв. 15, 51°21'3" с.ш., 41°57'49" в.д.); изучены деревья поколения, возобновившегося в середине XVIII в. (возраст около 270 лет), состав 4Д3Ко2Лп1Я (Селочник, 2014), средний диаметр – 98 см, число стволов дуба – 8 шт. га⁻¹. 90-летние культуры дуба, созданные посевом по вырубке в 1932 г. (кв. 6, 51°20'53" с.ш., 41°58'35" в.д.), состав – 10Д+Я, средний диаметр – 31.4 см, средняя высота – 27.4 м, число стволов дуба – 360 шт. га⁻¹.

Пойменные ландышево-ежевичевые дубравы естественного, преимущественно семенного происхождения, II класса бонитета, сформированы дубом ранней феноформы. Старовозрастная дубрава (кв. 30, 31, 51°20'00" с.ш., 41°59'01" в.д.), образовавшаяся в конце XVIII в. (возраст – около 230 лет), редина, средний диаметр дуба – 89 см. Дубрава 130-летнего возраста (кв. 47, 51°19'28" с.ш., 41°58'23" в.д.), состав – 10Д, средний диаметр – 40.9 см, средняя высота – 23.9 м, число стволов – 179 шт. га⁻¹.

В исследовании использовали керны, взятые на высоте ствола 1.3 м, по одному керну на дерево, у деревьев без сердцевинных гнилей. В нагорных старовозрастных древостоях доля числа таких деревьев дуба – менее половины (Чеботарев и др., 2019).

Керны в сырорастущем состоянии (либо после выдерживания в воде около 1 часа до достижения постоянных размеров) обработаны лезвием и отсканированы при разрешении 1200 dpi (размер пикселя – ≈0.02 мм). Ширину приростов измеряли с помощью компьютерной программы GetData Graph Digitizer 2.24. Перекрестное датирование проводили визуально по приросту ПД (для объектов исследования характерна его высокая годичная синхронность у деревьев всех классов роста и развития), выпадение годичных колец не зафиксировано.

Анализ динамики прироста выполняли, начиная с возраста дуба, в котором сосуды и прирост РД достигают размеров, характерных для зрелой древесины (в данной работе принят 30 лет в нагорных и 40 лет в пойменных дубравах).

Жизненное состояние дуба в долгопериодной вековой и внутривековой динамике оценивали по типам развития кроны (Каплина, Селочник, 2009, 2015). Классификация может применяться в условиях различных естественных и антропогенных факторов, а также для отдельно стоящих деревьев. Типы развития кроны идентифицировали по ширине прироста РД: у деревьев раскидистого типа кроны (Р) – лучшего развития, годичный прирост РД составляет более 0.8 мм, у деревьев зонтико-видного типа (З) – среднего развития – в пределах 0.4–0.8 мм, узокронного типа (У) – до 0.4 мм (Каплина, 2019).

Деревья дуба, сходные по развитию крон и по динамике радиального прироста, объединили в группы, их временные ряды прироста получили как средние по деревьям. Группы деревьев обозначены по первым буквам типов развития крон в экстремумах векового цикла радиального прироста. В 270-летней нагорной дубраве изучены три группы деревьев дуба II-III классов роста и развития по Крафту: 1) Р-З-З (2 дерева) – в первом максимуме – раскидистого типа развития крон, в мини-

Таблица 1. Средний прирост (мм) и коэффициент вариации прироста ($CV, \%$) дендрохронологических рядов РД и ПД в дубравах различных возрастов по группам деревьев

Показатель	Часть годичного кольца	Группа деревьев	Нагорные дубравы		Пойменные дубравы	
			Возраст (временной интервал)			
			90 лет (1962–2014 гг.)	270 лет (1781–2018 гг.)	130 лет (1933–2016 гг.)	230 лет (1831–2017 гг.)
Средний прирост	РД	1	1.00	0.58	0.85	0.85
		2	0.72	0.59	0.55	—
		3	0.48	0.47	0.41	—
	ПД	1	1.55	0.92	1.20	1.00
		2	1.13	0.87	0.94	—
		3	0.75	0.66	0.82	—
CV	РД	1	16	28	22	24
		2	21	21	22	—
		3	29	34	28	—
	ПД	1	34	92	50	58
		2	44	48	48	—
		3	50	56	51	—

муме и втором максимуме – зонтиковидного типа, 2) 3-3-3 (3 дерева) и 3) 3-У-3 (4 дерева), их средние диаметры без коры соответственно 84, 78 и 60 см. В пойменной 230-летней дубраве изучена одна группа деревьев II класса роста и развития, 3-Р-Р (3 дерева, средний диаметр без коры – 87 см). В более молодых дубравах выделено по 3 группы деревьев (по 10 деревьев в группе), соответственно I-II, III и IV классов роста и развития. Средние диаметры без коры в 90-летней нагорной дубраве в группах Р-Р, Р-З и З-У соответственно 42, 32, 23 см, в 130-летней пойменной – в группах РЗ-Р, З-З и У-З соответственно 52, 39, 33 см.

Характеристики полученных дендрохронологических рядов представлены в табл. 1.

Возрастной тренд описан как вековой цикл, две ветви которого различаются по параметрам. Параметры ветвей векового цикла оценивали на отрезках временного ряда, включающих максимум и минимум цикла, по уравнению (1):

$$y = y_0 + A \sin\left(\frac{2\pi(x-c)}{T}\right), \quad (1)$$

где y – радиальный прирост; x – календарный год; y_0 – величина радиального прироста при нулевом значении синусоиды; π – число пи ≈ 3.14 ; T , A и c – период, амплитуда и начальная фаза цикла.

Временной ряд индексов прироста получали вычитанием возрастного тренда из временного ряда прироста. С целью анализа изменений параметров циклов во времени (как в связи с изменением ведущих факторов, так и в результате сложения нескольких колебаний) их оценивали на

интервалах временного ряда индексов прироста с частичным наложением и последовательным смещением по уравнению (2):

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi(x-c)}{T}\right), \quad (2)$$

где y – долгопериодная составляющая прироста; x – календарный год; π – число пи ≈ 3.14 ; T , A и c – период, амплитуда и начальная фаза цикла. На основе этих вычислений получали временной ряд долгопериодной внутривековой составляющей прироста.

Коэффициенты вариации (CV) индексов прироста и его долгопериодной составляющей получали по уравнению (3):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100, \quad (3)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение соответствующего показателя, \bar{x} – среднеарифметическое радиального прироста.

