

УДК 630\*181.65:632.152

Ю.П. Демаков<sup>1</sup>, М.И. Майшанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола

<sup>2</sup>Российский университет кооперации, г. Мытищи

## ВЛИЯНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЗАВОДА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА НА ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ



Одной из важнейших задач биогеоценологии является оценка реакций древостоев на естественные и антропогенные воздействия, которая приобретает особую актуальность в связи с усилением в настоящее время техногенного загрязнения окружающей среды. Наиболее универсальным и простым показателем состояния деревьев является величина их годового прироста в высоту и толщину, анализ динамики которой позволяет успешно решить эту задачу и дать объективную оценку характера ответных реакций. Данному вопросу посвящено большое число публикаций (Битвинскас, 1974; Ловелиус, 1979; Антанайтис, 1985; Бузыкин и др., 1986; Стравинскене, 1987; Барткявичюс, Агустайтис, 1990; Комин, 1990; Алексеев, 1991; Грейбилл, 1991; Цветков, 1991; Таранков, Матвеев, 1994; Ваганов и др., 1996; Демаков, 2001; Демаков и др., 2002; Щечкалев, Тарханов, 2007; Борисова и др., 2008; Румянцев, 2011), однако ни в одной из них не рассматриваются последствия воздействия на древостой выбросов заводов силикатного кирпича, вызывающих загрязнение лесных биогеоценозов.

**Цель работы** – выявление закономерностей динамики годового прироста деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в высоту и толщину, произрастающих в зоне воздействия выбросов завода силикатного кирпича.

**Объекты и методика исследования.** Объектом исследования служили сосняки, произрастающие на рыхло-песчаной дерново-слабоподзолистой почве в ТЛУ А<sub>1-2</sub>. Они расположены к северу от Марийского завода силикатного кирпича, действующего с 1953 года и выбрасывающего в окружающую среду пыль известняка, содержащую кроме кальция, как основного ее компонента, множество других элементов (Демаков и др., 2013). В данном лесном массиве на разном удалении от завода, воздействие которого отчетливо прослеживается на расстоянии до 500 м (Курбанов и др., 2013), было заложено несколько пробных площадей со сплошным пересчетом деревьев и взятием кернов (112 шт.) для дендрохронологического анализа. Деревья делили на возрастные поколения, которые определяли по внешним габитуальным признакам. Измерение ширины годовых колец деревьев провели на бинокулярном микроскопе с точностью  $\pm 0,1$  мм. У 25 деревьев в 28-35-летних естественных молодняках, произрастающих на разном удалении от завода, провели измерения годового прироста в высоту за весь период их жизни. В качестве контроля (фона) для них служили лесные культуры, созданные по сплошной обработке почвы и удаленные от завода на расстоянии 1100 м.

**Результаты и обсуждение.** Анализ полученных данных показал, что в первый период своей жизни лучше всего росли в высоту деревья на фоновом участке (табл. 1,

рис. 1), что связано, однако, не столько с загрязнением среды, сколько с различиями в их происхождении. В 1990-1999 гг., когда отмечалась кульминация прироста деревьев, максимальное значение показателя отмечалось на расстоянии 190 м от источника загрязнения. За последние 10 лет, как и в целом за все время существования молодняков, наиболее высокий прирост имели деревья на расстоянии 130 м от завода. Самый же низкий прирост имели деревья, расположенные в непосредственной близости от завода, хотя на фоновом участке он у них был лишь немногим выше. На радиальный прирост деревьев известковое загрязнение повлияло в целом положительно (табл. 2), особенно в последние шесть лет (рис. 2). В первые же годы наиболее благоприятные условия для их роста были на фоновом участке в лесных культурах. Основным источником изменчивости годового прироста деревьев является расстояние от источника загрязнения, а также «шумы», проявляющиеся в специфичности их ответных реакций на колебания погодных условий (табл. 3).

