

ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus sylvestris* L.) ВДОЛЬ ПРИГОРОДНЫХ АВТОТРАСС г. ВОРОНЕЖА 1991–2007 гг.

Приводятся обобщенные результаты исследований радиального прироста сосновых древостоев в условиях автотранспортного загрязнения. На основе метода дендрохронологического анализа проведен мониторинг состояния древостоев сосны обыкновенной вдоль автодорог в период с 1991 по 2007 г. Установлены изменения радиального прироста сосны обыкновенной на различном удалении от автодорог при различном по интенсивности автотранспортном загрязнении. Выявлены длительные многолетние депрессии прироста, расширение зоны негативного влияния автотранспорта на состояние древостоев сосны, достоверное снижение радиального прироста, а также усиление этого процесса с 1991 по 2007 г.

Ключевые слова: радиальный прирост; автотранспортное загрязнение; сосна обыкновенная; ширина годичного кольца; поздняя древесина.

В настоящее время растет численность автотранспортных средств, расширяется сеть автодорог, увеличиваются объемы потребляемого топлива и, как следствие, выбросы вредных веществ. На долю автотранспорта в Воронежской области приходится более 80% всех выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Усиливается негативное влияние автомобильно-дорожного комплекса на окружающую среду в целом и, в частности, на экосистемы, расположенные вдоль автодорог, в том числе и лесные. Возникает необходимость оценки масштабов воздействия автотранспорта при анализе текущей экологической ситуации и ее динамики, разработки и осуществления мероприятий, направленных на повышение устойчивости нарушенных в результате автотранспортного загрязнения лесных фитоценозов.

Исследования проведены в чистых одновозрастных культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в наиболее распространенных для сосняков Центральной лесостепи лесорастительных условиях – В₂ (свежая сукость) и типе леса Сдтр (сосняк травяной с дубом).

Изучение динамики радиального прироста в условиях автотранспортного загрязнения проведено в три этапа: в 1991, 1995 и 2007 гг. вдоль участка автодороги Воронеж – Ростов, построенного в 1968 г. и характеризующегося интенсивным транспортным потоком. Исследование 2007 г. включило также и участок дороги районного значения (Воронеж – Репное) с невысокой интенсивностью движения. Кроме дендроиндикации использован достаточно широкий ряд методов фитоиндикации, позволяющий оценить состояние всех компонентов лесного фитоценоза. Содержание данной статьи освещает, преимущественно, результаты проведенного дендрохронологического анализа.

Измеренная в 2007 г. в районе закладки пробных площадей средняя интенсивность движения транспорта и структура транспортного потока составила по участку дороги Воронеж – Ростов 1300 авт./ч, из них около 80% – легковые автомобили, остальные приходятся на грузовой автотранспорт (19%) и автобусы (1%). Средняя интенсивность движения по участку дороги Воронеж – Репное составила 180 авт./ч. Транспортный поток представлен преимущественно легковыми автомобилями (97%). Измерения проводились в светлое время суток (с 8.00 до 21.00) в течение вегетационного периода.

Дендроиндикация состояния лесных культур сосны вдоль автодороги Воронеж – Ростов (1991 г.)

Для проведения исследования и отбора образцов древесины заложены 4 пробные площади (№ 7, 8, 15 и 17) на различном удалении от автодороги. Размер п.п. 7, 8 и 15 – 40×50 м, удаление от дороги, соответственно 50

и 500 м и 13 км. Пробная площадь 17 представляет собой ряд деревьев, растущих непосредственно вдоль автодороги на удалении 10 м от полотна дороги.

Пробная площадь 8, удаленная от автодороги на 500 м, хотя и не испытывает влияния автотранспорта, контрольным древостоем служить не может, так как подвержена более заметному (III стадия дигрессии) рекреационному воздействию от сравнительно близко расположенного поселка «Боровое». Пробная площадь 8 использовалась для сравнения динамики прироста, но в качестве контрольного древостоя по абсолютным значениям радиального прироста использовались данные п.п. 15. Таксационные характеристики всех пробных площадей соответствуют друг другу (табл. 1).

По результатам морфологических описаний почвенных разрезов, заложенных в пределах пробных площадей, на обследуемом участке почва светло-серая лесная слабогумусированная маломощная на верхне-четвертичных песках. Дендрохронологический анализ 40-летних лесных культур сосны обыкновенной, подверженных загрязнению выбросами автотранспорта вдоль автодороги Воронеж – Ростов, проведен на образцах, отобранных с пробных площадей 17, 7 и 8.