Для вычислений использовали программные пакеты Excel и Statistica. Различия величин оценивали с помощью дисперсионного анализа на уровне $\alpha \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные дубравы двух контрастных экотопов различаются историей роста и развития. Наиболее сильные изменения радиального прироста дуба происходили в вековых циклах (возрастные

тренды). В 270- и 90-летних нагорных дубравах, возобновившихся на вырубках (Экосистемы ..., 2004), первая ветвь векового цикла радиального прироста – нисходящая, вторая ветвь – восходящая. В 230- и 130-летних пойменных дубравах, очевидно начавших рост под пологом (Демаков, Исаев, 2015), первая вековая ветвь – восходящая, вторая – нисходящая (рис. 1). Первая ветвь векового цикла ограничена возрастом дуба 150–170 лет, вторая ветвь продолжается до возраста 200–250 лет. Вековые циклы асинхронны как между старовозрастными нагорной и пойменной дубравами, так и в пределах экотопов между старовозрастными и более молодыми дубравами, что указывает на их эндогенные причины.

В 270-летней дубраве радиальный прирост группы деревьев быстрого начального роста (Р-3-3) на нисходящей ветви выше, а на восходящей – ниже,

чем групп среднего (3-3-3) и замедленного роста (3-У-3).

В старовозрастных нагорной и пойменной дубравах выделено по пять циклов радиального прироста (рис. 1, рис. 2), в более молодых дубравах – по два цикла, как и в предыдущей работе, где возрастной тренд описывали монотонными функциями (Каплина, 2022). В табл. 2 и табл. 3 приведены характеристики выделенных циклов прироста.

Коэффициенты вариации индексов прироста и его долгопериодной внутривековой составляющей

CV индексов прироста в старовозрастных нагорной и пойменной дубравах в среднем одинаковы, изменяясь по циклам в пределах: прироста РД – соответственно 14–21% и 15–21%, прироста ПД – соответственно 40–45% и 32–53%. В 130-летней пойменной дубраве эти

Таблица 2. Средний прирост РД и ПД (мм) и коэффициенты вариации (%) индексов прироста и его долгопериодной внутривековой составляющей по циклам в 270-летней нагорной и 230-летней пойменной дубравах

Показатель	Часть годичного кольца	Группа деревьев	Номер цикла				
			1	2	3	4	5
Нагорная дубрава, 270 лет							
Средний прирост	РД	Р-3-3	0.70	0.51	0.43	0.49	0.55
		3-3-3	0.54	0.51	0.58	0.64	0.73
		3-У-3	0.44	0.35	0.42	0.68	0.66
	ПД	Р-3-3	1.42	0.49	0.48	0.43	0.39
		3-3-3	1.16	0.71	0.75	0.69	0.89
		3-У-3	0.79	0.38	0.52	0.96	0.68
<i>CV</i> индексов	РД	Р-3-3	14	17	15	25	17
		3-3-3	17	16	13	18	17
		3-У-3	19	23	15	19	13
	ПД	Р-3-3	39	58	48	49	37
		3-3-3	42	36	42	43	48
		3-У-3	42	42	32	42	34
<i>CV</i> циклической составляющей	РД	Р-3-3	9	14	9	16	12
		3-3-3	6	4	5	13	12
		3-У-3	11	21	5	13	10
	ПД	Р-3-3	17	51	19	26	46
		3-3-3	11	13	13	32	37
		3-У-3	15	25	11	23	26
Пойменная дубрава, 230 лет							
Средний прирост	РД	3-Р-Р	0.68	0.82	1.09	0.98	0.82
	ПД		0.96	1.07	1.64	0.96	0.54
<i>CV</i> индексов	РД	3-Р-Р	16	15	21	15	16
	ПД		53	32	52	38	44
<i>CV</i> циклической составляющей	РД	3-Р-Р	9	12	9	5	6
	ПД		19	27	20	13	24