Таблица 1

Показатели годового прироста деревьев в высоту

Расстояние от завода	Статистические показатели прироста*				
	n	$M_x \pm m_x$ , см	$S_x$ , см	V, %	t
<i>Прирост за 1980-1989 гг.</i>					
100 м	36	20,9±1,67	10,05	48,2	3,95
130 м	29	27,3±3,04	16,37	60,0	1,15
190 м	45	22,8±1,84	12,37	54,2	3,10
280 м	47	27,5±2,10	14,41	52,3	1,34
1100 м	39	31,5±2,12	13,25	42,0	-
<i>Прирост за 1990-1999 гг.</i>					
100 м	50	36,6±1,04	7,33	20,0	2,59
130 м	40	50,2±1,78	11,26	22,4	3,60
190 м	50	57,2±1,54	10,90	19,0	7,02
280 м	50	52,1±1,48	10,48	20,1	4,79
1100 м	50	41,6±1,61	11,41	27,4	-
<i>Прирост за 2000-2010 гг.</i>					
100 м	55	32,5±1,03	7,67	23,6	3,93
130 м	44	49,5±1,91	12,65	25,6	4,21
190 м	55	46,5±1,50	11,13	23,9	3,41
280 м	55	44,2±1,22	9,02	20,4	2,56
1100 м	55	39,4±1,44	10,65	27,0	-
<i>Прирост за весь период</i>					
100 м	143	30,7±0,87	10,44	34,0	5,33
130 м	113	44,0±1,55	16,45	37,4	3,31
190 м	151	42,8±1,48	18,16	42,5	2,70
280 м	155	41,0±1,26	15,73	38,4	1,89
1100 м	145	37,9±1,03	12,36	32,6	-

\*Здесь и далее: n – объем выборки;  $M_x$  – среднее значение;  $S_x$  – среднее квадратическое (стандартное) отклонение;  $m_x$  – ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации, t – критерий Стьюдента ( $t_{0,05} = 1,96$ ).

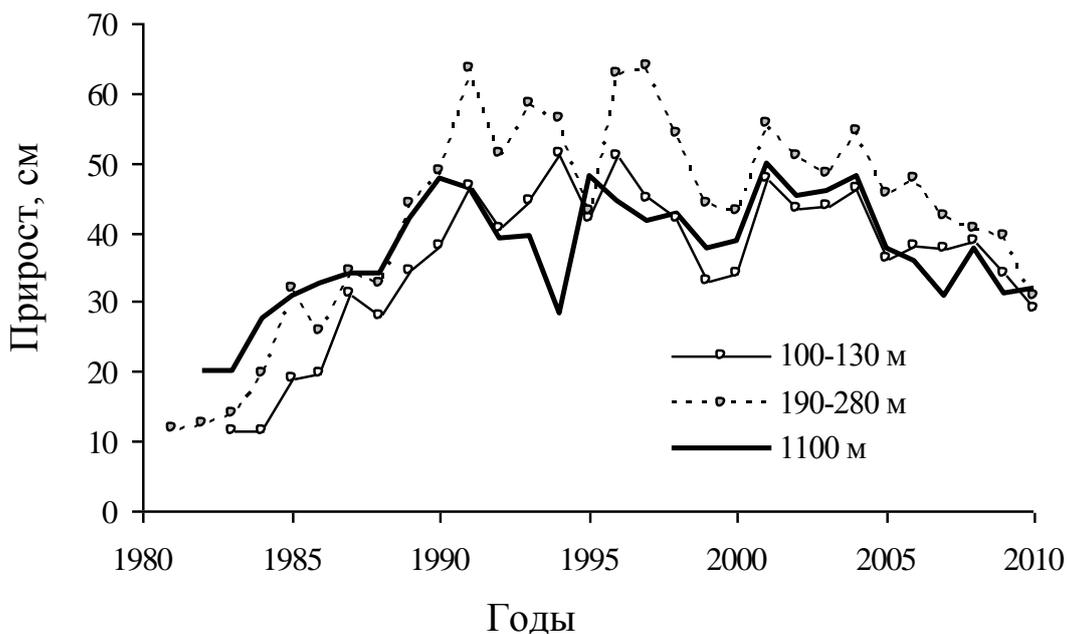


Рис. 1. Динамика годичного прироста в высоту молодняков сосны на разном удалении от источника загрязнения.

