

ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РОСТ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник **Н.А. Рыбакова**

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник **Ю.Б. Глазунов**

Институт лесоведения Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Представлены результаты 18-летнего мониторинга роста лесных культур лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в зоне влияния Московской кольцевой автодороги (МКАД), одной из крупнейших автомагистралей в европейской части России с нагрузкой около 9 тыс. автомобилей в час. Исследования проведены на трех пробных площадях, расположенных в 15, 35 и 100 м (контроль) от полотна автотрассы. Определялись морфометрические показатели лиственницы европейской через 4, 8 и 18 лет после посадки четырехлетних саженцев. Значительное угнетение роста лиственницы европейской вблизи МКАД выявлено по высоте, диаметру ствола, параметрам кроны. Наибольшее негативное влияние МКАД на ее рост проявилось в первые 4 года после создания лесных культур. Зона влияния автомагистрали на насаждение лиственницы составляет около 40 м. Дендрохронологический анализ древесины лиственницы показал, что суммарный годичный прирост на контроле достоверно более высокий, чем на участке вблизи магистрали. При этом приросты ранней древесины на участке вблизи МКАД в среднем на 23 % выше, чем на контроле, приросты поздней древесины на контроле превышают приросты на участке вблизи МКАД на 34 %. Анализ величины радиальных приростов древесины лиственницы европейской показал, что прирост ранней древесины наиболее тесно связан с суммарным количеством осадков в мае, июне и июле (коэффициент корреляции $r = 0,33$), поздней древесины – с количеством тепла в августе и сентябре ($r = -0,44$).

Ключевые слова: лиственница европейская *Larix decidua* Mill., автотранспортное загрязнение, морфометрические показатели, радиальный прирост древесины

THE INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT POLLUTION ON THE GROWTH OF EUROPEAN LARCH

PhD (Agriculture), Senior Researcher **N.A. Rybakova**

PhD (Agriculture), Leading Researcher **Yu.B. Glazunov**

Forestry Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract

The results of an 18-year monitoring of the growth of European larch (*Larix decidua* Mill.) in the zone of influence of the Moscow Ring Road (MKAD), one of the largest highways in the European part of Russia with a load of about 9 thousand cars per hour, are presented. The studies have been carried out on three trial plots located at 15, 35 and 100 m (control) from the highway. The morphometric parameters of European larch were determined 4, 8 and 18 years after planting four-year-old seedlings. Significant inhibition of European larch growth near the MKAD was revealed by height, trunk diameter, and crown parameters. The largest negative impact of the MKAD on its growth was manifested in the first 4 years after the creation of forest crops. The area of influence of the motorway on larch stands is about 40 m. Dendrochronological analysis of larch wood has showed that the total annual growth in the control section is significantly higher than in the area near the highway. Moreover, the growth of early wood in the area near the Moscow Ring Road is on average 23 % higher than in the control one, the growth of late wood in the control area exceeds the growth in the area near the Moscow Ring Road by 34 %. An analysis of the radial increment of European larch wood has showed that the growth of early wood is most closely related to the total amount of rainfall in May, June and July (correlation coefficient $r = 0.33$), of late wood to the amount of heat in August and September ($r = -0.44$).

Keywords: European larch *Larix decidua* Mill., motor pollution, morphometric indicators, radial growth of wood

Введение

Влияние автотранспортного загрязнения на рост лесных насаждений складывается из воздействия выхлопных газов автомобилей и противогололедных реагентов, содержащих широкую гамму токсических веществ, негативно влияющих на рост и состояние насаждений вблизи автомагистралей. Рост древесных растений в условиях техногенного загрязнения подробно рассмотрен в обзорах В.С. Николаевского [1], И.Н. Павлова [2] и других [3]. Решающим фактором в угнетении придорожных насаждений исследованиями А.И. Самойлова [4], Г.И. Черноусенко [5], В.Н. Буркова [6] признано влияние противогололедных реагентов. Установлено, что загрязнение почвы вблизи МКАД достигает аномальных величин, по данным А.Б. Лысикова [7], на расстоянии 7-15 м от полотна, что приводит к снижению доступности для растений ряда элементов питания. В 25 м от МКАД количество загрязняющих веществ снижается вдвое и лишь через 50-100 м приближается к фоновому показателю [7]. Долговременных мониторинговых работ на постоянных пробных площадях по изучению влияния автотранспортного загрязнения на лесные культуры немного.

Исследования влияния автотранспортного загрязнения в городских условиях проводились в основном для лиственницы сибирской. Исследования Л.В. Афанасьева [8], Е.Н. Муратовой [9], Л.И. Романова [10] показывают, что лиственница сибирская является газоустойчивым видом, способным хорошо адаптироваться к неблагоприятным условиям среды. Напротив, О.В. Авраменко [11] и В.В. Кузмичев [12] приводят данные о ее чувствительности к техногенным нагрузкам и возможности использования в качестве индикатора для оценки экологического состояния территорий. Лиственница европейская *Larix decidua* Mill., интродуцированная в центре Русской равнины, характеризуются очень высокой продуктивностью, морозоустойчивостью, засухоустойчивостью, и ее выращивание признано перспективным [13].