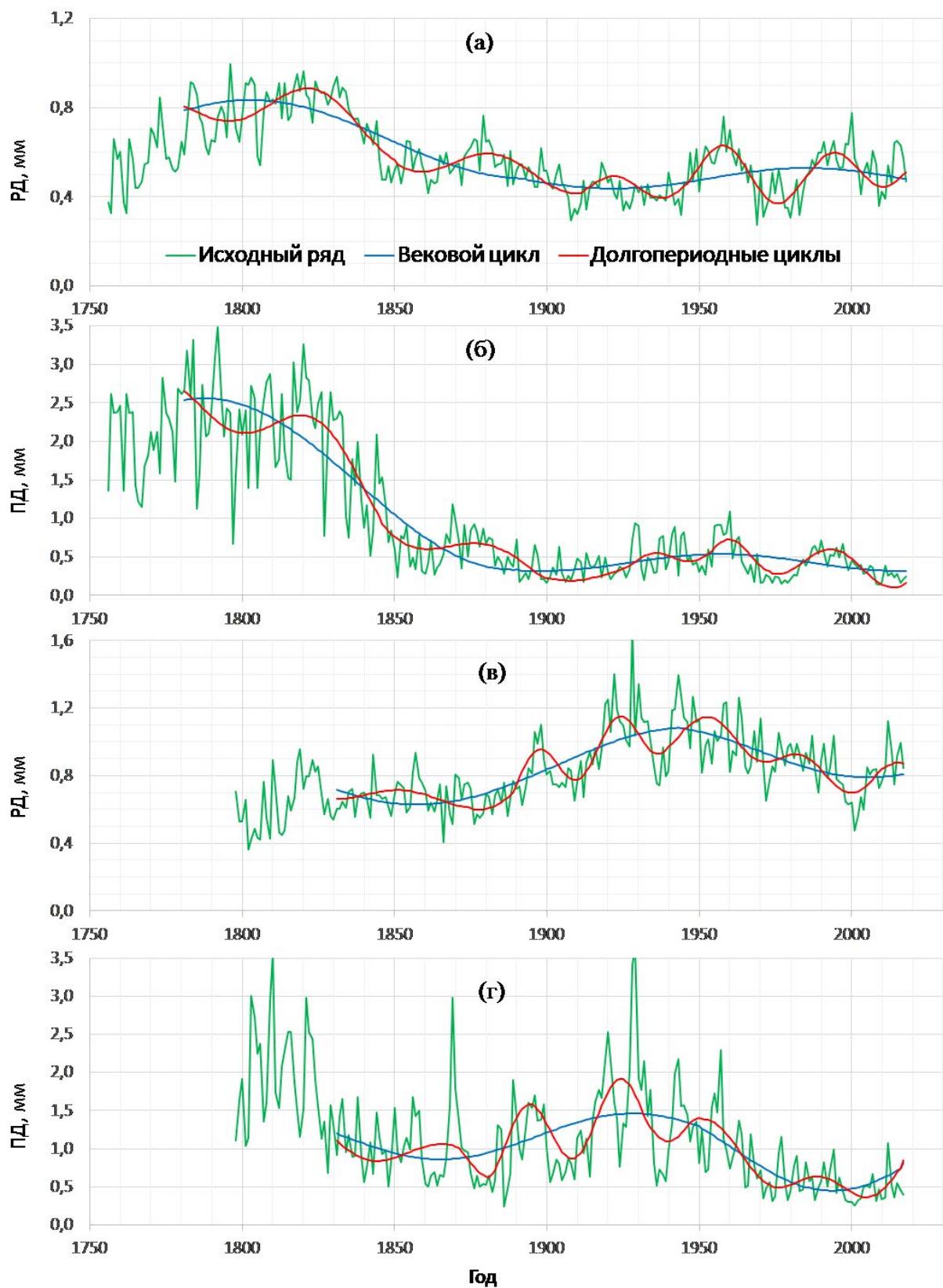


Рис. 1. Исходные временные ряды, долгопериодные вековые и внутривековые циклы радиального прироста РД (а, в) и ПД (б, г) на примере групп деревьев: Р-З-З в 270-летней нагорной (а, б) и З-Р-Р в 230-летней пойменной (в, г) дубравах.

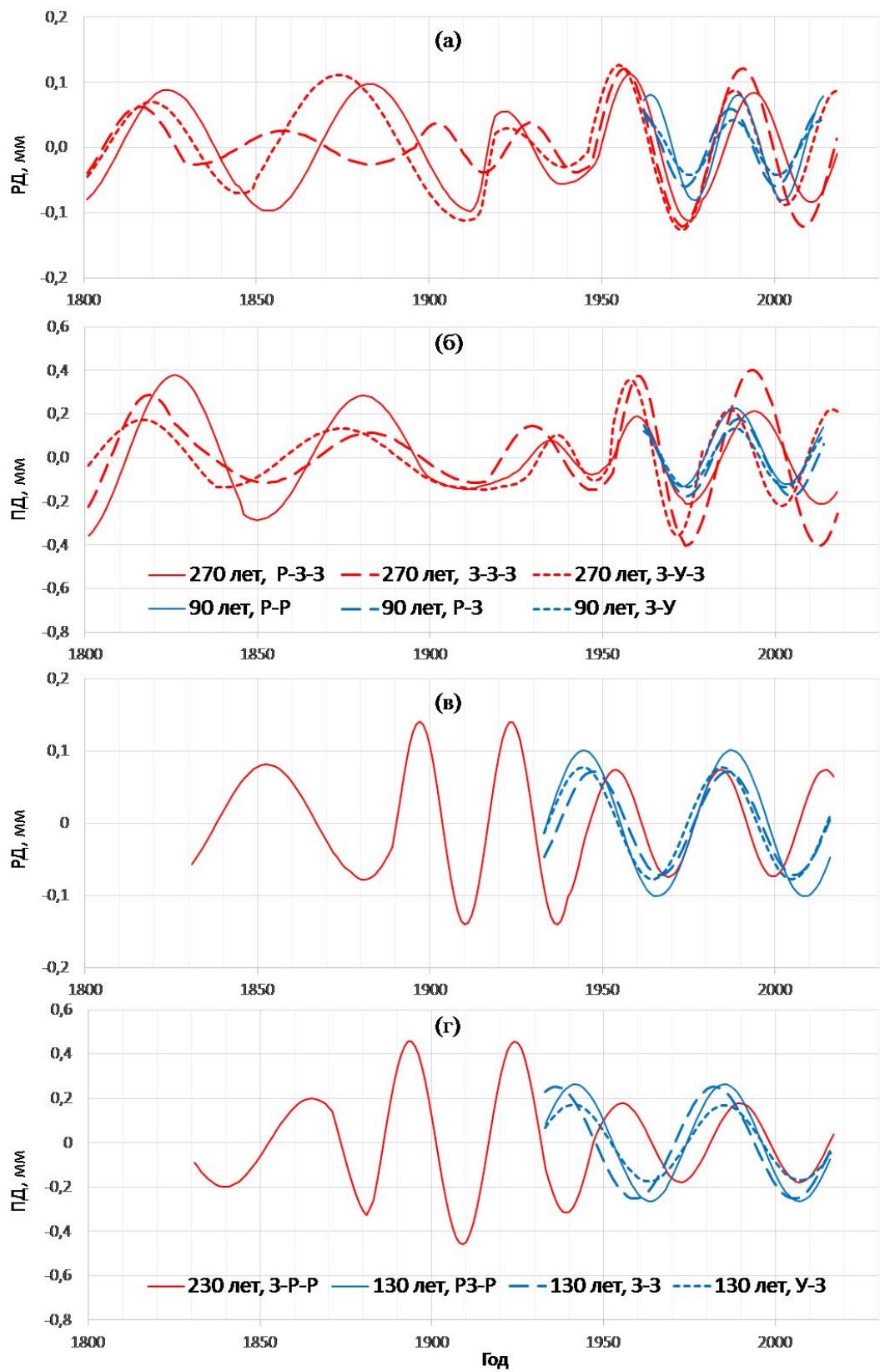


Рис. 2. Долгопериодные внутривековые составляющие радиального прироста РД (а, в) и ПД (б, г) в нагорных (а, б) и пойменных (в, г) дубравах разного возраста по группам развития крон деревьев.

Таблица 3. Средний прирост РД и ПД (мм) и коэффициенты вариации (%) индексов прироста и его долгопериодной внутривековой составляющей по циклам в 90-летней нагорной и 130-летней пойменной дубравах

Показатель	Часть годичного кольца	Группа деревьев	Нагорная дубрава		Группа деревьев	Пойменная дубрава		
			Номер цикла			Номер цикла		
			1	2		1	2	
Средний прирост	РД	P-P	1.05	0.95	P3-P	0.73	0.98	
		P-3	0.82	0.65	3-3	0.49	0.62	
		3-У	0.60	0.41	У-3	0.32	0.49	
	ПД	P-P	1.84	1.34	P3-P	1.04	1.37	
		P-3	1.44	0.93	3-3	0.85	0.99	
		3-У	1.03	0.58	У-3	0.65	0.95	
<i>CV</i> индексов	РД	P-P	12	14	P3-P	16	17	
		P-3	13	14	3-3	17	19	
		3-У	12	15	У-3	16	20	
	ПД	P-P	24	33	P3-P	50	47	
		P-3	25	39	3-3	43	51	
		3-У	24	43	У-3	40	53	
<i>CV</i> циклической составляющей	РД	P-P	6	6	P3-P	10	8	
		P-3	5	7	3-3	10	8	
		3-У	5	7	У-3	17	12	
	ПД	P-P	5	9	P3-P	17	15	
		P-3	7	13	3-3	19	20	
		3-У	8	16	У-3	17	14	

показатели прироста РД и ПД близки к величинам старовозрастных дубрав – соответственно 16–19% и 44–50%. В 90-летней нагорной дубраве *CV* индексов прироста как РД, так и ПД заметно ниже, особенно ПД, – соответственно 12–14% и 24–38%, что объясняется благоприятным влиянием 3-кратных рубок ухода.