Сравнивая характеристики прироста деревьев на трех пробных площадях этой группы, видим, что они имеют определенные различия. На п.п. 7 (50 м от автодороги), и особенно на п.п. 17 (вдоль автодороги), заметно снижается контрастность поздней зоны годичного кольца, резко возрастают «слоистость» поздней зоны и количество «ложных колец». Увеличение и уменьшение прироста от минимума к максимуму на п.п. 7 более равномерно, чем на п.п. 8 (500 м от автодороги), хотя и отмечается довольно высокая амплитуда колебаний, а на п.п. 17 отмечена некоторая хаотичность в колебаниях прироста при высокой амплитуде и частоте. Основные минимумы и максимумы являются общими для всех обследованных древостоев. Снижение прироста в 1980-е гг. отмечается на всех пробных площадях, но на п.п. 17 оно начинается раньше и значительно ярче выражено. Качественные характеристики древесины (гибкость, упругость) несколько снижаются при приближении к автодороге, но незначительно.

Цикличность радиального прироста хорошо прослеживается на всех трех пробных площадях, как по всему кольцу, так и по поздней зоне годичного кольца. Но при приближении к автодороге (п.п. 8 – п.п. 7 – п.п. 17) резко возрастает амплитуда колебаний.

Максимальные значения прироста в абсолютных величинах не показательны, так как всегда наблюдаются в начале жизни дерева.

Таблица 1

Таксационная характеристика пробных площадей (1991 г.)

№ пробной площади	Квартал / выдел	ТЛУ	Тип леса	Состав	Возраст	Бонитет	Густота, шт./га	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Стадия дигрессии	Удаление от дороги, м	Запас живых стволов, м ³ /га
17	165/4	Сдтр	В ₂	10С	40	III	1200	12,0	15,0	21,0	0,70	II	0	130
7	165/4			10С	40	II	1205	12,5	15,0	20,9	0,65	II	50	137
8	166/2			10С	40	I	1590	16,5	15,0	28,2	0,87	III	500	227
15	98/1			10С	40	I	1700	16,0	15,0	28,0	0,90	I	13км	250

По абсолютным значениям ширины годичного кольца наиболее глубокий минимум наблюдается на самой удаленной от автотрассы п.п. 8 (следует учесть, что она подвержена более сильному рекреационному воздействию). Однако выраженные в относительных индексах минимальные значения подтверждают тенденции, отмеченные для загрязнения от стационарных источников: п.п. 17 (вдоль автотрассы) – 58%, п.п. 7 (50 м от автотрассы) – 64%, п.п. 8 (500 м от автотрассы) – 65%, т.е. по мере удаления от автотрассы минимальные значения относительных индексов возрастают.

Минимальные абсолютные значения поздней зоны годичного кольца также возрастают по мере удаления от автотрассы, но выраженные в относительных индексах они располагаются таким образом: п.п. 17 – 62%, п.п. 7 – 58%, п.п. 8 – 63%, что отражает сниженный прирост в целом за длительный период вдоль автотрассы (п.п. 17). Максимальные значения годичного кольца этого объекта (в относительных индексах) уменьшаются при удалении от автотрассы, причем разница в значениях очень велика, что подтверждает хорошо прослеживающееся на графиках возрастание амплитуды колебаний прироста при приближении к автотрассе.

Такое же уменьшение наблюдается и по максимальным относительным индексам поздней древесины.

Из вышесказанного видно, что при автотранспортном загрязнении наблюдается возрастание амплитуды колебаний прироста при приближении к источнику загрязнения (автотрассе) не только для всего годичного кольца, но и для поздней зоны годичного кольца.

Экстремальные значения максимумов и минимумов радиального прироста деревьев на рассматриваемых пробных площадях приходятся на разные годы. В целом по объекту исследований следует отметить значительное совпадение по годам максимальных значений

радиального прироста как всего кольца, так и поздней зоны годичного кольца, отклонения минимальных значений не превышают одного года.

Для оценки количественных изменений прироста под воздействием выбросов автотранспорта проведен анализ среднего абсолютного прироста на обследуемых пробных площадях за 20 (1971–1990 гг.) и 10 (1981–1990 гг.) лет. Однако, как отмечалось, пробная площадь 8, в отличие от п.п. 17 и 7, подвержена большему рекреационному воздействию и не может служить контрольным древостоем при сравнении количественных характеристик радиального прироста в абсолютных величинах.

Она использовалась для сравнения динамики прироста. Для количественного контроля использовалась п.п. 15, полностью соответствующая по таксационным характеристикам насаждениям пробных площадей 17 и 7 (табл. 2).

Средний радиальный прирост всего кольца (мм) за рассмотренные периоды возрастает от источника загрязнения (автотрассы) к контролю. С 1981 по 1990 г. средний прирост уменьшается на всех пробных площадях, но наиболее интенсивно – при приближении к автотрассе. Прирост поздней древесины минимален на п.п. 17 (вдоль автотрассы), но на п.п. 7 (50 м от автотрассы) он превышает контрольный. В последнем проанализированном десятилетии (1981–1990 гг.) средний прирост уменьшился на п.п. 17 и 7, в контроле прирост увеличился. Статистическую достоверность падения радиального прироста под воздействием выбросов автотранспорта проверяли показателем существенности различия средних значений (*t*).