Таблица 2

Показатели радиального прироста деревьев

Расстояние от завода	Статистические показатели прироста				
	n	$M_x \pm m_x$ , мм	$S_x$ , мм	V, %	t
<i>Прирост за 1980-1989 гг.</i>					
100-130 м	49	$2,82 \pm 0,17$	1,18	41,8	3,14
190-220 м	50	$3,68 \pm 0,17$	1,20	32,8	0,47
1100 м	40	$3,83 \pm 0,28$	1,74	45,5	-
<i>Прирост за 1990-1999 гг.</i>					
100-130 м	80	$2,27 \pm 0,09$	0,84	36,9	1,13
190-220 м	80	$2,43 \pm 0,08$	0,71	29,2	2,53
1100 м	80	$2,12 \pm 0,09$	0,83	39,2	-
<i>Прирост за 2000-2011 гг.</i>					
100-130 м	96	$2,27 \pm 0,11$	1,04	46,0	6,42
190-220 м	96	$1,74 \pm 0,07$	0,69	39,8	2,83
1100 м	96	$1,47 \pm 0,07$	0,65	44,2	-
<i>Прирост за весь период</i>					
100-130 м	225	$2,39 \pm 0,07$	1,03	43,0	2,16
190-220 м	227	$2,42 \pm 0,07$	1,12	46,3	2,38
1100 м	216	$2,15 \pm 0,09$	1,31	61,1	-

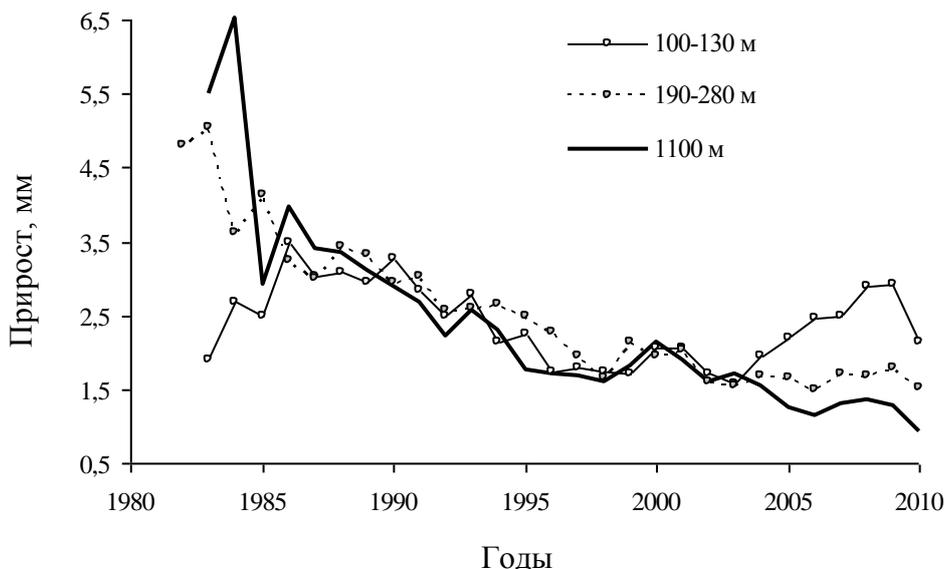


Рис. 2. Динамика радиального годичного прироста деревьев в молодняках сосны на разном удалении от источника загрязнения.