CV долгопериодных составляющих прироста в старовозрастных нагорной и пойменной дубравах также сходны, изменяясь по циклам в пределах: прироста РД – соответственно 6–14% и 5–12%, прироста ПД – 14–36% и 13–27%. В 130-летней пойменной дубраве этот показатель РД близок к величинам старовозрастных дубрав – 9–12%, прироста ПД – несколько ниже – 16–18%. В 90-летней нагорной дубраве *CV* долгопериодных составляющих прироста РД и ПД низкие (как и *CV* индексов прироста) – соответственно 5–7% и 7–13%. Это говорит о меньшем влиянии здесь долгопериодных циклов, что объясняет устойчивость молодой нагорной дубравы в период массового усыхания дуба в первой половине 1970-х гг.

Долгопериодные внутривековые циклы и их параметры

Ряд исследований показал, что в центре и на юге Европы деревья различных видов дуба, усохшие в

2010-х гг., начали снижать радиальный прирост за 20–30 и более лет до усыхания. Различия между выжившими и впоследствии усохшими деревьями увеличивались после засух – выжившие деревья восстанавливали прирост, т.е. цикличность их прироста была более выражена, чем у усохших (Colangelo et al., 2018; Losseau et al., 2020; Sánchez-Salguero et al., 2020; Petritan et al., 2021). Долгопериодная цикличность обусловлена процессами повреждения и восстановления дерева. Следовательно, внезапное долговременное изменение хода роста дуба всех рангов развития после засухи 1972 г. может быть связано с нарушением работы камбия или отмиранием корней деревьев (Сапанов, 2019). Так, в изученном старовозрастном нагорном древостое прирост РД угнетенных деревьев группы 3-У-3 оставался ниже 0.4 мм с середины 1880-х гг. по 1930 г. (табл. 2, циклы 2 и частично 3). Это характеризует переход от зонтиковидного типа развития кроны (с большей долей первичных ветвей) к узкокронному типу (с минимумом первичных ветвей). Затем эти деревья увеличили прирост и улучшили развитие кроны в вековом цикле, что обеспечило их выживание. Можно полагать, что в годы минимумов векового и внутривекового циклов происходит существенное усыхание деревьев, утративших способность к восстановлению скелетных ветвей.

Таблица 4. Период (лет) и амплитуда (мм) долгопериодных внутривековых циклов прироста РД и ПД в старовозрастных дубравах

Показатель	Часть годичного кольца	Группа деревьев	Номер цикла				
			1	2	3	4	5
Нагорная дубрава, 270 лет							
Период	РД	P-3-3	55 ^{ab*}	59 ^{ab}	33 ^{cd}	34 ^c	33 ^{cd}
		3-3-3	42 ^{bc}	51 ^b	27 ^e	33 ^{cd}	36 ^c
		3-У-3	52 ^b	74 ^a	32 ^d	36 ^c	30 ^d
	ПД	P-3-3	56 ^{ab}	61 ^a	24 ^e	28 ^d	39 ^c
		3-3-3	45 ^{bc}	61 ^a	35 ^c	27 ^d	38 ^c
		3-У-3	55 ^{ab}	67 ^a	22 ^e	27 ^d	30 ^d
Амплитуда	РД	P-3-3	0.09 ^{cd}	0.10 ^c	0.06 ^d	0.11 ^c	0.08 ^{cd}
		3-3-3	0.06 ^d	0.03 ^e	0.04 ^c	0.12 ^c	0.12 ^c
		3-У-3	0.07 ^d	0.11 ^c	0.03 ^e	0.13 ^c	0.09 ^{cd}
	ПД	P-3-3	0.38 ^a	0.29 ^{ab}	0.08 ^{cd}	0.19 ^b	0.21 ^b
		3-3-3	0.29 ^{ab}	0.11 ^c	0.15 ^{bc}	0.38 ^a	0.40 ^a
		3-У-3	0.17 ^{bc}	0.13 ^c	0.11 ^c	0.36 ^a	0.22 ^b
Пойменная дубрава, 230 лет							
Период	РД	3-Р-Р	58 ^a	27 ^c	То же, что во 2-м цикле	30 ^{de}	То же, что в 4-м цикле
	ПД		51 ^{ab}	32 ^d		35 ^{cd}	
Амплитуда	РД		0.08 ^d	0.14 ^c		0.07 ^d	
	ПД		0.20 ^{bc}	0.46 ^a		0.18 ^{bc}	

* Таблицы 4 и 5: если в обозначении величин нет одинаковых букв, различие между ними значимо на уровне 0.05. Сравнение проведено по каждому параметру цикла, совместно для всех объектов исследования и совместно для РД и ПД.

В 270-летней нагорной дубраве на нисходящей ветви векового цикла (ориентировочно 1800–1910 гг.) выделены первые два цикла, наиболее продолжительные и сходные по периоду и амплитуде: прироста РД в среднем соответственно 56 лет и 0.08 мм, прироста ПД – 58 лет и 0.23 мм (рис. 2, табл. 4). В период 1-го цикла также отмечены колебания, вдвое меньшие по периоду и амплитуде, лишь незначительно влияющие на динамику прироста. В начале восходящей ветви вековой ветви, очевидно после разреживания полога (1910–1950 гг.), выделен 3-й цикл, самый короткий, вдвое меньший по периоду и амплитуде, чем предыдущие. На восходящую ветвь и вторую нисходящую ветвь векового цикла (1950–2018 гг.) пришлось два цикла, сходных с предыдущим циклом по периоду и наибольших по амплитуде: прироста РД в среднем соответственно 34 года и 0.11 мм, прироста ПД – 32 года и 0.29 мм. Прирост РД в этих циклах изменился от максимума до минимума цикла более чем на 0.2 мм – ширину ряда сосудов РД, соответственно ухудшился тип развития кроны (усыхали скелетные ветви).