Целью работы являлось определение степени долговременного влияния сильного загрязнения автомобильными выбросами и противогололедными реагентами Московской кольцевой автодороги на рост и развитие лесных культур лиственницы европейской, выявление зоны ее негативного воз-

действия, дендрохронологический анализ роста лиственницы на различном расстоянии от источника загрязнения.

Материалы и методы

Исследования роста лесных насаждений в экстремальных условиях автотранспортного загрязнения являются наиболее репрезентативными. Одной из самых загруженных магистралей является Московская кольцевая автомобильная дорога (МКАД), по которой передвигается около 9 тыс. автомобилей в час. Исследование влияния автотранспортного загрязнения на рост и развитие лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) проведено на участке лесных культур площадью 1,5 га, который примыкает к МКАД в природно-историческом парке «Битцевский лес». Лесные культуры лиственницы европейской созданы весной 1999 г. на месте выпавшего после урагана 1998 года 120-летнего насаждения ели обыкновенной. Посадка проводилась 4-летними саженцами с закрытой корневой системой с расстоянием между рядами 2,5 м, в ряду – 1,0 м, плотность посадки 4 тыс. экз. га⁻¹. Почва участка дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых моренными суглинками. Хорошая освещенность и дренированность участка создают благоприятные условия для роста лиственницы. Посадки лиственницы расположены всего в 15 м от полотна МКАД и представляют уникальный объект для исследования влияния сильного автотранспортного загрязнения.

Для исследований в 2003 г. заложены три пробные площади (ПП), находящиеся на различном расстоянии от полотна МКАД: ПП 1 – в 15 м, ПП 2 – в 35 м, ПП-3 – в 100 м (контроль). Закладка ПП на большем расстоянии от МКАД была невозможна из-за размера участка лесных культур. ПП площадью 450 м² имеют прямоугольную форму, вытянуты вдоль МКАД с запада на восток и представлены тремя рядами деревьев. В 2003, 2008 и 2018 гг. после окончания роста побегов лиственницы определялись: высота деревьев (мерным шестом или электронным высотомером), высота начала кроны, диаметр ствола на высоте 0,1 м (в 2003 г.) и 1,3 м (в 2008 и 2018 г.), диаметр кроны в направлении вдоль и поперек ряда деревьев.

Для анализа радиальных приростов древесины осенью 2018 г. на ПП 1 и ПП 3 отобраны

дендрохронологические образцы (керны) возрастным буровом Пресслера. Отбор образцов производился с 6 деревьев на каждой ПП (3 дерева с диаметром ствола, близким к среднему, и 3 – к максимальному). Отбирали по 4 керны с каждого учетного дерева на высоте 1,3 м, в направлении на юг, север, запад и восток. Керны шлифовали и сканировали с разрешением 1200 dpi. Ширину годичных колец измеряли по сканам с точностью $\pm 0,05$ мм. Для анализа отобранных образцов использованы программы Microsoft Excel 2007 и Statistica 8.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Через 15 лет после посадки лесных культур лиственницы европейской на ПП 1 вблизи МКАД сформировалось смешанное насаждение состава 7Лц2Ос1Лп+Д, ед.Кл., Яс., Б, плотностью 0,95 тыс. шт. га⁻¹, редкий подлеск лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.), жимолости обыкновенной (*Lonicera xylosteum* L.), бузины кистистой (*Sambucus racemosa* L.). На ПП 2 состав насаждения 9Лц1Ос, плотность 1,01 тыс. шт. га⁻¹, единственный подлесок бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosus* Scop.), жимолости обыкновенной (*Lonicera xylosteum* L.). На контрольном участке,

удаленном от МКАД на 100 м, сформировалось сомкнутое насаждение состава 10Лц с единичным подлеском бересклета бородавчатого и жимолости обыкновенной, плотность 1,11 тыс. шт. га⁻¹. Подробная характеристика приведена в [14].

Угнетение роста лиственницы европейской на пробных площадях вблизи МКАД отмечено сразу после посадки лесных культур и сохранялось в течение всего периода наблюдений (табл. 1).

У 8-летней лиственницы на ПП 1, примыкающей к МКАД, отмечается снижение высоты в 2,3 раза по сравнению с контролем, на ПП 2 – в 1,7 раза. При увеличении возраста лиственницы различия в высоте между ПП сокращаются. У 13-летних деревьев высота на ПП 1 меньше, чем на контроле, в 1,3 раза, на ПП 2 – в 1,2 раза. Различия в высоте деревьев на ПП 1 и ПП 2 недостоверны по t-критерию Стьюдента (табл. 2). Это свидетельствует о негативном влиянии МКАД в полосе насаждения шириной около 40 м. У 23-летних деревьев высота на всех ПП близка, что может быть обусловлено увеличением затенения в глубине насаждения на контроле и лучшей освещенностью на его опушке. Опушечный эффект, видимо, будет усиливаться с увеличением возраста насаждения.