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа динамики годичного прироста деревьев сосны в молодняках в разные периоды их существования

Периоды роста древостоя	Фактор дисперсии и доля его влияния				
	Расстояние от завода		Деревья		Вклад шума, %
	$F_{\text{факт.}}$	Вклад, %	$F_{\text{факт.}}$	Вклад, %	
<i>Прирост деревьев в высоту (<math>F_{\text{вар.}} = 3,26; F_{\text{новт.}} = 3,49</math> при <math>P = 0,95</math>)</i>					
1980-1989 гг.	5,25	48,4	3,47	24,0	27,6
1990-1999 гг.	16,88	81,8	1,01	3,7	14,5
2000-2011 гг.	17,49	71,9	5,09	15,7	12,3
Весь период	18,48	69,8	6,68	18,9	11,3
<i>Радиальный прирост деревьев (<math>F_{\text{вар.}} = 3,74; F_{\text{новт.}} = 2,76</math> при <math>P = 0,95</math>)</i>					
1990-1999 гг.	1,91	8,8	3,66	59,0	32,2
2000-2011 гг.	19,74	25,9	14,13	64,9	9,2
Весь период	8,10	7,2	27,93	86,6	6,2

Реакция деревьев старшего поколения в сосняках естественного происхождения на известковое загрязнение иная. Так, ширина их годичных колец в первые годы жизни в примыкающих к заводу насаждениях была выше, чем в других местах, однако затем начала резко снижаться (рис. 3). В период с 1924 по 1940 гг. величина годичного радиального прироста произрастающих здесь деревьев была самой низкой. С 1941 года во всех биотопах прирост начал возрастать, достигнув максимума в 1950 году, однако и в этот период на примыкающей к заводу полосе леса он был самым низким. Ситуация существенно не изменилась и после пуска предприятия в 1953 году, когда прирост на всех пробных площадях начал в целом снижаться, флуктуируя при этом под влиянием колебаний климата. Лишь только в последние 15-20 лет величина годичного прироста деревьев во всех биотопах стала практически одинаковой. Средняя величина прироста деревьев на первой ленте была существенно ниже, чем на других участках, особенно на фоновом, как в различные этапы их жизни (табл. 4), так и в аномальные по погодным условиям годы (табл. 5). Радиальный прирост деревьев второго поколения, возникших

в сосняках незадолго до пуска завода, был наиболее высоким на фоновом участке (табл. 6), однако на прилегающих к заводу полосах леса он был лишь немногим ниже. Наихудший же рост деревьев, особенно после 1975 года, отмечался на расстоянии 190-220 м от завода (рис. 4). Основным источником изменчивости годичного прироста деревьев является расстояние от источника загрязнения, а также «шумы», проявляющиеся в специфичности их ответных реакций на колебания погодных условий (табл. 7).

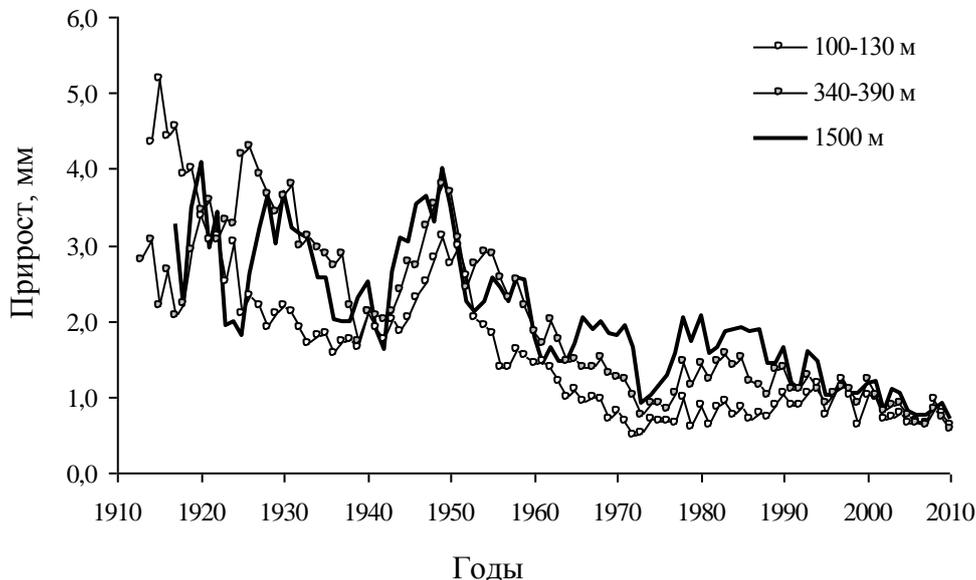


Рис. 3. Динамика радиального годичного прироста деревьев сосны первого поколения на разном удалении от источника загрязнения.