В 230-летней пойменной дубраве значимые параметры удалось вычислить лишь в среднем для смежных циклов, кроме первого цикла. На минимум векового цикла, очевидно, под пологом

материнского поколения (примерно 1830–1890 гг.) пришелся 1-й, наиболее продолжительный цикл, сходный с двумя первыми циклами старовозрастной нагорной дубравы по периоду и амплитуде: прироста РД соответственно 58 лет и 0.08 мм, прироста ПД – 51 год и 0.20 мм (рис. 2, табл. 4). На восходящей ветви векового цикла, видимо, после распада верхнего полога (1890–1945 гг.) выделено два цикла, с примерно вдвое меньшим периодом и вдвое большей амплитудой: прироста РД соответственно 27 лет и 0.14 мм, прироста ПД – 32 года и 0.46 мм. На нисходящей ветви и втором минимуме векового цикла (1946–2017 гг.) обнаружено два цикла, как и в нагорной дубраве, сходных по периоду с предыдущими циклами, а по амплитуде – с циклами первого интервала: прироста РД соответственно 30 лет и 0.07 мм, прироста ПД – 35 лет и 0.18 мм.

В 90-летней нагорной дубраве значимые параметры удалось вычислить лишь в среднем для двух циклов. Изученный интервал (1961–2014 гг.) приходится на максимум и нисходящую ветвь векового цикла, как и в старовозрастной нагорной дубраве в близком возрасте. Выделенные два цикла по периоду близки к последним трем циклам старовозрастной дубравы, а по амплитуде – к ее первым

Таблица 5. Период (лет) и амплитуда (мм) внутривековых долгопериодных циклов прироста РД и ПД в 90-летней нагорной и 130-летней пойменной дубравах

Часть годичного кольца	Группа деревьев	Нагорная дубрава		Группа деревьев	Пойменная дубрава		
		Период	Амплитуда		Период	Амплитуда	
		Номер цикла			Номер цикла		
		1 и 2			1 и 2		
РД	P-P	26 ^d	0.08 ^d	P3-P	43 ^c	0.10 ^d	
	P-3	26 ^d	0.06 ^e		39 ^{cd}	0.07 ^{de}	
	3-У	26 ^d	0.04 ^e		41 ^{cd}	0.08 ^d	
ПД	P-P	31 ^d	0.18 ^b	P3-P	44 ^c	0.26 ^a	
	P-3	30 ^d	0.18 ^b		44 ^c	0.17 ^b	
	3-У	28 ^d	0.13 ^c		46 ^c	0.25 ^a	

циклям: прироста РД в среднем соответственно 26 лет и 0.06 мм, прироста ПД – 30 лет и 0.16 мм (рис. 2, табл. 5).

В 130-летней пойменной дубраве значимые параметры также вычислены в среднем для двух циклов. Интервал 1930–2016 гг. приходится на минимум и восходящую ветвь векового цикла (как и в старовозрастной пойменной). Выделенные два цикла, как и ожидалось, промежуточные по периоду между первыми двумя циклами старовозрастной пойменной дубравы. По амплитуде они сравнимы с первым и двумя последними циклами старовозрастной пойменной дубравы: прироста РД в среднем соответственно 41 год и 0.08 мм, прироста ПД – 45 лет и 0.23 мм.

Синхронность внутривековых долгопериодных циклов

Циклы старовозрастных нагорной и пойменной дубрав асинхронны ориентировочно до 1900 г., но при этом сходны по периоду и амплитуде (рис. 2). Период этих циклов почти в 2 раза больше, чем последующих. Наиболее вероятна эндогенная причина выделенных колебаний (как и векового цикла) – конкуренция, волновой отпад и разреживание полога в процессе роста и развития древостоя. Отметим, что продолжительность циклов в большинстве случаев не различалась по группам развития деревьев, в отличие от их амплитуды, чаще более низкой в группах менее развитых деревьев. Долгопериодные колебания прироста и плотности древостоя взаимосвязаны и могут быть вызваны самоизреживанием, сменой поколений, рубками (Cho, Boerner, 1995; Nowacki, Abrams, 1997; McEwan, McCarthy, 2008; Демаков, Исаев, 2015; Rubio-Cuadrado et al., 2018; Scharnweber et al., 2019; Мерзленко, 2021).

Колебания с периодом около 30 лет в 230-летней пойменной дубраве начались раньше (1880-е гг.), чем в 270-летней нагорной (1920-е гг.), и их начальная амплитуда была значительно больше. С XX в. характерна значительная синхронность

долгопериодных внутривековых циклов всех изученных нагорных и пойменных дубрав со сдвигом в пределах 10 лет. Период данных циклов сходен с периодами сильных засух в регионе центральной лесостепи, а также периодом цикла Брикнера (Matveev et al., 2016). Минимумы этих синхронных циклов совпадают с волнами массового усыхания дуба. В 2000-е гг., в последнем минимуме, наблюдалось ухудшение жизненного состояния и повышенный отпад дуба (Каплина, Жиренко, 2012). Очевидно, ведущая причина этих колебаний радиального прироста – экзогенная. Установлено, что с середины 1940-х гг. основные факторы ослабления и усыхания дуба в Теллермановском лесу – засухи и насекомые-филлофаги (Дубравы ..., 1975; Состояние ..., 1989; Экосистемы ..., 2004; Рубцов, Уткина, 2008). Продолжительность восходящей ветви цикла достаточна для восстановления скелетных осей и типа развития кроны. Это свидетельствует об адаптации структуры кроны дуба к цикличности засух и повреждению филлофагами (Каплина, 2022).

Минимум 4-го цикла радиального прироста в пойменных дубравах наступил несколько раньше, чем в нагорных. Так, минимум прироста РД в старовозрастной и 130-летней пойменных дубравах пришелся в среднем на вторую половину 1960-х гг., в старовозрастной и 90-летней нагорных дубравах – на первую половину 1970-х гг. Это соответствует зафиксированному более раннему началу массового усыхания дуба в пойме по сравнению с нагорной частью Теллермановского леса (Состояние..., 1989).

