

УДК 630.11

РЕАКЦИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) НА ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

© В.В. Кузьмичев¹, Е.В.Авдеева²

¹Институт леса им. В.Н.Сукачева

²ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», Красноярск, Россия

Система озеленения является основным звеном экологического каркаса города, поэтому изучение процессов роста как отдельных деревьев, так и их совокупностей в его среде, является актуальной задачей. Урбанизированная среда характеризуется многообразными факторами, влияющими на процессы роста древесных растений, с учетом которых построена система рядов роста. Градорастительные условия оказывают значительное воздействие на рост лиственницы сибирской, что сказывается на дифференциации биометрических параметров.

The system of greenery planting is the main part of the city ecological skeleton; that is why studying of the process of growing of both separate trees and their aggregates in the city is an urgent problem nowadays. The urbanized environment is characterized by many factors that influence the growing processes of trees; these factors were taken into consideration when the system of growing rows was created. The urban vegetative conditions make a strong impact on growth of the Siberian larch, which influences the differentiation of biometric parameters.

Введение. На современном этапе развития урбанизированных территорий важно полное использование разносторонних полезных свойств зеленых насаждений. Поэтому целью ведения зеленого строительства в городах должно быть выращивание долговечных насаждений, устойчивых к особым условиям среды. Система озеленения города является основным звеном экологического каркаса города, поэтому изучение процессов роста как отдельных деревьев, так и их совокупностей в городской среде, является актуальной задачей. Ее решение позволит прогнозировать рост насаждений, оптимизировать их структуру и видовой состав древесных растений, адекватно отвечающих условиям среды и влияющих на повышение ее качества.

Материалы и методика работ. Выбору объектов исследований предшествовало детальное изучение экологической обстановки, природно-климатического фона и натурное обследование объектов озеленения г.Красноярска. Условия внешней среды оказывают существенное влияние на рост и

развитие зеленых насаждений в городе, поэтому деревья одной и той же породы в одинаковом возрасте могут иметь различные биометрические показатели. Последние зависят от размещения зеленых насаждений на территориях с различной степенью антропогенного загрязнения; влияния типа, способа и густоты посадок; площади и благоустройства озелененных территорий; состава насаждений и ухода за ними.

В качестве экспериментальной основы исследований использовались следующие характеристики:

1. Биометрические параметры лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), характеризующие ее состояние в возрасте от 8 до 50 лет.

Объем используемого материала представлен 53 объектами озеленения города Красноярска, на которых обследовано около шестисот деревьев в 2002 - 2003 годах. При этом около 130 деревьев на 12 объектах обмерены повторно (первичные исследования проводились в 1991-92 гг.). Исследуемые

насаждения принадлежат к различным категориям озеленения: 19 участков заложены в насаждениях общего пользования (скверы, парки, озеленение набережных и площадей), 34 - в посадках улиц и магистралей.

На каждом участке обмерено не менее 10 деревьев и получены следующие биометрические параметры: высота дерева, высота до максимального диаметра кроны, высота до начала кроны, диаметр дерева на высоте 1.3 м, диаметры кроны, обмеренные в двух взаимно перпендикулярных направлениях - необходимые для вычисления характеристик дерева, таких, как длина освещенной части кроны и ее протяженности, объем ствола и кроны.

Учитывая различие условий произрастания деревьев в пределах участка, по результатам обмеров получили средние значения всех биометрических параметров. Средний диаметр деревьев определялся через площадь сечений стволов, усредненную по участку. Средняя высота деревьев определялась по графику связи высот деревьев и их диаметров (через средний диаметр). Для остальных биометрических показателей рассчитаны средние арифметические значения.

2. Параметры структуры насаждений. Городские объекты озеленения, в отличие от естественных насаждений, формируются с учетом норм и правил, разработанных для зеленых насаждений различного функционального назначения.