Средние арифметические радиального прироста сосны за последние 10 лет (1981–1990 гг.) на обследуемых пробных площадях попарно сравнивали с контролем (п.п. 15) (табл. 3).

Таблица 2

Средний радиальный прирост сосны за 20 лет (1971–1990 гг.) и 10 лет (1981–1990 гг.)

Показатель	№ пробной площади		
	17	7	15 (контроль)
Всё кольцо за 20 лет, мм	1,91	2,03	2,13
То же, %	90	95	100
Всё кольцо за 10 лет, мм	1,53	1,91	2,1
То же, %	73	91	100
Поздняя зона за 20 лет, мм	0,54	0,74	0,63
То же, %	86	117	100
Поздняя зона за 10 лет, мм	0,52	0,70	0,66
То же, %	79	106	100

Таблица 3

Существенность различия радиального прироста сосновых древостоев

Показатель	№ пробной площади		
	17	7	15
Средняя арифметическая (<i>x</i>)	1,529	1,907	2,103
Ошибка средней арифметической (<i>m</i>)	0,202	0,089	0,169
Существенность различия (<i>t</i>)	2,18	1,03	–

Различие между радиальным приростом вдоль автотрассы (п.п. 17) и контролем (п.п. 15) можно считать доказанным с 97%-ным значением вероятности. Значение вероятности различия между радиальным приростом в 50 м от автотрассы (п.п. 7) и контролем (п.п. 15) – 68%.

Основные результаты:

1. При приближении к автотрассе резко возрастает амплитуда колебаний прироста как по ширине всего кольца, так и по ширине поздней зоны годичного кольца.

2. Средний абсолютный прирост падает при приближении к автотрассе. Причем в последнем проанализированном десятилетии (1981–1990 гг.) с большей интенсивностью.

3. По величине поздней зоны средний прирост на участке, расположенном в 50 м от автотрассы (п.п. 7), превышает контрольный (п.п. 15). В полосе, прилегающей к автотрассе (п.п. 17), прирост минимален.

4. В последнем изученном десятилетии (1981–1990 гг.) на прилегающей к автотрассе полосе (п.п. 17) и участке, удаленном на 50 м от автотрассы (п.п. 7), происходит снижение прироста поздней древесины. В контроле (п.п. 15) прирост повысился.

Исследования 1991 г. показали, что влияние атмосферного загрязнения на древесные насаждения распространяется локально, на сравнительно небольшом удалении от источника (< 100 м) и очень дифференцированно по удалению от дороги.

Дендроиндикация состояния лесных культур сосны вдоль автотрассы Воронеж – Ростов по модифицированной методике (1995 г.)

В 1995 г. проведено повторное обследование этого объекта по модифицированной методике, предложен-

ной И.Я. Лиёпа с соавт. [1] для оценки влияния автотранспорта на лес, на пяти линейных пробных площадях (п.п. 30–34). Пробные площади заложены узкими полосами (5×100 м) вдоль автотрассы на различном удалении (0, 5, 10, 50, 100 м).

На пробных площадях обследовались все компоненты лесного фитоценоза согласно разработанной комплексной методике биоиндикации состояния насаждений [2]. Получены следующие результаты. Увеличение средней высоты древостоя по удалению от автотрассы от 10,5 до 14,5 м (в пределах 100 м) характеризует увеличение продуктивности древостоев (бонитет меняется от III до I). Сильная концентрация ядовитых веществ вызывает более интенсивный отпад ослабленных деревьев на прилегающий к автотрассе п.п. 30, лучшая освещенность сказывается на увеличении среднего диаметра древостоя. Изменчивость среднего диаметра характеризует как наличие воздействия выбросов автотранспорта, так и влияние бокового освещения на примыкающие к автотрассе насаждения. В результате максимальный диаметр (18 см) наблюдается возле автотрассы, затем он уменьшается (16,5 см) и вновь несколько возрастает в контроле (17 см).

Анализ санитарного состояния древостоев по экологически обоснованной шкале для хвойных деревьев [3] показал последовательное увеличение здоровых деревьев по мере удаления от автотрассы (табл. 4).

Для сравнительного анализа изменчивости радиального прироста древостоев на различном удалении от автотрассы применен графический метод. Сравнивали цикличность, динамику, амплитуду колебаний, минимумы и максимумы прироста как по абсолютным, так и по относительным значениям ширины годичных колец.

Таблица 4

Распределение древостоев по категориям состояния на 1 га на разном расстоянии от автотрассы Воронеж – Ростов, %

№ п.п.	Категории состояния насаждений						Удаление от автотрассы, м
	I	II	III	IV	V	VI	
30	9	87	4	–	–	–	0–5
31	22	73	5	–	–	–	5–10
32	44	53	3	–	–	–	10–15
33	82	17	–	–	–	–	50–55
34	84	16	–	–	–	–	100–105

На трех ближайших к автотрассе п.п. (30, 31, 32) 0–15 м от автотрассы наблюдается минимальное значение прироста (40 и 50%). В контроле этот минимум менее глубокий (60%). Начиная с 1968 г. амплитуда колебаний прироста возрастает от контроля к автотрассе, но в последнем десятилетии (1986–1995 гг.) на примыкающей к автотрассе пробной площади (30) прирост снизился и амплитуда колебаний невелика.