Риск усыхания дуба

В 270-летней нагорной дубраве наиболее опасными были два внутривековых долгопериодных цикла. Средний по амплитуде – 2-й цикл, минимум которого наложился на минимум векового цикла в начале 1900-х гг., очевидно ускорив и усилив последний. Наибольший по амплитуде – 4-й цикл, с минимумом в начале 1970-х гг., сопровождался массовым усыханием дуба,

хотя и пришелся на второй вековой максимум. В старовозрастных нагорных дубравах число деревьев дуба снизилось за первую половину ХХ в. примерно в 2 раза, за вторую его половину – в 3 раза – до 15–20 га⁻¹ (Экосистемы ..., 2004). 5-й цикл, с несколько меньшей амплитудой и минимумом в 2000-х годах, не вызвал массового усыхания дуба, несмотря на то что пришелся на нижнюю часть нисходящей вековой ветви. Так, в изученном 270-летнем насаждении в 1983–2009 гг. около 80% живых деревьев дуба относились к 1 и 2 категориям состояния, усохло около 10% их числа (Селочник, 2014). Очевидно, это объясняется разреженным пологом дубравы в результате предыдущего усыхания. Возможен высокий риск усыхания дуба в минимуме прогнозируемого, 6-го цикла, предположительно, не ранее начала 2030-х гг., поскольку его минимум наложится на второй минимум вековой цикличности. Этот вывод в большей степени касается угнетенных деревьев (группа 3-У-3). Конкуренция негативно влияет на рост и повышает чувствительность к климату старовозрастных древостоев (Petritan et al., 2021). Деревья с более развитыми кронами имеют лучшие перспективы в основном благодаря вековой динамике прироста РД, хотя они и достигли предельного возраста дуба семенного происхождения в насаждениях лесостепи (Царалунга, Царалунга, 2017). Деревья-долгожители погибают, скорее, из-за внешнего воздействия или возмущающего события, а не из-за генетически запрограммированного старения их меристем (Piovesan, Biondi, 2021). В нагорной дубраве 220–240-летнего возраста доля гнилей в объеме ствола составила 40%, что ослабило прочность стволов и вызвало буреломы и ветровалы (Чеботарёв и др., 2019).

В 90-летней дубраве 1-й цикл, синхронный с 4-м циклом старовозрастных дубрав, но меньший по амплитуде и оказавшийся вблизи максимума векового цикла, не вызвал усыхания дуба. Последний, 2-й цикл, с минимумом в начале 2000-х гг., был, возможно, более опасен, поскольку пришелся на нижнюю половину вековой нисходящей ветви. В минимуме прогнозируемого, 3-го цикла, ожидается повышенный риск усыхания дуба, т.к. он может усилить вековой минимум аналогично 2-му циклу старовозрастной нагорной дубравы.

В старовозрастной пойменной дубраве наибольший риск ослабления дуба был в минимумах 1-го (около 1880 г.) и 5-го циклов (около 2000 г.), наложившихся на вековые минимумы. Прогнозируемый цикл, скорее всего, не будет опасным, поскольку ожидается повышение прироста на восходящей ветви вековой цикличности.

В 130-летней пойменной дубраве наибольший риск был в минимуме 1-го цикла (середина 1960-х гг.) вблизи минимума векового цикла, аналогично 1-му циклу старовозрастной пойменной дубравы.

Это подтверждается массовым усыханием здесь дуба во второй половине 1960-х – первой половине 1970-х гг. Разреживание полога способствовало улучшению развития крон выживших деревьев и тем самым адаптации дуба к повторяющимся засухам (Каплина, 2022). Минимум прогнозируемого цикла, как и в старовозрастной пойменной дубраве, вряд ли будет критичным, поскольку придется на максимум 2-го векового цикла.

Таким образом, риск усыхания дуба повышается в минимуме внутривекового цикла и зависит от его амплитуды и близости к минимуму векового цикла. Риск усыхания дуба в минимумах вековых циклов в нагорных дубравах повышен, начиная с возраста 130 лет, в пойменных – 60 и 190 лет.

ВЫВОДЫ

1. В старовозрастных дубравах двух контрастных экотопов с различной историей развития и асинхронностью вековых циклов выявленные первые 1–2 долгопериодных цикла прироста оказались наиболее продолжительными, 50–70-летними. Эти циклы в нагорной и пойменной дубравах асинхронны, что указывает на их эндогенную природу – волновое самоизреживание древостоев.

2. С конца XIX в. в пойменной дубраве и начала XX в. в нагорной продолжительность циклов снижается до 25–40 лет, колебания синхронны во всех дубравах со сдвигом в пределах 10 лет, что говорит об их экзогенных причинах – засухах и повреждениях листьев насекомыми.

3. В 90-летней дубраве в результате рубок ухода CV индексов прироста меньше, чем в остальных дубравах, в среднем в 1.3 раза, CV долгопериодной внутривековой составляющей – в 2 раза. Это объясняет устойчивость дубравы в период массового усыхания дуба в 1970-е гг. Разреживание полога древостоя при волновом отпаде также повышает устойчивость дубрав к следующему долгопериодному циклу.

4. Риск ослабления и усыхания дуба повышается в минимуме внутривекового цикла и зависит от его амплитуды и близости к минимуму векового цикла. Риск усыхания дуба в минимумах вековых циклов в нагорных дубравах повышен, начиная с возраста 130 лет, в пойменных – 60 и 190 лет. Значительное повышение вероятности усыхания дуба ожидается только в нагорных дубравах не ранее начала 2030-х гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
 Бугаев В.А., Мусиевский А.Л., Царалунга В.В. Дубравы лесостепи. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 247 с.