Таблица 4

Динамика радиального прироста деревьев сосны первого поколения

Расстояние от завода	Статистические показатели годичного прироста				
	n	$M_x \pm m_x$ , мм	$S_x$ , мм	V, %	t
<i>Прирост за 1906-1949 гг.</i>					
100-130 м	298	$2,67 \pm 0,08$	1,41	52,8	1,65
340-390 м	213	$3,05 \pm 0,11$	1,58	51,9	1,25
1500 м	229	$2,88 \pm 0,09$	1,40	48,7	-
<i>Прирост за 1950-1979 гг.</i>					
100-130 м	240	$1,27 \pm 0,05$	0,08	62,9	8,97
340-390 м	240	$1,80 \pm 0,07$	1,08	59,9	1,47
1500 м	240	$1,92 \pm 0,05$	0,80	41,5	-
<i>Прирост за 1980-2010 гг.</i>					
100-130 м	248	$0,85 \pm 0,02$	0,34	39,4	9,69
340-390 м	248	$1,08 \pm 0,04$	0,60	55,9	3,81
1500 м	248	$1,29 \pm 0,04$	0,63	48,6	-
<i>Прирост за весь период</i>					
100-130 м	786	$1,67 \pm 0,05$	1,27	76,3	5,35
340-390 м	701	$1,93 \pm 0,05$	1,39	72,2	1,22
1500 м	717	$2,01 \pm 0,04$	1,18	58,8	-

Таблица 5

Радиальный прирост деревьев сосны первого поколения в экстремальные по погодным условиям и смежные с ними годы

Расстояние от завода	Величина прироста в различные годы, мм (n = 8)					
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.
100-130 м	0,68±0,08	0,49±0,11	0,53±0,06	0,61±0,08	0,90±0,19	0,63±0,08
340-390 м	1,23±0,29	1,01±0,29	0,76±0,23	1,15±0,26	1,45±0,33	1,23±0,26
1500 м	1,94±0,15	1,64±0,22	0,91±0,15	1,74±0,12	2,08±0,21	1,58±0,19

**Примечание:** лето 1972 года было аномально жарким и сухим, а в 1980 году очень холодным и дождливым.

Таблица 6

Динамика радиального прироста деревьев сосны второго поколения

Расстояние от завода	Статистические показатели годичного прироста				
	n	$M_x \pm m_x$ , мм	$S_x$ , мм	V, %	t
<i>Прирост за 1954-1972 гг.</i>					
80 м	144	1,66±0,06	0,71	42,5	1,53
100-130 м	144	1,71±0,07	0,86	50,6	1,02
190-280 м	140	1,39±0,06	0,77	55,5	3,89
340-390 м	151	1,29±0,06	0,70	54,7	4,93
1500 м	122	1,83±0,09	1,03	56,5	-
<i>Прирост за 1973-1992 гг.</i>					
80 м	160	1,17±0,03	0,36	30,6	5,80
100-130 м	160	1,09±0,04	0,48	44,0	6,64
190-280 м	160	0,64±0,03	0,33	51,5	15,83
340-390 м	160	0,94±0,03	0,40	42,7	9,76
1500 м	160	1,49±0,05	0,59	39,5	-
<i>Прирост за 1993-2010 гг.</i>					
80 м	144	1,17±0,04	0,49	41,5	1,15
100-130 м	144	1,05±0,05	0,64	60,8	0,96
190-280 м	144	0,35±0,01	0,18	51,5	20,09
340-390 м	144	0,38±0,03	0,38	100,0	15,61
1500 м	144	1,11±0,03	0,42	37,7	-
<i>Прирост за весь период</i>					
80 м	479	1,39±0,03	0,62	44,6	1,59
100-130 м	481	1,35±0,04	0,79	58,2	2,12
190-280 м	468	0,85±0,03	0,70	83,0	12,50
340-390 м	487	1,06±0,02	0,54	51,4	9,19
1500 м	434	1,46±0,04	0,77	52,3	-

