

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Е. В. Авдеева¹, Н. В. Цыганкова², А. В. Никончук¹

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

²КГБПОУ «Красноярский политехнический техникум»
Российская Федерация, 660079, Красноярск, ул. Александра Матросова, 20

Аннотация. В статье представлены результаты оценки роста деревьев на объектах озеленения г. Красноярска. Объектами исследования являются деревья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) с естественной формой кроны, прошедшие только санитарную обрезку, произрастающие в городских посадках с различным уровнем техногенного воздействия; обследуемые территории относятся к объектам общего, ограниченного пользования и специального назначения районного значения, расположенные во всех районах города; на территории исследуемых объектов выявлено четыре типа композиционного расположения деревьев: солитер, массив, рядовая и букетная посадки. предельный возраст исследуемых деревьев составляет 80 лет. Рост по высоте достоверно описывается уравнением Мичерлиха. Анализ роста деревьев по высоте показал, что: до 15–18-летнего возраста условия среды не оказывают существенного влияния на рост данного вида в высоту, в дальнейшем начиная с 35–40-летнего возраста прослеживается дифференциация на несколько типов роста; к 70-летнему возрасту, амплитуда по высоте между растениями, произрастающими в удовлетворительных и критических условиях, составляет 13 м, что составляет 50 %; ряды роста по высоте для растений, произрастающих в букетном типе пространственной структуры, несколько отличаются от остальных типов: разброс значений меньше, выделяется только два типа по темпам роста, значения биометрических параметров значительно ниже аналогичных для других типов посадки, одинаковая площадь питания растений, приходящаяся на один и на несколько стволов (от 3-х до 7) деревьев играет важное значение и отражается на биометрических параметрах растений. Полученные результаты позволили составить ряды хода роста тополя бальзамического с естественной формой кроны с учетом условий произрастания в урбосреде промышленного города Красноярска.

Полученные данные позволяют прогнозировать динамику объемно-пространственной структуры как отдельных деревьев, так и городских насаждений в целом.

Ключевые слова: древесные растения, тополь бальзамический, естественная форма роста, объекты озеленения, городская среда.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 80–87

GROWTH CHARACTERISTICS OF WOODY PLANTS IN LANDSCAPING SITES IN KRASNOYARSK

E. V. Avdeeva¹, N. V. Tsygankova², A. V. Nikonchuk¹

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

²KSBPEI “Krasnoyarsk Polytechnic College”
20, Alexandra Matrosova st., Krasnoyarsk, 660079, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of tree growth assessment in landscaping sites in Krasnoyarsk. The objects of the study are balsam poplar trees (*Populus balsamifera* L.) with a natural crown shape that have undergone only sanitary pruning, growing in urban plantings with varying levels of technogenic impact. The surveyed areas relate to public, limited-use and special-purpose objects of regional significance, located in all districts of the city. Four types of compositional arrangement of trees were identified on the territory of the study objects: solitary, array, row and bouquet plantings. The maximum age of the studied trees is 80 years. Height growth is reliably described by the Mitscherlich equation. Analysis of tree height growth showed that up to 15–18 years of age, environmental conditions do not have a significant effect on the height growth of this species, subsequently, starting from the age of 35–40 years, differentiation into several growth types is traced. By the age of 70, the height difference between plants growing in

satisfactory and critical conditions is 13 m, representing 50 % of the total. The height growth series for plants grown in a bouquet-type spatial structure differ somewhat from those of other types: the spread of values is smaller, with only two distinct growth rate types. The biometric parameter values are significantly lower than those for other planting types. The equal feeding area of plants per trunk (from 3 to 7) plays a significant role and is reflected in the biometric parameters of the plants. The obtained results allowed us to compile growth series for balsam poplar with a natural crown shape, taking into account the growing conditions in the urban environment of the industrial city of Krasnoyarsk.

The obtained data allow us to predict the dynamics of the spatial structure of both individual trees and urban plantings as a whole.