- Демаков Ю.П., Исаев А.В.* Закономерности динамики радиального прироста деревьев дуба в пойменных лесах заповедника // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. С. 139–156.
- Дубравы лесостепи в биогеоценотическом освещении / Под ред. А.А. Молчанова. М.: Наука, 1975. 374 с.
- Каплина Н.Ф.* Влияние развития кроны на радиальный прирост ранней и поздней древесины ствола дуба черешчатого // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2019. № 2 (42). С. 17–25.
- Каплина Н.Ф.* Цикличность радиального прироста ствола и жизненного состояния дуба черешчатого в нагорной и пойменной дубравах южной лесостепи // Лесоведение. 2022. № 1. С. 21–33.
- Каплина Н.Ф., Жиренко Н.Г.* Динамика фитомассы листьев, состояния и развития крон деревьев нагорной дубравы юго-восточной лесостепи в неблагоприятных условиях последнего десятилетия // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 2 (16). С. 3–11.
- Каплина Н.Ф., Селочник Н.Н.* Морфология крон и состояние дуба черешчатого в средневозрастных насаждениях лесостепи // Лесоведение. 2009. № 3. С. 32–42.
- Каплина Н.Ф., Селочник Н.Н.* Текущее и долговременное состояние дуба черешчатого в трех контрастных типах леса южной лесостепи // Лесоведение. 2015. № 3. С. 191–201.
- Мерзленко М.Д.* Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур // Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 2. С. 5–9.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптивные меры (сельское и лесное хозяйство)». Том 3. М.: Изд-во МБА, 2021. 700 с.
- Рубцов В.В., Уткина И.А.* Адаптационные реакции дуба на дефолиацию. М.: Институт лесоведения РАН, 2008. 302 с.
- Сапанов М.К.* Климатогенные факторы внезапного изменения хода роста дерева // Поволжский экологический журнал. 2019. № 2. С. 253–263.
- Селочник Н.Н.* Многолетняя динамика старовозрастных насаждений Теллермановских дубрав // Лесоведение. 2014. № 2. С. 59–68.
- Соломина О.Н., Бушуева И.С., Долгова Е.А.* Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. М.-СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.
- Состояние дубрав лесостепи / Под ред. А.Я. Орлова, В.В. Осипова. М.: Наука, 1989. 230 с.
- Царалунга В.В., Царалунга А.В.* Долголетие деревьев дуба и дубовых древостоев // Лесотехнический журнал. 2017. № 1 (25). С. 25–32.
- Чеботарёв П.А., Чеботарёва В.В., Стороженко В.Г.* Гнилевые фауны спелых и перестойных дубовых древостоев Теллермановского опытного лесничества // Лесоведение. 2019. № 1. С. 49–56.
- Экосистемы Теллермановского леса / Под ред. В.В. Осипова. М.: Наука, 2004. 340 с.
- Dobbertin M.* Tree Growth as Indicator of Tree Vitality and of Tree Reaction to Environmental Stress: a Review // European Journal of Forest Research. 2005. V. 124. № 4. P. 319–333.
- Cho D.-S., Boerner R.E.J.* Dendrochronological analysis of the canopy history of two Ohio old-growth forests // Plant Ecology. 1995. V. 120. № 2. P. 173–183.
- Colangelo M., Camarero J.J., Ripullone F., Gazol A., Sánchez-Salguero R., Oliva J., Redondo M.A.* Drought decreases growth and increases mortality of coexisting native and introduced tree species in a temperate floodplain forest // Forests. 2018. V. 9. № 4. P. 205.
- Losseau J., Jonard M., Vincke C.* Pedunculate oak decline in southern Belgium: a long-term process highlighting the complex interplay among drought, winter frost, biotic attacks, and masting // Canadian Journal of Forest Research. 2020. V. 50. № 4. P. 380–389.
- Matveev S.M., Chendev Yu.G., Lupo A.R., Hubbard J.A., Timashchuk D.A.* Climatic changes in the east-european forest-steppe and effects on scots pine productivity // Pure and Applied Geophysics. 2016. V. 174. № 1. P. 427–443.
- McEwan R.W., McCarthy B.C.* Anthropogenic disturbance and the formation of oak savanna in central Kentucky, USA // Journal of Biogeography. 2008. V. 35. № 5. P. 965–975.
- Nowacki G.J., Abrams M.D.* Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from p resettlement – Origin Oaks // Ecological Monographs. 1997. V. 67. № 2. P. 225–249.
- Petritan A.M., Petritan I.C., Hevia A., Walentowski H., Bouriaud O., Sánchez-Salguero R.* Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies // Forest Ecology and Management. 2021. V. 491: 119097.
- Piovesan G., Biondi F.* On tree longevity // New Phytologist. 2021. V. 231. № 4. P. 1318–1337.
- Rubio-Cuadrado Á., Camarero J.J., del Río M., Sánchez-González M., Ruiz-Peinado R., Bravo-Oviedo A., Gil L., Montes F.* Long-term impacts of drought on growth and forest dynamics in a temperate beech-oak-birch forest // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 259. P. 48–59.
- Sánchez-Salguero R., Colangelo M., Matías L., Ripullone F., Camarero J.J.* Shifts in growth responses to climate and exceeded drought-vulnerability thresholds characterize dieback in two Mediterranean deciduous oaks // Forests. 2020. V. 11. № 7. P. 714.
- Scharnweber T., Heinze L., Cruz-García R., Van Der Maaten-Theunissen M., Wilmking M.* Confessions of solitary oaks: We grow fast but we fear the drought // Dendrochronologia. 2019. V. 55. P. 43–49.

Long-Period Fluctuations of Radial Increment and Vitality of Pedunculate Oak in Tellerman Oak Forests

N. F. Kaplina¹, *

¹Institute of the Forest Science of the RAS,
Sovetskaya st., 21, Uspenskoe, Odintsovsky District, Moscow Oblast, 143030 Russia
*E-mail: kaplina@inbox.ru

Fluctuations in the growth rate and vitality of oak forests in the forest-steppe led in the XXth century to their decline and drying out with a periodicity of about 25–45 years. In the context of climate change, the relevance of studying the wave dynamics of oak forests in order to analyse the risks of oak mortality and possibilities to reduce them is increasing. The article presents the results of a study on long-term fluctuations since the XIXth century of radial growth of early and late trunk wood in 270-year-old upland and 230-year-old floodplain oak forests in comparison with cycles in 90-year-old upland and 130-year-old floodplain oak forests. The age trend is described as a century-long cycle, the two branches of which differ in period and amplitude. In old-age oak forests, 5 cycles of radial growth of the oak trunk were identified, in younger oak forests – only two. The vitality of the oak was assessed by the type of crown development, which was identified by the width of the early wood growth. The first 1–2 cycles are 50–70-year-old, the longest, asynchronous in upland and floodplain old-age oak forests, caused by wave self-thinning of stands. Then the duration of the cycles decreases to 25–40 years: in the floodplain oak forest – from the end of the XIX century, in the upland – from the beginning of the XX century. These fluctuations are synchronous in all studied oak forests as a result of drought and insect damage to the leaves, their minima coincide with the waves of oak drying out. Thinning has increased the resistance of the 90-year-old oak grove to long-period fluctuations. The *CV* of the growth indices in it is less than in other oak forests by an average of 1.3 times, and the *CV* of the long-period intra-century component by 2 times. Thinning of the stands' canopy during the dying out of oak in the 1960s–1970s obviously increased the stability of oak forests during the next long-period cycle. The risk of oak decline and mortality increases at the minimums of intra-century cycles and depends on their amplitude. The risk also increases near the minimums of century-long cycles – in upland oak forests after 130 years of age, in floodplain forests after 60 and 190 years. An increase in the probability of oak mortality is expected in upland oak forests only no earlier than in the early 2030s.

Keywords: Quercus robur, long-period cycles, vitality, radial growth, early and late wood, the risk of oak decline and mortality.