Минимум радиального прироста 1971 г., отмечающийся на всех пробных площадях (в 1971–1972 гг. в лесостепи наблюдалась сильная засуха), продолжился в 1972 г. только возле автотрассы (п.п. 30). Минимум 1975 г. (также отмеченный на всех пробных площадях) продолжился только возле автотрассы. Минимум 1979 г. менее глубокий в контроле (п.п. 33 и 34), чем на первых трех пробных площадях, возле автотрассы. Более заметный, чем на других пробных площадях, минимум прироста наблюдался возле автотрассы (п.п. 30)

в 1987 г., а начинающийся с этого года на всех пробных площадях интенсивный подъем прироста на п.п. 30 менее интенсивен, и к 1990 г. здесь отмечается низкое значение прироста (130%) относительно других пробных площадей (160–170%). В 1981 г. автотрасса расширилась, и в связи с этим следовало ожидать «светового прироста», вызванного усилением бокового освещения древостоев. Такое повышение прироста в 1981–1982 гг. отмечается на п.п. 31 и 32 (5 и 10 м от автотрассы) и, в меньшей степени, на п.п. 30 (возле автотрассы).

Резюмируя, можно говорить об увеличении амплитуды колебаний радиального прироста при приближении к автотрассе, более глубоких и длительных минимумах прироста в 5-метровой полосе вдоль автотрассы и заметном снижении прироста в последнем проанализированном десятилетии (1986–1995 гг.) возле автотрассы.

Основные выводы:

1. По мере удаления от автотрассы растет высота и соответственно бонитет древостоев. В 100 м бонитет повышается на два класса (III–I).

2. Количество здоровых древостоев возрастает при удалении от автотрассы. В контрольном древостое деревьев I категории (здоровых) на порядок больше, чем возле автотрассы.

3. Выбросы автотранспорта изменяют видовой состав напочвенного покрова: возле автотрассы выживают только злаки и сорные травы, устойчивые к загрязнению атмосферы. В контрольных древостоях появляются лесные виды и зеленые мхи.

4. По мере приближения к автотрассе увеличивается амплитуда колебаний радиального прироста древостоев.

3. В древостое возле автотрассы отмечены наиболее глубокие и длительные депрессии прироста, особенно снижается прирост в последнем проанализированном десятилетии (1986–1995 гг.).

Дендроиндикация состояния лесных культур сосны вдоль автотрасс Воронеж – Ростов и Воронеж – Репное (2007 г.)

В 2007 г. изучение динамики радиального прироста спланировано следующим образом. Подобраны два экспериментальных объекта (сосновые древостои, подверженные негативному влиянию автотранспортных выбросов). Первый примыкает к участку автотрассы Воронеж – Ростов со средней интенсивностью движения транспорта 1300 авт./ч. Второй – к дороге со слабым транспортным потоком (Воронеж – Репное, 180 авт./ч). Измерение интенсивности движения проводилось в период с апреля по октябрь 2007 г.

Каждый экспериментальный объект представляет собой пять линейных пробных площадей размером 5×200 м, расположенных на удалении 10 (опушка), 15, 20, 50 и 100 м от дороги в пределах одного лесотаксационного выдела. На пробных площадях использован широкий набор методов биоиндикации для оценки состояния всех компонентов фитоценоза. Отбор образцов для дендрохронологического анализа проводился на пробных площадях с удалением 10, 20 и 100 м от автотрассы.

Как и в предыдущих исследованиях (1991, 1995 гг.), изучаемые насаждения искусственного происхождения, чистые по составу (10 С), произрастают в типе лесорастительных условий В₂ и относятся к типу леса сосняк травяной с дубом. Возраст древостоя 55 лет.

Для проведения анализа отбиралось по 12 кернов с каждой пробной площади.

Визуальный осмотр кернов при помощи микроскопа МБС-9 показал следующее. В сосняке, подверженном воздействию автотранспорта с интенсивностью движения 1300 авт./ч, на всех пробных площадях (в 100 м от автотрассы также) ярко выражена депрессия прироста, начинающаяся преимущественно с 1995 г. и продолжающаяся до 2007 г. По мере приближения к автотрассе увеличивается количество кернов с выраженной депрессией прироста, ее период становится

более продолжительным. Степень угнетения прироста также сильнее возле автотрассы, а контрастность годичных колец слабее. На наиболее подверженной влиянию автотранспорта опушечной пробной площади (10 м от автотрассы) практически все образцы (11 из 12) имеют депрессию прироста 1990–2000 гг., преимущественно сильную. На некоторых кернах (3 из 12) снижение прироста начинается с первой половины 1980-х гг. и продолжается до 2007 г. Узкие годичные кольца в этот период, особенно их поздняя древесина, а также ее слабая контрастность затрудняют датировку и измерение колец.