Таблица 1

Динамика морфометрических показателей деревьев лиственницы европейской на различном расстоянии от МКАД

Год учета возраст, лет	№ ПП	Средние:				
		высота, м	диаметр ствола на высоте, мм		параметры кроны	
			0,1 м	1,3 м	объем, м ³	площадь, м ²
2003 8	1	2,0 \pm 0,25	40,4 \pm 1,5		0,54 \pm 0,03	0,24 \pm 0,03
	2	2,75 \pm 0,13	53,0 \pm 1,8	-	0,66 \pm 0,06	0,40 \pm 0,08
	3	4,66 \pm 0,13	83,3 \pm 1,5		1,59 \pm 0,07	2,04 \pm 0,15
2008 13	1	4,26 \pm 0,31		40,3 \pm 4,0	1,23 \pm 0,09	1,34 \pm 0,2
	2	4,77 \pm 0,20	-	58,2 \pm 4,4	1,7 \pm 0,11	2,51 \pm 0,29
	3	5,71 \pm 0,17		77,2 \pm 2,4	2,01 \pm 0,06	3,22 \pm 0,2
2018 18	1	11,35 \pm 0,31		129,1 \pm 5,4	2,3 \pm 0,08	4,15 \pm 0,34
	2	12,42 \pm 0,19	-	145,4 \pm 5,9	2,46 \pm 0,08	4,75 \pm 0,47
	3	11,60 \pm 0,30		167,5 \pm 4,4	3,17 \pm 0,11	7,88 \pm 0,60

Источник: собственные вычисления авторов

Достоверность различий морфометрических показателей лиственницы по t-критерию Стьюдента ($t_{0,05} = 2,02$)

Год учета	Пары ПП	Критерий Стьюдента для показателей:				
		высота, м	диаметр ствола на высоте, мм		параметры кроны	
			0,1 м	1,3 м	V, м ³	S, м ²
2003	ПП 1-ПП 2	0,76	5,38	-	1,87	-
	ПП 1-ПП 3	9,15	20,22		11,77	
	ПП 2-ПП 3	10,39	12,93		9,65	
2003	ПП 1-ПП 2	1,38		3,01	3,32	-
	ПП 1-ПП 3	4,1	-	6,84	6,65	
	ПП 2-ПП 3	3,58		2,79	2,02	
2018	ПП 1-ПП 2	2,94	-	2,03	1,03	0,26
	ПП 1-ПП 3	0,58		5,47	5,41	3,66
	ПП 2-ПП 3	2,34		2,98	4,11	3,51

Источник: собственные вычисления авторов

Для оценки влияния загрязнения на рост насаждения может служить годичный линейный прирост. Средний многолетний годичный прирост лиственницы вблизи автотрассы, рассчитанный по периодам наблюдений, подтверждает, что наибольшее влияние МКАД на ее рост проявляется в первые годы после создания лесных культур. Увеличение прироста в период 2008–2018 гг. (0,66-0,69 м/год) по сравнению с 2003–2008 гг. (0,40-0,45 м/год) свидетельствует о постепенной адаптации лиственницы к условиям роста.

Различия в росте лиственницы европейской на различном расстоянии от МКАД хорошо отражает динамика диаметра ствола (табл. 1). Достоверные различия между пробными площадями по диаметру ствола по t-критерию Стьюдента сохраняются в течение всего периода наблюдений. По мере увеличения возраста лиственницы различия сглаживаются, но остаются статистически достоверными. На ПП 1 и ПП 2 отмечается более высокий коэффициент вариации по диаметру стволов (27-28 %), чем на ПП 3 (15 %), связанный с отличиями в условиях освещенности на этих участках.

Вблизи МКАД на ПП 1 у молодых деревьев лиственницы до 8-летнего возраста отношение высоты деревьев к их диаметру по сравнению с контролем увеличивается. У лиственницы 13- и 28-летнего возраста отношение высоты к диаметру, напротив, уменьшается, что может указывать на адаптацию лиственницы к условиям загрязнения.

Существенно различаются параметры кроны деревьев лиственницы вблизи автотрассы и на кон-

троле (табл. 1). При увеличении возраста лиственницы сохраняется значительное превышение площади горизонтальной проекции крон деревьев на ПП 3, по сравнению с ПП 1 и ПП 2. Объем кроны деревьев 23-летней лиственницы также достоверно различается между пробными площадями вблизи автотрассы и контролем. Отсутствие достоверных различий в параметрах кроны на ПП 1 и ПП 2 свидетельствует о том, что негативное влияние МКАД на рост лиственницы проявляется на расстоянии около 40 м. Несмотря на существенные различия в морфометрии кроны на ПП, необходимо отметить удовлетворительное состояние лесных культур лиственницы европейской, произрастающих вблизи МКАД.

С большой надежностью и объективностью вклад факторов, связанных с автотранспортным загрязнением, по мнению Н.В. Ловелиуса [15], показывает дендрохронологическая информация, которая может служить основой и для прогноза состояния насаждения в будущем. Несмотря на широкое прикладное использование дендрохронологических данных, такой анализ еще недостаточно используется для изучения влияния городской среды на рост и развитие насаждений.

При дендрохронологическом анализе радиальных приростов лиственницы европейской по кернам, взятым в 2018 г., использованы данные радиального прироста ранней и поздней древесины и суммарный прирост за вегетационный период, осредненные по модельным деревьям (табл. 3).