REFERENCES

- Alekseev V.A., Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev (Diagnostics of vitality of trees and stands), *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57.
- Bugaev V.A., Musievskii A.L., Tsaralunga V.V., *Dubravy lesostepi* (Oak forest of forest-steppe), Voronezh: Izd-vo Voronezhskoi gos. lesotekh. akademii, 2013, 247 p.
- Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. Gnileye fauty spelykh i perestoinykh dubovykh drevostoev Tellermanovskogo opytного lesnichestva (Decay defects of mature and old-growth oak stands Tellerman experimental forestry), *Lesovedenie*, 2019, No. 1, pp. 49–56.
- Cho D.S., Boerner R.E.J., Dendrochronological analysis of the canopy history of two Ohio old-growth forests, *Plant Ecology*, 1995, Vol. 120, No. 2, pp. 173–183.
- Colangelo M., Camarero J.J., Ripullone F., Gazol A., S'anchez-Salguero R., Oliva J., Redondo M.A., Drought decreases growth and increases mortality of coexisting native and introduced tree species in a temperate floodplain forest, *Forests*, 2018, Vol. 9, No. 4, pp. 205.
- Demakov Y.P., Isaev A.V., Safin M.G., Zakonomernosti dinamiki prirosta derev'ev sosny v razlichnykh tipakh lesa zapovednika (Regularities of dynamics of pine increment in different forests types of the "Bolshaya Kokshaga" Nature Reserve), In: *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodno-gospodarskogo zapovednika "Bol'shaya Kokshaga"* (Scientific papers of the State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga"), Yoshkar-Ola: Izd-vo PGTU, 2015, Vol. 7, pp. 101–138.
- Dobbertin M., Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review, *European J. of Forest Research*, 2005, Vol. 124, pp. 319–333.
- Dubravy lesostepi v biogeotsenoticheskem osveshchenii* (Oak forests of the forest-steppe in biogeocenotic view), Moscow: Nauka, 1975, 374 p.
- Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* (Ecosystems of Tellermanovskii forest), Moscow: Nauka, 2004, 339 p.
- Kaplina N.F. Tsiklichnost' radial'nogo prirosta stvola i zhiznennogo sostoyaniya duba chereshchatogo v nagornoj i poimennoi dubravakh yuzhnói lesostepi (Cyclicity of radial increment of trunk and vitality of the *Quercus robur* in upland and floodplain oak forests of Southern forest steppe), *Lesovedenie*, 2022, No. 1, pp. 21–33.
- Kaplina N.F., Selochnik N.N., Morfologiya kron i sostoyanie duba chereshchatogo v srednevozrastnykh nasazhdennyakh lesostepi (Morphology of crowns

- and *Quercus robur* state in middle-aged forest-steppe plantations), *Lesovedenie*, 2009, No. 3, pp. 32–42.
- Kaplina N.F., Selochnik N.N., Tekushchee i dolgovremennoe sostoyanie duba chereshchatogo v trekh kontrastnykh tipakh lesa yuzhnoi lesostepi (Current and long-term state of the English oak in three contrasting forest types in southern forest steppe), *Lesovedenie*, 2015, No. 3, pp. 191–201.
- Kaplina N.F., Vliyanie razvitiya kryny na radial'nyi prirost rannei i pozdnei drevesiny stvola duba chereshchatogo (Influence of crown development on radial increment of early and late stem wood of *Quercus robur*), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2019, No. 2(42), pp. 17–25.
- Kaplina N.F., Zhirenko N.G., Dinamika fitomassy list'ev, sostoyaniya i razvitiya kryny derev'ev nagornoj dubravy yugo-vostochnoi lesostepi v neblagopriyatnykh usloviyakh poslednego desyatilieta (Dynamics of leaves phytomass, state and growth of limbs of trees of the mountain oak forest in the south-eastern forest steppe in unfavorable conditions of the last decade), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2012, No. 2(16), pp. 3–11.
- Losseau J., Jonard M., Vincke C., Pedunculate oak decline in southern Belgium: a long-term process highlighting the complex interplay among drought, winter frost, biotic attacks, and masting, *Can. J. For. Res.*, 2020, Vol. 50, No. 4, pp. 380–389.
- Matveev S.M., Chendev Yu.G., Lupo A.R., Hubbard J.A., Timashchuk D.A., Climatic changes in the east-European forest-steppe and effects on scots pine productivity, *Pure and Applied Geophysics*, 2016, Vol. 174, No. 1, pp. 427–443.
- McEwan R. W., McCarthy B. C., Anthropogenic disturbance and the formation of oak savanna in central Kentucky, USA, *Journal of Biogeography*, 2008, Vol. 35, No. 5, pp. 965–975.
- Merzlenko M.D., Obosnovanie teorii volnoobraznogo rosta khvoinykh lesnykh kul'tur (Coniferous forest crops wave growth theory grounding), *Lesnoi vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, Vol. 25, No. 2, pp. 5–9.
- Natsional'nyi doklad “Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstvii i adaptivnye mery (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)” (National report “Global climate and land cover in Russia: drought manifestations, prevention, control, mitigation and adaptive measures (agriculture and forestry)”), Moscow: MBA Publ., 2021, Vol. 3, 700 p.
- Nowacki G.J., Abrams M.D., Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks, *Ecological Monographs*, 1997, Vol. 67, No. 2, pp. 225–249.
- Petritan A.M., Petritan I.C., Hevia A., Walentowski H., Bouriaud O., Sánchez-Salguero R. Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies, *Forest Ecology and Management*, 2021, Vol. 491, 119097.
- Piovesan G., Biondi F., On tree longevity, *New Phytologist*, 2021, Vol. 231, No. 4, pp. 1318–1337.
- Rubtsov V.V., Utkina I.A., *Adaptatsionnye reaktsii duba na defoliatsiyu* (Adaptive feedback to defoliation of an oak), Moscow: Grif i K, 2008, 302 p.
- Sánchez-Salguero R., Colangelo M., Matías L., Ripullone F., Camarero J.J., Shifts in growth responses to climate and exceeded drought-vulnerability thresholds characterize dieback in two Mediterranean deciduous oaks, *Forests*, 2020, Vol. 11, No. 7, pp. 714.
- Sapanov M.K., Klimatogennye faktory vnezapnogo izmeneniya khoda rosta dereva (Climatic factors of a sudden change of tree growth), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2019, No. 2, pp. 253–263.
- Scharnweber T., Heinze L., Cruz-Garcia R., van der Maaten-Theunissen M., Wilmking M. Confessions of solitary oaks: we grow fast but we fear the drought, *Dendrochronologia*, 2019, Vol. 55, pp. 43–49.
- Selochnik N.N., Mnogoletnyaya dinamika starovozrastnykh nasazhdennii Tellermanovskikh dubrav (Long-term dynamics of old-grown stands of Tellerman oak forests), *Lesovedenie*, 2014, No. 2, pp. 59–68.
- Solomina O.N., Bushueva I.S., Dolgova E.A., *Zasukhi Vostochno-evropeiskoi ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrokronologicheskim dannym* (Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and tree-ring data), Moscow, Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017, 360 p.
- Sostoyanie dubrav lesostepi (The state of the oak forests of the forest-steppe), Moscow: Nauka, 1989, 230 p.
- Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V., Dolgoletie derev'ev duba i dubovykh drevostoev (The longevity of oak trees and oak forest), *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2017, No. 4, pp. 25–32.