При интенсивности движения 180 авт./ч отмечается снижение контрастности годичных колец, общее снижение их ширины на опушечной пробной площади относительно более удаленных от автотрассы (20 и 100 м).

В целом, для образцов обоих объектов характерно совпадение основных минимумов и максимумов прироста.

Графики прироста общей ширины годичных колец на пробных площадях обоих объектов показывают их высокое сходство, что проявляется в совпадении цикличности. В начале 1970-х гг. четко прослеживается вызванная засухой депрессия прироста. В дальнейшем пики максимумов (1978, 1983, 1990, 1994, 2004) и минимумов (1984, 1987, 1992) прироста, наблюдающиеся в древостоях сосны в лесостепи [4, 5], повторяются на всех пробных площадях, что обусловлено динамикой внешних, в первую очередь климатических, факторов.

Графики также показывают, что в сосняке, подверженном сильному автотранспортному загрязнению (интенсивность движения 1300 авт./ч), прирост древостоя на опушке снижен относительно более удаленных пробных площадей (20 и 100 м от дороги) в период с 1981 по 2007 г. (рис. 1). В насаждении, подверженном слабому автотранспортному загрязнению (интенсивность движения 180 авт./ч), прирост древостоя в 100 м от дороги превышает прирост в 10 и 20 м от дороги на протяжении практически всей жизни древостоя.

Графики индексов прироста, как и графики абсолютных значений, показывают схожую динамику и совпадение цикличности. Значения основных экстремумов прироста многих лет – максимумов (1978, 1980, 1990, 2000, 2004 гг.) и минимумов (1-я половина 1970-х, 1987, 1992, 1995 гг.) совпадают на различном удалении от автотрассы в обоих экспериментальных объектах. При сильном загрязнении (интенсивность 1300 авт./ч), в 1-й половине 1980-х гг. на опушке отмечается возрастание амплитуды колебаний индексов прироста на наиболее приближенной к автотрассе пробной площади (рис. 2). Значение амплитуды между максимумом 1980 г. и минимумом 1981 г. на опушке составило 100%, в 20 м от дороги – 38%, в 100 м от дороги – 53%. В первой половине 1990-х гг. в 20 м от дороги также отмечается резкий скачок амплитуды колебаний индексов прироста, что говорит о расширении негативного влияния автотранспорта. Амплитуда колебаний индексов между максимумом 1990 г. и минимумом 1992 г. составила: на опушке – 123%, в 20 м от дороги – 127%, в 100 м от дороги – 71%.

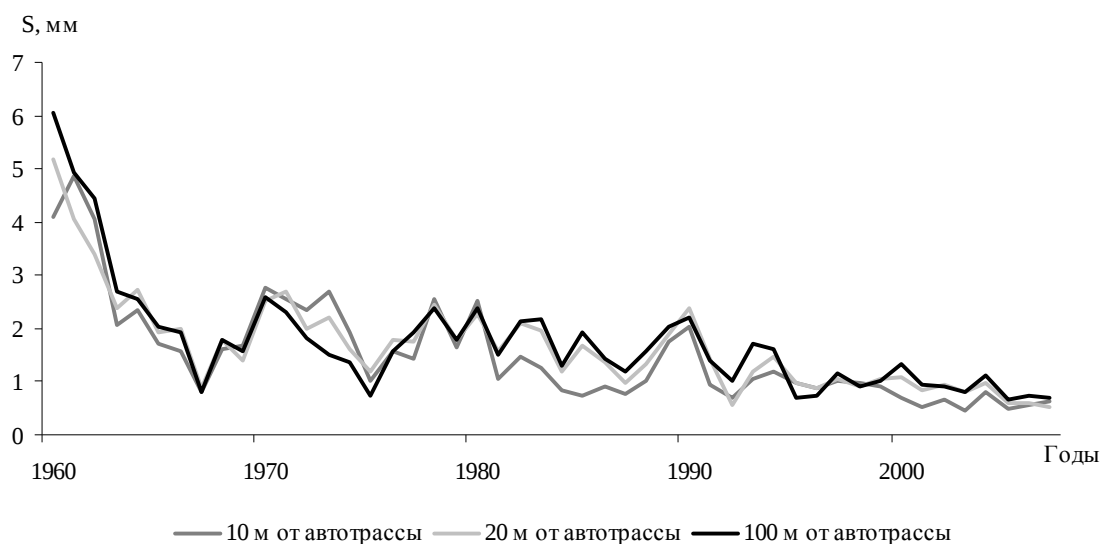


Рис. 1. Прирост сосновых древостоев вдоль автодороги с интенсивностью движения 1 300 авт./ч