Keywords: woody plants, *Populus balsamifera*, natural growth form, landscaping sites, urban environment.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и поддержание зеленых зон является неотъемлемой частью оптимизации городской среды. Зеленые насаждения выступают как рекреационные зоны для населения и формируют уникальный ландшафт, отражающий географическое положение городов. В условиях возрастающего антропогенного воздействия, растительность играет ключевую роль в смягчении неблагоприятных последствий внешних факторов.

Загрязнение атмосферы промышленными отходами и автомобильными выхлопами оказывает значительное негативное воздействие на городские экосистемы и их биокomпоненты, в частности, на растения, приводя к их ослаблению и сокращению жизненного цикла. Исследования ряда ученых [Кулагин, 1974; Николаевский, 2002; Рунова, 2010; Авдеева, 2013; Тюкавина, 2018] подчеркивают взаимосвязь между анализом состояния городских насаждений и разработкой стратегий управления ими. Понимание механизмов устойчивости древесных пород необходимо для разработки мер, направленных на стабилизацию экологических и социальных функций растительности в городской среде. В Красноярске функционируют предприятия, классифицируемые как объекты первого класса опасности, включая химическую и металлургическую. Энергетические и коммунальные объекты, автомобильный транспорт также являются существенными источниками загрязнения, выделяя токсичные отходы, тепло, электромагнитное излучение и шум, а также создавая риск техногенных аварий.

В условиях озеленения городской среды Красноярска тополь бальзамический продолжает занимать доминирующее положение среди высаживаемых древесных пород [Авдеева, 2007]. Эти крупные деревья (первого порядка величины) играют важную роль в обеспечении защиты, эстетического оформления и улучшении санитарных условий [Рунова, 2009, 2014; Тюкавина, 2018; Черникова, 2019; Авдеева, 2019]. Однако следует учитывать, что данная группа тополей проявляет высокую чувствительность к плодородности почвы, уровню влажности и интенсивности освещения на участке. Недостаточное внимание к этим критическим факторам при формировании зеленых насаждений, а также чрезмерная плотность посадки и применение агротехнических приемов, несогласованных с биологическими особенностями вида, оказывают неблагоприятное воздействие на состояние популяций тополя [Авдеева, 2007]. Таким образом, успешное выращивание тополя бальзамического в городской среде требует комплексного подхо-

да, учитывающего как экологические требования вида, так и особенности городской среды. Цель исследования заключается в установлении особенностей роста тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) с естественной формой кроны на объектах озеленения г. Красноярска.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве предмета изучения рассматривались деревья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.). На сегодняшний день, предельный срок жизни насаждений тополя бальзамического оценивается в пределах 60-80 лет. Наблюдения и сбор данных осуществлялись с 2013 по 2021 годы в городской среде Красноярска, на участках озеленения, отличающихся степенью антропогенной нагрузки. Изучаемые территории включали объекты общего доступа, ограниченного использования, а также объекты специального назначения районного масштаба, расположенные в различных районах города. Определение возрастной структуры растений производилось на основе главных характеристик, соответствующих этапам формирования ствола и кроны деревьев, в соответствии с методическими рекомендациями, представленными в работе «Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений» [Чистякова, 1989]. Оценка условий произрастания растений на озелененных территориях проводилась на основе методики «Интегральная оценка состояния фитосреды на локальном уровне» [Авдеева, 2007].

Определение и изучение биометрических характеристик бальзамических тополей осуществлялось безбазисным методом. Обработка полученных изображений производилась в графической программе «КОМПАС-3D V 20» с применением масштабного устройства и фотосъемки. Полученные сведения анализировались согласно методике измерений, разработанной специалистами кафедры лесного инжиниринга СибГУ им. М. Ф. Решетнева [Патенты 2534381; 2534380, 2014]. Суть предложенного подхода заключается в увеличении точности измерений параметров древесных растений, а также в уменьшении временных и финансовых ресурсов [Авдеева, 2018]. Для каждого исследуемого дерева выполнялась фотосъемка (рис. 1). Математический анализ полученных биометрических данных заключался в создании модели, описывающей рост деревьев по высоте. Коэффициенты уравнения получены с использованием программа нелинейного регрессионного анализа (Statistica 10.0).