Анализ литературных источников, посвященных изучению роста и развития древесных растений, показал, что важным фактором, оказывающим значительное влияние на облик дерева, его долговечность и декоративность, является структура растительных композиций, используемых в озеленении городов (Разумовский, 1986; Разумовский, Фурсова, 1988). В качестве объектов исследований рядом авторов изучались отдельно стоящие деревья, рядовые посадки, аллеи, группы, парки, скверы, бульвары, линейные посадки на улицах и магистралях и «городские насаждения» в целом. При этом установлено, что пространственные параметры насаждений оказывают специфическое влияние на формирование габитуса отдельного дерева и внешнего облика насаждения. Более детальное изучение характера и динамики развития деревьев, произрастающих в основных объемно-пространственных элементах парковой среды: солитерах, группах, аллеях, рядовых посадках, показало, что

биометрические параметры деревьев, произрастающих в рядах и аллеях, занимают промежуточное положение между биометрическими параметрами солитеров и групповых посадок (Разумовский, 1986). Приближение к их биометрическим характеристикам зависит от пространственной структуры насаждения: шага и типа посадки (шахматный или супротивный) и шага междурядья для многорядных насаждений, а также техногенных условий среды.

Анализ пространственной структуры городских объектов озеленения показал, что все разнообразие насаждений можно объединить в два типа произрастания древесных растений. Основанием к унификации по типам произрастания может служить общность пространственных параметров размещения деревьев в насаждениях и, следовательно, закономерные различия изменений габитуса деревьев. Первый ТИП ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ объединяет насаждения, деревья в которых растут и развиваются в сообществе - *ГРУППОВОЙ ТИП ПРОИЗРАСТАНИЯ*, второй тип - насаждения, состоящие из свободно растущих деревьев *СВОБОДНЫЙ ТИП ПРОИЗРАСТАНИЯ*, т.е. растения в них не вступают в фазу роста в сообществе (в рассматриваемом возрастном интервале).

Расчет густоты посадок (шт./га) в насаждениях города Красноярска показал, что при среднем расстоянии между деревьями 3,5 м плотность деревьев при групповом типе пространственной структуры насаждения составляет 800 шт./га. Плотность свободно растущих деревьев составляет 300 шт./га при среднем расстоянии между ними 6 м.

3. Градорастительные условия. Тип градорастительных условий - это участки с однородным природным ресурсным потенциалом и определенной плотностью ландшафтно-, урбо-, син- и аутоэкологических характеристик, требующие равнозначных экономических вложений и технологических уходов. В результате исследований (Авдеева, 2007) на территории города установлено 4 типа градорастительных условий: I - удовлетворительный, II - напряженный, III - конфликтный и IV - критический.

Эффективность городских объектов озеленения зависит от выбора структуры и видового состава зеленых насаждений, адекватного типу градорастительных условий. Поэтому достоверная и надежная классификация городских насаждений и

изучение показателей роста и продуктивности древесных растений на данной основе имеют важное значение для принятия проектных и эксплуатационных решений.

Исходными данными для группировки насаждений по реакции древесных растений на условия произрастания послужили две группы параметров. Каждое насаждение представлено статистической совокупностью качественных и количественных признаков. Первая группа параметров - это возрастные и средние линейные характеристики деревьев: высота, диаметр ствола на высоте 1,3 м, диаметр кроны. Вторая группа - характеристики условий произрастания насаждений, которые определялись ландшафтными, урбо-, синэкологическими параметрами в соответствии с разработанной нами методикой оценки среды на локальном уровне (в баллах). Для решения данной задачи был использован кластерный анализ.

В процессе классификации проводилась стандартизация данных, приведение их к нулевому среднему и единичной дисперсии по выражению

$$Y = \frac{X - X_{cp}}{\sqrt{\sigma}}, \quad (1)$$

где Y - стандартизованные значения параметров, X - натуральные значения параметров, X_{cp} - среднее значение параметра, σ - дисперсия.

Определение значимости показателей и их отбор по целесообразности использования для проведения классификации насаждений выполнены в следующем порядке: на I этапе агломеративным (объединительным) методом проверялась достоверность показателей. В качестве меры сходства принято евклидово расстояние. Для иерархического объединения кластеров использовался метод полной связи. На II этапе число выделенных групп закладывалось в кластер-анализ k -средних. Принадлежность к кластеру определяется в многомерном анализе наибольшим числом общих значений признаков (Боровиков, Боровиков, 1997). Итоги кластеризации оценивались по обоим методам. Контроль и окончательный вариант классификации насаждений принимали с учетом конкретной экологической ситуации.