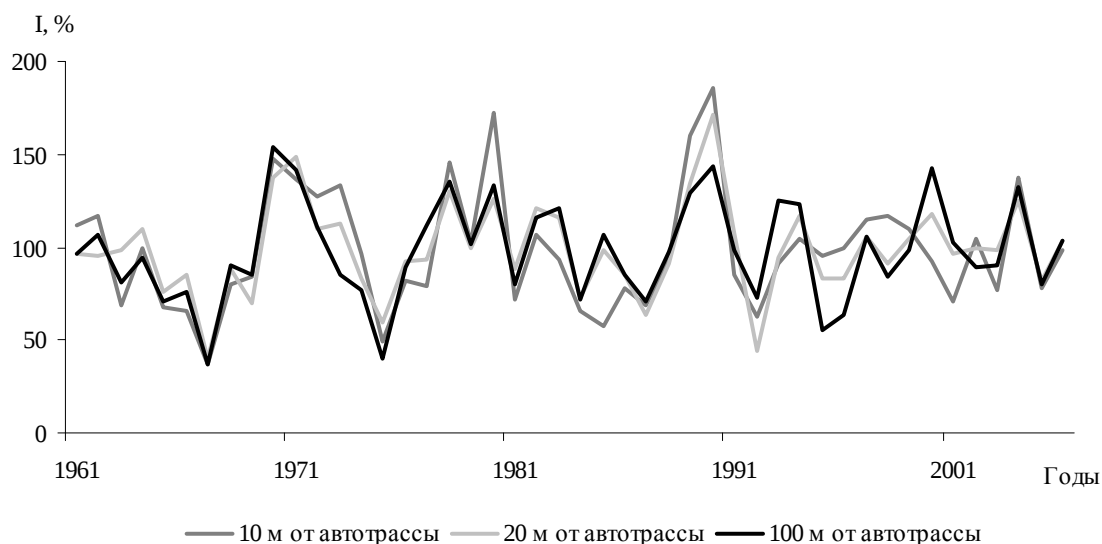


Рис. 2. Индексы прироста всего кольца сосновых древостоев на различном удалении от автодороги с интенсивностью движения транспорта 1 300 авт./ч

По реакции древостоя хорошо прослеживается распространение действия загрязнителей во времени и пространстве. При этом подтверждается увеличение амплитуды колебаний индексов прироста сосны в условиях загрязнения (исследования 1991 и 1995 гг.).

В сосняке, подверженном слабому автотранспортному загрязнению (интенсивность движения 180 авт./ч), амплитуда колебаний индексов прироста на различном удалении от дороги не имеет таких выраженных отличий. Значение амплитуды между максимумом 1990 г. и минимумом 1992 г. на опушке составляет 90%. В контроле между максимумом 1989 г. и минимумом 1992 г. – 76% (рис. 3).

Абсолютный прирост всего годичного кольца и его поздней зоны, осредненный по десятилетиям для сосняка, подверженного воздействию автотранспорта с интенсивностью движения 180 авт./ч, представлен в табл. 5. Данные табл. 5 показывают последовательное снижение радиального прироста как всего кольца, так и

поздней древесины по мере приближения к автодороге на протяжении двух десятилетий (1988–1997 гг. и 1998–2007 гг.).

Статистическую достоверность падения радиального прироста в результате автотранспортного загрязнения проверяли показателем достоверности различия средних значений (t). При этом сравнивали средний годичный прирост всего кольца за последнее изученное десятилетие (1998–2007 гг.) в 100 м от автодороги с аналогичным показателем на удалении 10 и 20 м (табл. 6). Значения критерия достоверности показывают, что различие среднего годичного прироста в период с 1998 по 2007 г. между древостоем в 100 м от автодороги и на пробных площадях с удалением 10 и 20 м достоверно с вероятностью безошибочных прогнозов соответственно $\beta > 0,999$ и $\beta > 0,99$. Различие среднего годичного прироста древостоя в период 1998–2007 гг. на пробных площадях с удалением 10 и 20 м недостоверно.