Радиальный прирост годичных колец лиственницы европейской у деревьев среднего и максимального диаметра, мм

Год	Ширина слоя радиального прироста древесины, мм							
	деревья среднего диаметра				деревья максимального диаметра			
	ранняя древесина		поздняя древесина		ранняя древесина		поздняя древесина	
	ПП 1	ПП 3	ПП 1	ПП 3	ПП 1	ПП 3	ПП 1	ПП 3
2005	0,5	0,5	2,1	4,1	1,6	0,69	3,5	6,4
2006	0,8	0,7	3,1	3,4	1,4	1,05	3,3	5,4
2007	0,8	0,9	3,4	3,0	1,4	1,15	2,3	3,4
2008	1,6	1,3	4,0	5,0	1,6	1,25	3,8	6,7
2009	1,4	1,2	3,2	3,7	1,6	1,16	4,0	3,9
2010	1,3	1,1	2,8	4,1	1,4	1,12	3,1	4,2
2011	1,4	1,0	3,3	4,5	1,5	1,07	4,0	4,7
2012	1,5	1,3	3,3	5,5	1,5	1,46	4,3	6,7
2013	1,5	1,5	3,0	5,2	1,6	1,11	4,6	6,8
2014	1,1	0,8	1,8	2,9	1,6	0,95	2,2	3,0
2015	1,4	1,7	2,2	3,4	1,9	1,41	3,1	5,5
2016	1,4	1,6	1,8	2,5	2,0	2,07	2,1	4,6
2017	1,3	1,0	1,8	2,3	1,6	1,45	2,5	3,7
2018	1,2	0,9	1,6	1,6	1,6	1,55	1,9	3,3
Среднее	1,2±0,2	1,1±0,2	2,6±1,1	3,7±2,3	1,59±0,1	1,25±0,2	3,18±1,0	4,80±2,2

Источник: собственные вычисления авторов

Различия между ранней и поздней древесиной в радиальном приросте годичного кольца лиственницы хорошо выражены, преобладает прирост поздней древесины. На участке вблизи МКАД, в условиях наибольшего загрязнения среды, средне-многолетний прирост поздней древесины равен 66 % от годичного прироста, по сравнению с 76 % на контроле. При этом величина прироста поздней древесины на контроле была значительно выше (табл. 3). При увеличении возраста деревьев доля поздней древесины в годичном приросте постепенно уменьшается на обоих участках. Прирост поздней древесины в период 2004–2008 гг. по сравнению с периодом 2005–2018 гг. уменьшился на ПП 1 с 73 % до 64 %, на ПП 3 – с 82 % до 73 %.

Средний многолетний годичный радиальный прирост на ПП 1 вблизи МКАД на 22 % ниже, чем на контроле. У деревьев среднего диаметра прирост на ПП 1 и контроле составляет, соответственно, 3,83 и 4,76 мм, у деревьев максимального диаметра – 4,77 и 6,06 мм. Различия статистически достоверны по t-критерию Стьюдента: для средних деревьев $t_{факт.} = 3,45$, для максимальных $t_{факт.} = 6,26$, при $t_{0,05} = 2,02$. Превышение радиального прироста

на контроле наблюдается почти во все годы наблюдений (рис. 1). Синхронные колебания прироста по годам на ПП 1 и ПП 3 показывают одинаковую реакцию лиственницы на флуктуации метеорологических условий независимо от расстояния от МКАД.

Господствующие в насаждении деревья, имеющие максимальные высоту и диаметр в данных условиях произрастания, в наименьшей степени подвержены влиянию непосредственного окружения в насаждении. Изучение роста таких деревьев позволяет лучше оценить степень влияния внешних негативных факторов. У максимальных деревьев лиственницы средние многолетние приросты ранней древесины превышают приросты у деревьев среднего диаметра на 23 % на ПП 1, на 12 % на контрольной ПП 3. Однако приросты ранней древесины у максимальных деревьев на контроле (1,25 + 0,2 мм) ниже приростов на ПП вблизи МКАД (1,59 + 0,1 мм), и различия статистически достоверны: $t_{факт.} = 5,65$, при $t_{0,05} = 2,02$. Более низкие приросты ранней древесины на контроле могут быть связаны с лучшей освещенностью ПП 1, прилегающей к МКАД и имеющей южную экспозицию, и, в связи с этим, более ранним началом веге-

тации лиственницы. Может иметь значение большее количество влаги, поступающей в почву при таянии снега, накапливающегося на границе насаждения и автотрассы в зимние месяцы и способствующее меньшему промерзанию и более раннему оттаиванию почвы и, как результат, более ранней вегетации.

Приросты поздней древесины у максимальных деревьев также превышают приросты у деревьев среднего диаметра: на ПП 1, соответственно, $3,18 \pm 1,0$ мм и $2,66 \pm 1,1$ мм, на контроле – $4,86 \pm 2,2$ мм и $3,66 \pm 2,3$ мм. Приросты поздней древесины на контроле ($4,86 \pm 2,2$ мм) выше приростов на ПП вблизи МКАД ($3,18 \pm 1,0$ мм), различия статистически достоверны: $t_{\text{факт.}} = 8,23$ при $t_{0,05} = 2,05$.

Расчет радиального прироста древесины лиственницы по зонам ствола, направленным в сто-

рону различных частей света, показал небольшую их асимметричность – некоторое превышение приростов в северной и восточной зоне стволов. У средних деревьев на ПП 1 и контроле превышение приростов древесины на север и восток невелико и составляет 2-6 %. Различия статистически недостоверны по t-критерию Стьюдента, что определяется малыми различиями в освещенности средних деревьев в насаждении. У деревьев максимального диаметра приросты на теневой стороне ствола на 10-11 % превышают приросты на световой стороне, так как кроны наиболее высоких в насаждении деревьев хорошо освещены. Различия статистически достоверны: на ПП 1 $t_{\text{факт.}} = 3,88$, на ПП 3 $t_{\text{факт.}} = 5,05$ при $t_{0,05} = 2,02$.