**Заключение.** Результаты проведенного исследования показывают, что величина годичного прироста в высоту и толщину деревьев сосны, находящихся в зоне воздействия пылевых выбросов завода силикатного кирпича, зависит от времени их появления, степени удаленности от источника загрязнения и биоценотического окружения. Прирост деревьев, появившихся спустя 20-30 лет после пуска предприятия на свободной от леса загрязненной территории, выше, чем на фоновом участке. Угнетающе действует на рост деревьев лишь очень сильное загрязнение известковой пылью, которое

отмечается на расстоянии до 130 м от завода. Старые же деревья в сосновых ценозах начинают после пуска завода снижать годичный прирост, т.к. не могут адаптироваться к избыточному поступлению известковой пыли. Годичный прирост деревьев второго поколения, возникших в сосняках незадолго до пуска завода, наиболее высок на фоновом участке, однако на прилегающих к заводу полосах леса он лишь немногим ниже. Основным источником изменчивости годичного прироста деревьев является расстояние от источника загрязнения, а также «шумы», проявляющиеся в специфичности их ответных реакций на колебания погодных условий и других факторов среды.

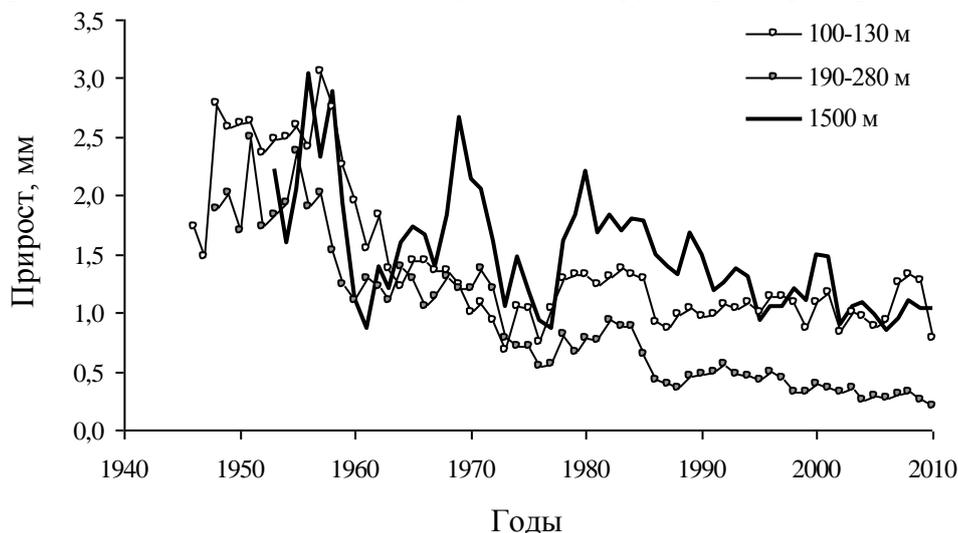


Рис. 4. Динамика радиального прироста деревьев сосны второго поколения на разном удалении от источника загрязнения.