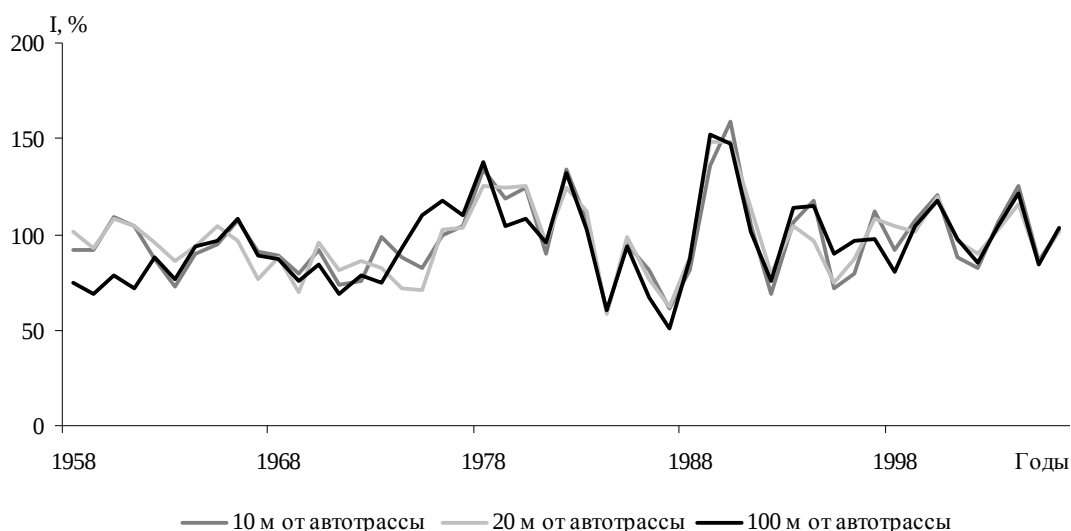


Рис. 3. Индексы прироста всего кольца сосновых древостоев вдоль автотрассы с интенсивностью движения транспорта 180 авт./ч

Осредненные по десятилетиям значения прироста сосновых древостоев при воздействии автотранспорта с интенсивностью движения 180 авт./ч

Таблица 5

Удаление от автотрассы, м	Осредненные по десятилетиям значения прироста, мм									
	1958–1967 гг.		1968–1977 гг.		1978–1987 гг.		1988–1997 гг.		1998–2007 гг.	
	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.
100 (контроль)	4,79	0,75	1,79	0,61	1,89	0,71	1,91	0,71	1,48	0,59
20	4,27	1,01	1,35	0,51	1,73	0,77	1,66	0,69	1,31	0,56
10 (опушка)	3,48	0,79	1,44	0,54	1,79	0,70	1,47	0,57	1,27	0,5

Таблица 6

Достоверность различия радиального прироста в 10 и 20 м от автотрассы и прироста в 100 м от автотрассы (интенсивность движения 180 авт./ч)

Показатель	Удаление от автотрассы, м		
	10 (опушка)	20	100 (контроль)
Средний годичный прирост в период 1998–2007 гг., мм	1,27	1,31	1,48
Ошибка средней арифметической (m)	0,035	0,041	0,038
Критерий достоверности (t) с контролем	4,2	3,0	–
Критерий достоверности (t) с 20 м	0,74	–	–

Примечание. $t_{\alpha} = (2,1 - 2,8 - 3,8)$.

При воздействии автотранспорта с интенсивностью движения 1 300 авт./ч снижение осредненных по десятилетиям значений прироста (как всего кольца, так и поздней древесины) прослеживается на протяжении 3 десятилетий (1978–1987, 1988–1997 и 1998–2007 гг.) (табл. 7). Падение прироста общей ширины годичного кольца на опушке (10 м от дороги) относительно контроля (100 м) составляет: в период 1978–1987 гг. – 4%, 1988–1997 – 26%, 1998–2007 – 32%.

Определение статистической достоверности падения радиального прироста при воздействии автотранспорта с интенсивностью движения 1 300 авт./ч (табл. 8) показало, что прирост древостоя на опушке достоверно снижен относительно контроля с вероятностью безошибочных прогнозов $\beta > 0,999$.

Снижение прироста между древостоем в контроле и на пробной площади, удаленной на 20 м, недостоверно.

Различие между приростом всего годичного кольца на пробных площадях с удалением 10 и 20 м достоверно с вероятностью безошибочных прогнозов $\beta > 0,99$.

Сравнивая абсолютный прирост древостоев двух экспериментальных объектов (рис. 4), видим, что на объекте с более интенсивным движением (1 300 авт./ч) прирост ниже на всех пробных площадях, в том числе и в 100 м от автотрассы. Очевидно, что сосновый древостой в 100 м от автотрассы с интенсивностью движения 1 300 авт./ч также испытывает негативное влияние выбросов.

Таблица 7

Осредненные по десятилетиям значения прироста сосновых древостоев при воздействии автотранспорта с интенсивностью движения 1 300 авт./ч

Удаление от автотрассы, м	Осредненные по десятилетиям значения прироста, мм									
	1958–1967		1968–1977		1978–1987		1988–1997		1998–2007	
	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.	Общ.	Позд.
100 (контроль)	3,18	0,79	1,72	0,65	1,82	0,72	1,41	0,57	0,91	0,4
20	2,82	0,69	1,89	0,76	1,74	0,71	1,31	0,52	0,83	0,33
10 (опушка)	2,69	0,64	1,96	0,66	1,38	0,54	1,15	0,48	0,67	0,21

**Достоверность различия радиального прироста сосновых древостоев
в 20 и 10 м от автодорожки с контролем с интенсивностью движения 1 300 авт./ч**

Показатель	Удаление от автодорожки, м		
	10 (опушка)	20	100 (контроль)
Средний годичный прирост, в период 1998–2007 гг., мм	0,67	0,83	0,91
Ошибка средней арифметической (m)	0,0230	0,0459	0,0608
Критерий достоверности (t) с контролем	4,0	1,4	–
Критерий достоверности (t) с 20 м	3,1	–	–

Примечание. $t_{\alpha} = (2,1 - 2,8 - 3,8)$.