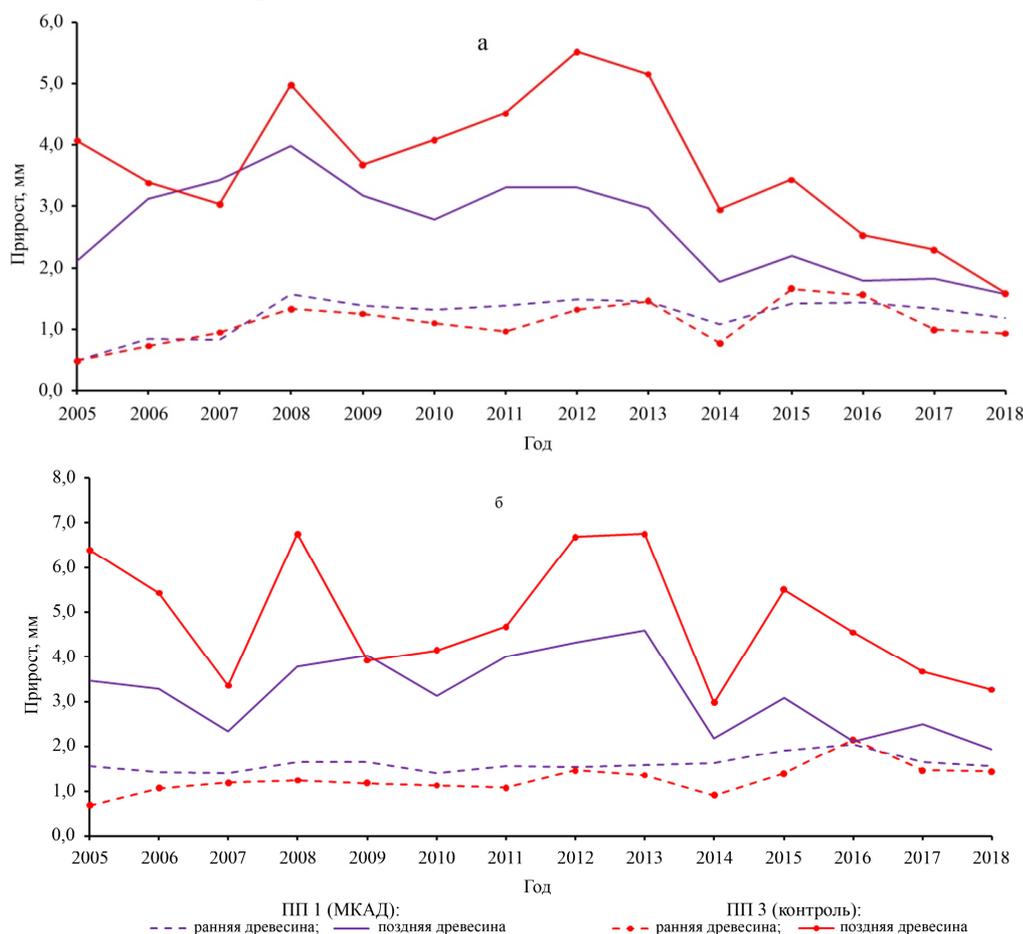


Рис. 1. Динамика приростов ранней и поздней древесины у средних (а) и максимальных (б) деревьев лиственницы европейской на различном расстоянии от МКАД (Графики построены на основе собственных данных авторов)

Хвойные виды отзывчивы на изменение внешних условий, повышение среднемесячной температуры воздуха и снижение суммы осадков в течение вегетационного периода приводит к снижению годичного прироста древесины. Анализ связи годичных приростов древесины различных древесных пород с погодными и почвенными факторами посвящено большое количество отечественных [16, 17, 18] и зарубежных исследований [19, 20, 21]. С помощью корреляционного анализа лимитирующий фактор может быть установлен только в экстремальных условиях произрастания, где число таких факторов снижается до минимума. В оптимальных условиях произрастания климатический фактор, лимитирующий прирост древесины, может меняться от года к году, и вследствие этого корреляционный анализ не выявляет достоверной связи прироста с колебаниями некоторых метеорологических параметров [17]. Для отдельных групп деревьев в древостое комплекс факторов, влияющих на прирост ранней и поздней древесины, различен.

Нами проведен анализ влияния некоторых метеорологических факторов на рост лиственницы европейской в условиях Москвы на небольшом временном интервале наблюдений. Использованы климатические данные ближайшей метеостанции в г. Домодедово. Анализ радиального прироста деревьев проводился по двум пробным площадям суммарно, т. к. они расположены в близких условиях произрастания. Для расчетов корреляции прироста ранней древесины использовали метеорологические показатели за май, июнь и июль. Включение в расчеты данных за июль обусловлено тем, что скорость роста побегов и хвои лиственницы зависит от температуры воздуха в этот период. Для расчетов корреляции прироста поздней древесины использовали данные за август и сентябрь. Установлено, что при уровне доверительной вероятности 0,05 и при числе степеней свободы 48 достоверны коэффициенты корреляции $r = 0,27$ и более, при вероятности 0,01 $r = 0,35$ и более.