Таблица 7

Результаты дисперсионного анализа динамики радиального прироста деревьев сосны разных поколений

Периоды роста древостоя	Фактор дисперсии и доля его влияния				
	Расстояние от завода		Деревья		Вклад шума, %
	$F_{\text{факт.}}$	Вклад, %	$F_{\text{факт.}}$	Вклад, %	
<i>Деревья первого поколения (<math>F_{\text{вар.}} = 3,74; F_{\text{повт.}} = 2,76</math> при <math>P = 0,95</math>)</i>					
1906-1949 гг.	2,23	15,1	1,59	37,6	47,3
1950-1979 гг.	5,97	37,1	0,89	19,4	43,5
1980-2010 гг.	2,42	19,9	0,79	22,7	57,4
Весь период	10,56	43,2	1,97	28,2	28,6
<i>Деревья второго поколения (<math>F_{\text{вар.}} = 2,71; F_{\text{повт.}} = 2,36</math> при <math>P = 0,95</math>)</i>					
1954-1972 гг.	3,23	26,8	1,05	15,2	58,0
1973-1992 гг.	13,80	53,7	2,81	19,1	27,2
1993-2010 гг.	6,56	40,2	1,57	16,8	43,0
Весь период	13,07	56,7	1,71	13,0	30,3

### Список использованной литературы

- Алексеев А.С. Радиальный прирост древостоев *Picea abies* (Pinaceae) в условиях атмосферного загрязнения // Ботанический журнал. 1991. № 11. С. 1498-1503.
- Антанайтис В.В. Изучение роста древостоев на экологической основе // Закономерности роста и производительности древостоев. Каунас: ЛитСХА, 1985. С. 11-14.

*Барткявичюс Э.Л., Агустайтис А.* Древесно-кольцевой анализ сосновых древостоев, поврежденных промышленными выбросами // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. Свердловск, 1990. С. 37-38.

*Битвинская Т.Т.* Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.

*Борисова О.В., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А.* Динамика радиального прироста деревьев и древостоев в Новгородской области в условиях аэротехногенного загрязнения // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Материалы всероссийской конференции. Ч. 5. Геоботаника. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. С. 26-28.

*Бузыкин А.И., Дашиковская И.С., Хлебопрос Р.Г.* Характеристика динамики радиального прироста древостоев // Лесоведение. 1986. № 6. С. 31-38.

*Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.

*Грейбилл Д.А.* Дендрохронологическое изучение загрязнений воздушной среды в хвойных лесах западных районов США // Лесоведение. 1991. № 2. С. 3-15.

*Демаков Ю.П., Майшанова М.И., Гончаров Е.А. и др.* Воздействие завода силикатного кирпича на состояние и структуру соснового биогеоценоза. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. 192 с.

*Демаков Ю.П.* Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. М.: МГУЛ, 2001. С. 257-263.

*Демаков Ю.П., Козлова И.А., Медведкова Е.А.* Использование рядов радиального годичного прироста ствола для оценки условий среды и жизнеспособности деревьев // Проблемы государственного мониторинга природной среды на территории Республики Марий Эл / Материалы конф. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. С. 105-110.

*Комин Г.Е.* Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение. 1990. № 2. С. 3-11.

*Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Полевицкова Ю.А., Незамаев С.А., Демшиева Е.Н.* Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отходами силикатного производства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2013. № 2. С. 74-90.

*Ловеллус Н.В.* Изменчивость прироста деревьев (дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий). Л.: Наука, 1979. 230 с.

*Румянцев Д.Е.* Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике: Автореф. дис.... докт. биол. наук. М., 2011. 36 с.

*Стравинскене В.П.* Изменение радиального прироста деревьев в зоне действия промышленных загрязнений // Лесн. хоз-во. 1987. № 5. С. 34-36.

*Таранков В.И., Матвеев С.М.* Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения // ИВУЗ. Лесной журнал. 1994. № 4. С. 48-51.

*Цветков В.Ф.* Рост сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове // Лесн. хоз-во. 1991. № 5. С. 20-22.

*Щекалев Р.В., Тарханов С.Н.* Радиальный прирост сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в бассейне Северной Двины // Лесоведение. 2007. № 2. С. 45-50.

**Рецензент статьи:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор Поволжского государственного технологического университета Э.А. Курбанов.