Урбанизированная среда характеризуется многообразными, влияющими на процессы роста древесной растительности факторами, с учетом которых построена система рядов роста, описывающая изменение с возрастом отдельных биометрических параметров в

абсолютных величинах. Ряд роста деревьев включает совокупность однородных насаждений, достигающих одинаковой средней высоты в определенные возрасты и характеризующихся общностью развития по другим биометрическим параметрам.

Построение рядов роста деревьев в высоту проведено статистическим методом (Кузьмичев, 1977; Анучин, 2004). Для выравнивания взаимосвязи средних значений высот деревьев с возрастом в пределах рядов роста по высоте использовалась формула Мичерлиха:

$$H = b_1 * (1 - (\exp(-1(A/b_2)))^{b_3}), \quad (2)$$

где A - возраст, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ - коэффициенты уравнения.

Диаметр древостоя, будучи, как и высота, динамичным показателем, является более изменчивым параметром. Даже в насаждениях одного возраста и равной высоты, т.е. произрастающих примерно в одинаковых условиях, диаметры могут колебаться в значительных пределах. Причиной большей изменчивости диаметров является то, что динамика роста по данному параметру зависит от значительно большего числа факторов, чем роста в высоту (Кузьмичев, 1977; Кофман, 1986).

Для выравнивания взаимосвязи средних значений диаметров деревьев и возраста в пределах рядов роста использовалась степенная функция вида:

$$D = b_1 \cdot (A - A_{1,3})^{b_2} \quad (3), \quad \text{где } \theta_1 \text{ и } \theta_2 - \text{коэффициенты уравнения, } A - \text{возраст, лет; } A_{1,3} - \text{возраст достижения высоты 1,3 м.}$$

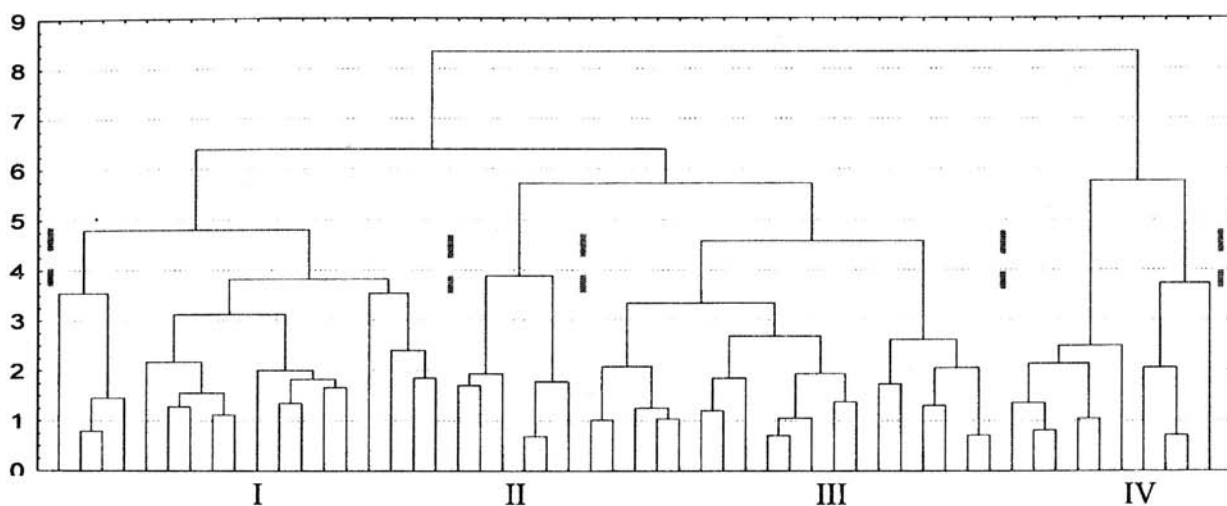
Результаты и обсуждение.