Расчеты показали слабую связь между величиной годичного радиального прироста лиственницы европейской и количеством осадков за год (коэффициент корреляции $r = 0,35$) и очень слабую – с гидротермическим коэффициентом Г.Т. Селянинова – интегральным показателем увлажненности

($r = 0,19$) и с суммарным количеством тепла более 10° ($r = 0,17$).

Установлено, что приросты ранней древесины наиболее тесно связаны с количеством осадков в весенне-летний период. Коэффициент корреляции между суммарным количеством осадков в мае, июне и июле равен 0,33 и достоверен при уровне вероятности 0,05. При этом наиболее тесная связь отмечается с осадками в июле ($r = 0,36$), что связано, возможно, со значимостью осадков при высоких температурах этого месяца. Связь с осадками мая и июня недостоверна ($r = 0,17$). Приросты поздней древесины лиственницы в значительной степени определяются количеством тепла в августе и сентябре. Наибольший коэффициент корреляции по абсолютному значению отмечен между величиной прироста и суммой средних суточных положительных температур за эти месяцы, составляет $r = -0,44$ и достоверен при вероятности 0,01. Повышение среднемесячных температур во второй половине вегетационного периода отрицательно сказывается на приросте поздней древесины, что подтверждается данными Д.Е. Румянцева и соавторов [22]. Приросты поздней древесины слабо связаны с суммарным количеством осадков в августе и сентябре ($r = 0,23$) и не связаны с количеством осадков в более ранний период ($r = 0,08$).

Приведенные в литературе коэффициенты корреляции величины радиальных приростов древесины лиственницы и метеопараметров колеблются в очень широком диапазоне и носят иногда случайный характер. Например, прирост ранней древесины лиственницы в условиях Подмосковья коррелирует с осадками августа [22].

Выводы

1. Неблагоприятное влияние МКАД на рост лесных культур лиственницы европейской в наибольшей степени проявляется в первые годы после их создания. Через 4 года после посадки культур на участке вблизи полотна автомагистрали биометрические показатели 8-летней лиственницы в 2,1-2,9 раза ниже, чем на контроле. При увеличении возраста лиственницы до 18 лет различия постепенно сглаживаются, но остаются статистически достоверными.

2. Влияние МКАД на насаждение лиственницы европейской распространяется на расстояние около 40 м от автомагистрали.

3. В радиальном годичном приросте преобладает поздняя древесина. Вблизи МКАД средне-многолетний прирост поздней древесины (66 % от годичного прироста) ниже прироста на контроле (76 %). При увеличении возраста деревьев доля поздней древесины постепенно уменьшается на обоих участках.

4. Средне-многолетний радиальный прирост древесины у деревьев как среднего, так и максимального размера на пробной площади вблизи МКАД на 20-22 % ниже, чем на контроле. Превышение радиального прироста на контроле наблюдается почти во все годы наблюдений.

Приросты ранней древесины у максимальных деревьев выше на пробной площади вблизи МКАД ($1,59 \pm 0,1$ мм), чем на контроле ($1,25 \pm 0,2$ мм), что связано с более ранним началом вегетации лиственницы вблизи автотрассы. Величина приростов поздней древесины на контроле ($4,8 \pm 2,2$ мм) значительно превышает приросты на участке вблизи МКАД ($3,18 \pm 1,0$ мм). Различия статистически достоверны.

5. Величина приростов ранней древесины лиственницы европейской наиболее тесно связана с количеством осадков в весенне-летний период – коэффициент корреляции между суммарным количеством осадков в мае, июне и июле $r = 0,33$. Приросты поздней древесины лиственницы в значительной степени определяются количеством тепла в августе и сентябре – коэффициент корреляции между величиной прироста поздней древесины и суммой средних суточных положительных температур за эти месяцы $r = -0,44$.

6. Негативное влияние автомагистрали отмечено в течение 18-летнего периода наблюдений. Постепенное возрастание средних многолетних приростов с увеличением возраста лиственницы свидетельствует об ее адаптации к условиям произрастания вблизи такой крупной автомагистрали, как МКАД, повышении жизнеспособности древостоя и возможности ее использования в посадках вблизи автодорог и городском озеленении.