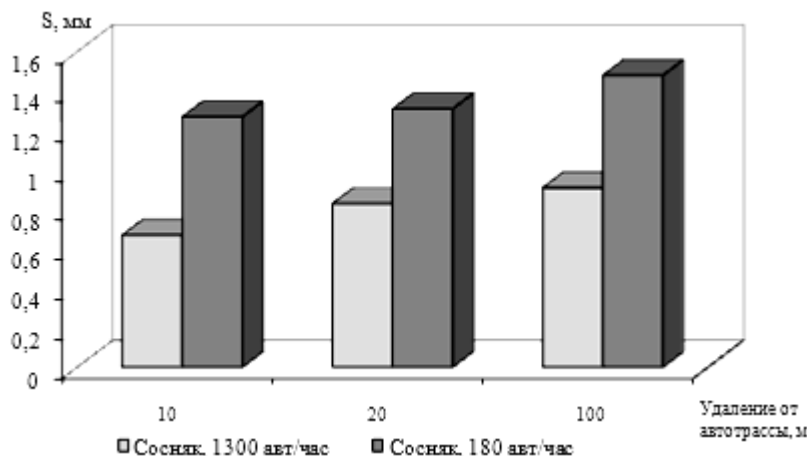


Рис. 4. Сравнение прироста двух экспериментальных объектов

Основные результаты исследования 2007 г. следующие. В сосняке, подверженном воздействию автотранспорта с интенсивностью движения 180 авт./ч, выявлено:

1. В последние два десятилетия (с 1988 по 2007 г.) наблюдается устойчивая тенденция снижения прироста как всего кольца, так и поздней древесины при приближении к автодорожке.

2. В период с 1998 по 2007 г. на удалении 10 и 20 м от автодорожки отмечается достоверное снижение радиального прироста относительно контроля (100 м от автодорожки) с вероятностью безошибочных прогнозов соответственно $\beta > 0,999$ и $\beta > 0,99$.

При более интенсивном воздействии (1 300 авт./ч):

1. Осредненные по десятилетиям значения прироста как всего кольца, так и поздней зоны в контроле выше, чем на более приближенных к автодорожке пробных площадях в течение последних 30 лет (1978–2007 гг.).

2. За последние три десятилетия (1978–1987, 1988–1997, 1998–2007 гг.) прирост опушечного древостоя снижен относительно контроля на 18–26%.

3. За последние три десятилетия (1978–1987, 1988–1997, 1998–2007 гг.) прирост древостоя в 20 м от автодорожки снижен относительно контроля на 4–9%.

4. Выявлено достоверное падение прироста за последнее десятилетие (1998–2007) между древостоем в

контроле и на пробной площадке с удалением 10 м (при уровне значимости $\beta > 0,999$), а также между древостоями пробных площадей с удалением 10 и 20 м (при уровне значимости $\beta > 0,99$).

Исследования радиального прироста древостоев, примыкающих к автодорожке Воронеж – Ростов, показали, что в 1991 г. влияние автотранспортного загрязнения на сосновые древостои отмечалось на расстоянии до 100 м. В 2007 г. очевидно, что древостой в 100 м от автодорожки находится в зоне влияния выбросов автотранспорта. Происходит расширение зоны негативного воздействия.

Подтверждением этому также служат резкие скачки амплитуды колебаний индексов, отмечаемые сначала на опушке в 1980-х гг., а в 1990-х и у древостоя в 20 м от дороги. Кроме расширения зоны влияния автотранспорта происходит и его усиление. Так, в 1991 г. снижение радиального прироста на опушке относительно древостоя с удалением 50 м от дороги достоверно с вероятностью безошибочных прогнозов $\beta > 0,68$, а относительно контроля (13 км от дороги) – с вероятностью безошибочных прогнозов $\beta > 0,97$. В 2007 г. снижение прироста на опушке в сравнении с древостоем в 100 м от дороги достоверно с вероятностью безошибочных прогнозов $\beta > 0,999$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лиена И.Я., Гайтниец Т.Х., Реке Г.К. Оценка влияния автотранспорта на лесонасаждения // Экология. 1983. № 6. С. 39–43.
2. Матвеев С.М. Комплексная методика биоиндикации состояния сосновых насаждений // Приспособления организмов к действию экстремальных экологических факторов : материалы VII Междунар. науч.-практ. эколог. конф., г. Белгород, 5–6 нояб. 2002 г. Белгород : Изд-во БелГУ, 2002. С. 49–55.
3. Рожков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. М. : Агропромиздат, 1989. 239 с.
4. Таранков В.И., Лазуренко Л.Б. Цикличность прироста сосны обыкновенной в Восточно-Европейской лесостепи // Лесоведение. 1990. № 2. С. 12–19.
5. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж : Изд-во ВГУ, 2003. 272 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 1 октября 2012 г.