Классификация насаждений проведена методом кластерного анализа. Исходные данные представлены в таблице 1, результаты кластеризации - на рисунке 1.

По сходству влияния условий городской среды на биометрические параметры деревьев лиственничные насаждения разделились на четыре группы - I, II, III, IV кластеры, в соответствии с установленным количеством типов градрастительных условий (рисунок 1). В кластерах I и III выделяются подгруппы, в которых насаждения разделились в соответствии с пространственной структурой. В кластерах II и IV различия не проявляются, вероятно, из-за недостаточного объема исходных данных.

Таблица 1 - Исходные данные

Параметры	X_{cp}	σ
Возраст, лет	29	10,6
Высота, м	7,75	3,35
Диаметр ствола, м	18,3	8,37
Диаметр кроны, м	4,7	1,8
Критерии экологического состояния среды		
Ландшафтные	1,86	1,44
Урбоэкологии	15,9	6,6
Синэкологии	5,45	2,14
Плотность фоновых факторов среды	26,5	6,6



I, II, III IV– номера кластеров

Рисунок 1 - Схема классификации насаждений лиственницы

Таким образом, лиственница достаточно чутко реагирует на стрессовые факторы среды.

В основу построения рядов роста положены результаты кластерного анализа, которые показали достоверные различия по сходству влияния экологических условий среды на состояние растений. Величина

интервала между линиями хода роста по высоте составляет $\pm 7\%$. Коэффициенты и параметры уравнений представлены в таблице 2. Взаимосвязь средних высот деревьев с возрастом, произрастающих в различных экологических условиях города, представлена на рисунке 2.

Таблица 2 - Коэффициенты и параметры уравнений хода роста лиственницы сибирской по высоте

Тип градорастительных условий	θ_1	θ_2	θ_3	R^2	Δ
I	20.82	26.90	1.69	0.99	4.3
II	15.07	18.02	2.23	0.993	1.36
III	12.18	21.81	1.65	0.996	1.2
IV	9.85	27.02	1.41	0.976	1.4

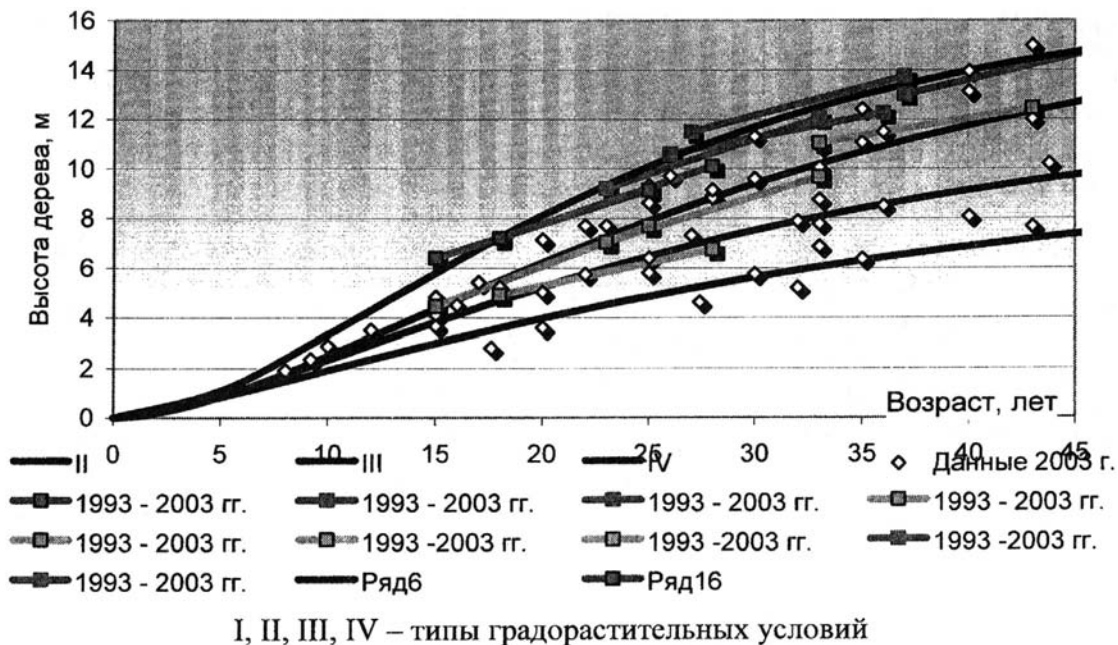


Рисунок 2 - Рост деревьев лиственницы сибирской по высоте в различных экологических условиях