Библиографический список

1. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – Москва : Изд-во МГУЛ, 1998. – 191 с. – ISBN 5-8135-0003-0.
2. Павлов, И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И. Н. Павлов ; БНЦ СО РАН. – Улан-Удэ, 2005. – 370 с.
3. Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungn-Gegenmaßnahmen // Herausgeben von Hans-Günther Dässler. Jena: Fischer, 1991. – 266 s.
4. Самойлов, А. И. Противогололедные реагенты нового поколения и методы оценки их влияния на зеленые насаждения / А. И. Самойлов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: Науч. тр. Московского гос. университета леса, 2002. – Вып. 318. – С. 101–103. – ISSN: 0540-9691.
5. Черноусенко, Г. И. Антропогенное засоление почв Москвы / Г. И. Черноусенко, И. А. Ямнова, М. И. Скринникова // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 97–105. – ISSN: 0032-180X.
6. Бурков, В. Н. Влияние противогололедных солей на древесные растения / В. Н. Бурков, Л. В. Моисеева, Н. Г. Горбова // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. – Екатеринбург : Наука, 1992. – С. 28–35. – ISBN 5-7691-0209-8.
7. Лысиков, А. Б. Влияние противогололедных реагентов на состояние почвы придорожных сосняков Серебряноборского опытного лесничества / А. Б. Лысиков // Лесоведение. – 2017. – № 6. – С. 446–451. – DOI: 10.7868/S0024114817060079.
8. Афанасьева, Л. В. Физиолого-биохимическая адаптация лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) к условиям городской среды / Л. В. Афанасьева // Сибирский лесной журнал. – 2018. – № 3. – С. 21–29. – DOI: 10.15372/SJFS20180303.
9. Цитологическое изучение лиственницы сибирской в антропогенно нарушенных районах г. Красноярска и его окрестностей / Е. Н. Муратова, Т. В. Карпюк, О. С. Владимирова [и др.] // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – № 9. – С. 99–108. – ISSN: 1811-7457.

10. Романова, Л. И. Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в зеленых насаждениях г. Красноярска и его окрестностей : специальность 03.00.05. «Ботаника» : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Романова Лариса Ивановна. – Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. – 24 с.
11. Абраменко, О. В. Использование лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) как биоиндикатора состояния городских насаждений в условиях лесостепной зоны Хакасско-Минусинской котловины / О. В. Абраменко // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 184–188. – ISSN: 1819-4036.
12. Кузмичев, В. В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды / В. В. Кузмичев, Е. В. Авдеева // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Вып. XXIV. – № 1. – С. 36–42. – ISSN: 1993-0135.
13. Рубцов, М. В. Лиственница европейская в центре Русской равнины / М. В. Рубцов, Ю. Б. Глазунов, Д. К. Николаев // Лесное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 26–29. – ISSN: 0024+1113.
14. Рыбакова, Н. А. Рост культур лиственницы европейской в зоне влияния Московской кольцевой автодороги (МКАД) / Н. А. Рыбакова, Ю. Б. Глазунов // Лесной вестник. – 2019. – № 5. – С. 54–61. – DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61.
15. Ловелиус, Н. В. Фитоиндикация экологических условий среды в урбанизированных районах (на примере аномалий радиального прироста лиственницы в Санкт-Петербурге) / Н. В. Ловелиус // Общество. Среда. Развитие. – 2007. – № 3. – С. 93–103. – ISSN: 1997-5996.
16. Битвинкас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинкас. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. – 170 с.
17. Ваганов, Е. А. Рост и структура годичных колец хвойных / Е. А. Ваганов, А. В. Шашкин. – Новосибирск : Наука, 2000. – 122 с. – ISBN 5-02-131418-8.
18. Силкин, П. П. Многопараметрический анализ структуры годичных колец в дендрэкологических исследованиях : специальность 03.00.02 «Биофизика» : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Силкин Павел Павлович. – Красноярск : ФГОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет, 2009. – 35 с.
19. Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies / M. M. Amoroso, L. D. Daniels, P. J. Baker, J. J. Camarero. – Springer, Cham., 2017. – 400 p.
20. Speer, J. H. Fundamentals of Tree-Ring Research / J. H. Speer. – University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 2010. – 333 p.
21. Fritts, H. C. Tree rings and climate / H. C. Fritts. – London – New York – San-Francisco: Academic Press, 1976. – 576 p.
22. Румянцев, Д. Е. Сопряженность в кратковременной изменчивости ширины ранней и поздней древесины в годичных кольцах лиственниц в условиях Подмосковья / Д. Е. Румянцев, М. С. Александрова, Д. К. Николаев // Лесной вестник. – 2009. – № 1. – С. 56–61. – ISSN: 1727-3749.

References

1. Nikolaevskii V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phytoindication methods]. Moscow, MGUL Publ., 1998, 191 p. (in Russian).
2. Pavlov I.N. *Drevesnye rasteniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya* [Woody plants in conditions of technogenic pollution]. Ulan-Ude, BSC SB RAS, 2005, 370 p. (in Russian).
3. Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungn-Gegenmaßnahmen // Herausgeben von Hans-Günther Dässler. Jena: Fischer, 1991. 266 s.
4. Samojlov A.I. *Protivogolelednye reagenty novogo pokoleniya i metody otsenki ikh vliyaniya na zelenye nasazhdeniya* [New generation anti-icing reagents and methods for assessing their impact on green spaces]. *Ekologiya, monitoring i ratsional'noye prirodopol'zovaniye*: Nauch. tr. Moskovskogo gos.universiteta lesa. 2002, vol. 318, pp. 101-103 (in Russian).