Анализ рядов хода роста лиственницы сибирской в высоту в условиях городской среды, показал:

- рост насаждений лиственницы сибирской в высоту в возрастной динамике в условиях урбанизированной среды достоверно описывается уравнением Мичерлиха (R^2 для всех зависимостей изменяется от 0.99 до 0.97, стандартная ошибка - 0,7.. 0,94);

- прослеживается тенденция различия роста в высоту в связи с изменением экологических нагрузок на зеленые насаждения, что обусловлено как фоновым состоянием среды территории города Красноярска, так и сложившимися на отдельных территориях локальными ситуациями. По различию в темпах роста по высоте насаждений лиственницы сибирской выделено 4 типа (рисунок 2), что соответствует числу типов градорастительных условий для насаждений г. Красноярска;

- при увеличении плотности комплекса негативных факторов в урбоэкологических условиях среды наблюдается снижение высоты насаждений, достигающее к 45-летнему возрасту во II классе роста 19 %, в III- 34%, в IV- 43% по сравнению с I классом роста деревьев. Таким образом, характер роста в высоту определяется совокупным влиянием градорастительных факторов. Класс роста в высоту является наглядным индикатором данного влияния.

- анализ соответствия высоты и возраста

насаждения позволяет сделать вывод о типе градорастительных условий на данной территории и, следовательно, прогнозировать характер роста насаждений, скоординировать пространственную структуру и технологии уходов с целью улучшения состояния насаждений.

Помимо внешних условий, на рост деревьев значительное влияние оказывают процессы, протекающие внутри насаждений. Анализ роста деревьев по высоте, произрастающих в одинаковых градорастительных условиях, но имеющих различную пространственную структуру, показал, что:

- до 35-летнего возраста не проявляются различия в ходе роста по высоте у деревьев, произрастающих в наиболее чистых в экологическом отношении районах города (I тип произрастания) в насаждениях с различным типом пространственной структуры - групповые и свободные посадки. К возрасту в 45 лет разница по высоте между деревьями, произрастающими в группах и свободно растущими, достигает 1,2 м (8%, 15,5 м и 14,3 м, соответственно).

- различия по высоте деревьев в насаждениях, произрастающих в III типе градорастительных условий, не проявляются.

В биометрических параметрах фиксируется реакция деревьев на факторы среды обитания, тем самым морфология дерева отражает ретроспективную информацию [Усольцев,

1985]. Достоверность построенных рядов роста по высоте подтверждают экспериментальные данные изменения биометрических параметров лиственницы сибирской (рис. 2), полученные в одних и тех же насаждениях, с разницей в 10 лет.

Отрезки изменения высоты насаждений с 1993 по 2003 г., наложенные на ряды роста, полученные на основании измерений древесных растений за 2003 год, показали, что используемый метод, ориентированный на выявление реакций древесных растений на воздействия среды, является адекватным для построения моделей роста насаждений в условиях городской среды.

Анализ результатов исследований роста ствола по диаметру и объему показал, что:

- существенных различий по диаметру ствола деревьев, произрастающих в одинаковых экологических условиях, но в разных типах посадки, до 15-летнего возраста не проявляется;

- с увеличением возраста наблюдается влияние техногенных условий на ход роста деревьев по диаметру. Максимальных

диаметров ствола на высоте 1,3 м достигают свободно растущие деревья, произрастающие в I типе градорастительных условий, при увеличении техногенных нагрузок наблюдается снижение размеров диаметров. К 45 годам оно составляет 35%;

- при увеличении плотности посадок разница средних диаметров ствола достигает до 43%. Таким образом, плотность является объективным показателем качества пространственной структуры насаждений. Она предопределяет взаимодействие растений в насаждениях, формирует облик отдельных деревьев и объектов озеленения в целом;

- рост ствола по объему является интегрированным показателем, в котором в большей степени проявляются реакции древесных растений на градорастительные условия: для насаждений лиственницы в зависимости от уровня техногенных нагрузок разница достигает 87%.

Реакция лиственницы сибирской на воздействие техногенных нагрузок в возрасте 45 лет представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Реакция лиственницы на техногенные воздействия городской среды (45 лет)

Условия произрастания насаждений		Высота			Диаметр			Объем ствола		
Тип градорастительных условий	Тип пространственной структуры	Средняя, м	Снижение относительно максимальной высоты		Средний, см	Снижение относительно максимального диаметра		Средний, м ³	Снижение относительно максимального объема ствола	
			м	%		см	%		М ³	%
I	Все типы	14,9	0,6	4	33,7	4,5	12	0,4	0,3	45
II		12,5	3,1	20	30,8	7,4	19	0,3	0,4	54
III		9,9	5,5	36	26,2	12,0	31	0,2	0,5	72
IV		8,1	7,4	48	24,9	13,3	35	0,1	0,6	87
I	свободный	14,3	1,2	8	38,2	0,0	0	0,7	0,0	0
I	групповой	15,5	0,0	0	21,7	16,5	43	0,2	0,4	66
III	свободный	9,7	5,8	37	26,3	11,9	31	0,3	0,4	61
III	групповой	9,8	5,7	37	25,5	12,7	33	0,2	0,5	69

Выводы. Градорастительные условия оказывают значительное воздействие на рост лиственницы сибирской, что сказывается на дифференциации биометрических параметров. С повышением техногенных нагрузок с возрастом увеличивается амплитуда изменения значений. Разброс по высоте составляет 10 м, разница по объему ствола достигает 87%, что свидетельствует о повышенной чувствительности лиственницы к стрессовым нагрузкам и о возможности использования данного вида в качестве дендроиндикатора. Помимо внешних условий, на рост деревьев значительное влияние оказывают процессы,

протекающие внутри насаждений. Плотность посадок является базовым параметром при организации пространственной структуры городских насаждений. Наряду с техногенными воздействиями, она существенно влияет на параметры деревьев, следовательно, и на запас древесины, продукционные процессы и выполнение насаждениями экологических функций.

По динамике ответных реакций биометрических параметров лиственницы сибирской можно оценить экологическое состояние и уровень деградации городской среды, а также пределы устойчивости

растений к техногенному загрязнению. Таким образом, лиственница сибирская является перспективным видом для использования в целях фитоиндикации городской среды.

Библиографический список

Разумовский, Ю.В. Влияние экологических факторов на рост и развитие *Tilia Cord.* в парковых насаждениях [Текст]: автореф. дисс. к. с.-х. н. / Ю.В.Разумовский, М. 1992. - 21 с.

Разумовский, Ю.В., К вопросу о возрастных изменениях объемно-пространственной структуры парковых территорий [Текст] / Ю.В. Разумовский, Л.М. Фурсова // Науч. тр. ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство. - Вып. 246. - М.: МЛТИ, 1991. - С. 84-93.

Авдеева, Е.В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде

[Текст] / Е.В. Авдеева. - Красноярск: СибГТУ, 2007. - 361 с.

Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев [Текст] / В.В.Кузьмичев. - Новосибирск. : Наука, 1977. - 160 с.

Кофман, Г.Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск [Текст] / Кофман Г.Б: Наука, 1986. - 210 с.

Анучин, Н.П. Лесная таксация [Текст] / Н.П. Анучин. - М. : ВНИИЛМ, 2004. - 552 с.

Боровиков, В.П. Statistica - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. - М.: Инф. Изд-во Филинь, 1997. 608 с.

Усольцев, В.А. Рост и структура фитомассы древостоев [Текст] /

В.А. Усольцев. - Новосибирск: Наука, 1988. - 254 с.

Поступило в редакцию 15 ноября 2006 г.

Принята к печати 3 апреля 2007 г.