5. Chernousenko G.I., Yamnova I.A., Skrinnikova M.I. (2003) *Antropogennoe zasolenie pochv Moskvy* [Anthropogenic salinization of soils in Moscow]. *Pochvovedenie* [Soil Science], vol. 36, no. 1, pp. 92-100 (in Russian).
6. Burkov V.N., Moiseeva L.V., Gorbova N.G. *Vliyanie protivogolelednykh solei na drevesnye rasteniya* [Effect of deicing salts on woody plants]. *Tekhnogennyye vozdeystviya na lesnyye soobshchestva i problemy ikh vosstanovleniya i sokhraneniya*. Yekaterinburg, Nauka, 1992, pp. 28-35 (in Russian).
7. Lysikov A.B. (2017) *Vliyanie protivogolelednykh reagentov na sostoyanie pochvy pridorozhnykh sosnyakov Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva* [Influence of deicing reagents on the soil condition of roadside pine forests of Serebryanoborsky experimental forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], no. 6, pp. 446-451 (in Russian). doi: 10.7868/S0024114817060079.
8. Afanasyeva L.V. (2018) *Fiziologo-bioximicheskaya adaptatsiya listvennicy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) k usloviyam gorodskoy sredy* [Physiological-biochemical adaptation of the siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) to urban environments]. *Sibirskii lesnoi zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], no. 3, pp. 21-29 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20180303.
9. Muratova E.N., Karpuyuk T.V., Vladimirova O.S. (et al.) (2009) *Citologicheskoe izuchenie listvennicy sibirskoy v antropogenno narushennykh raionakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostej* [Cytological study of Siberian larch in anthropogenically disturbed areas of the city of Krasnoyarsk and its environs]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya* [Bulletin of ecology, forestry and landscape science], no. 9, pp. 99-108 (in Russian).
10. Romanova L.I. *Strukturno-funktsional'nye osobennosti listvennitsy sibirskoi v zelenykh nasazhdeniyakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostei: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Structural and functional features of Siberian larch in green spaces of the city of Krasnoyarsk and its environs: PhD thesis abstr.]. Krasnoyarsk, 2005, 24 p. (in Russian).
11. Abramenko O.V. (2015) *Ispol'zovanie listvennitsy sibirskoi (Larix sibirica Ledeb.) kak bioindikatora sostoyaniya gorodskikh nasazhdenii v usloviyakh lesostepnoi zony Khakassko-Minusinskoj kotloviny* [The use of siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) as the bioindicator of the urban planting state in the conditions of the forest-steppe zone in the Khakass-Minusinsk hollow]. *Vestnik Krasnoyarskogo GAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], no. 1, pp. 184-188 (in Russian).
12. Kuzmichev V.V., Avdeeva T.V. (2007) *Reaktsiya listvennitsy sibirskoi (Larix sibirica Ledeb.) na tekhnogennyye vozdeystviya gorodskoi sredy* [The reaction of *Larix sibirica* Ledeb. to the technogenic effects of the urban environment]. *Khvoynye boreal'noi zony* [Conifers of the boreal zone], vol. XXIV, no. 1, pp. 36-42 (in Russian).
13. Rubczov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. (2011) *Listvennitsa evropeiskaya v tsentre Russkoi ravniny* [*Larix decidua* in the center of the Russian plain]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], no. 5, pp. 26-29 (in Russian).
14. Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. (2019) *Rost kul'tur listvennicy evropejskoj v zone vliyaniya Moskovskoy kol'cevoj avtodorogi (MKAD)* [Growth of European larch crops in the zone of influence of the Moscow Ring Road]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], vol. 23, no. 5, pp. 54-61 (in Russian). doi: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61.
15. Lovelius N.V. (2007) *Fitoindikatsiya ekologicheskikh uslovij sredy v urbanizirovannykh rajonakh (na primere anomalij radial'nogo prirosta listvennicy v Sankt-Peterburge)* [Phytoindication of environmental conditions in urban areas (on the example of anomalies of the radial growth of larch in St. Petersburg)]. *Obshestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development], no. 3, pp. 93-103 (in Russian).
16. Bitvinkas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic studies]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 170 p. (in Russian).
17. Vaganov E.A., Shashkin A.V. *Rost i struktura godichnykh kolets khvojnykh* [Growth and structure of conifer tree rings]. Novosibirsk, Nauka, 2000, 122 p. (in Russian).
18. Silkin P.P. *Mnogoparametricheskii analiz struktury godichnykh kolets v dendroekologicheskikh issledovaniyach: diss. dok. biol. nauk* [Multiparameter analysis of the structure of tree rings in dendroecological studies: DSc thesis]. Krasnoyarsk, 2009, 35 p.
19. Amoroso M.M., Daniels L.D., Baker P.J., Camarero J.J. *Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies*. Springer, Cham., 2017. 400 p.
20. Speer J.H. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona. 2010, 333 p.
21. Fritts H.C. *Tree rings and climate*. London – New York – San-Francisco: Academic Press, 1976. 576 p.

22. Romyancev D.E. (2009) *Sopryazhennost' v kratkovremennoi izmenchivosti shiriny rannei i pozdnei drevesiny v godichnykh kol'tsakh listvennits v usloviyakh Podmoskov'ya* [Conjugation in the short-term variability of the width of early and late wood in the annual rings of larch in the conditions of the Moscow region]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], no. 1, pp. 56-61 (in Russian).

Сведения об авторах

Рыбакова Наталья Алексеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института лесоведения РАН, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: 1986620@gmail.com.

Глазунов Юрий Борисович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Института лесоведения РАН, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: glazunov@ilan.ras.ru.

Information about authors

Rybakova Natalya Alekseevna – PhD (Agriculture), Senior Researcher, Institute of Forestry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: 1986620@gmail.com.

Glazunov Yury Borisovich – PhD (Agriculture), Leading Researcher, Institute of Forestry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: glazunov@ilan.ras.ru.