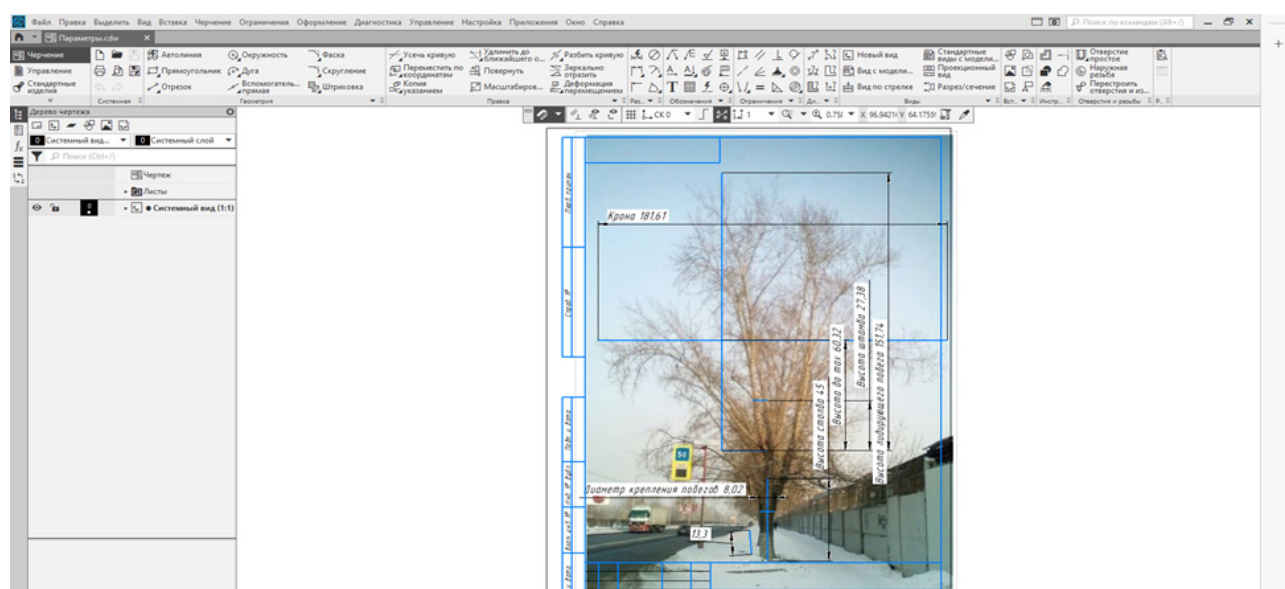


Рис. 1. Фотофиксация деревьев на объектах озеленения г. Красноярск

Расчеты выполнялись по формуле

$$Y_i = \frac{L \cdot y_i}{l},$$

где Y_i – расчетный параметр, м; L – длина масштабного устройства, м; y_i – длина отрезка искомого параметра в графическом редакторе на фотоизображении; l – длина отрезка масштабного шеста в графическом редакторе на фотоизображении.

Для описания зависимости между возрастом дерева и значениями средней высоты дерева в ряду роста деревьев использовалась формула Мичерлиха [Кузьмичев, 1977]:

$$H = b_1 \cdot \left(1 - \left(\exp \left(-1 \left(A / b_2 \downarrow 2 \right) \right) \right)^{\uparrow} \right) (b_3),$$

где A – возраст; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения.

Для отображения зависимости между скоростью увеличения размеров деревьев и их возрастом используют уравнение Митчерлиха [Кузьмичев, 1977]. Значения параметров трактуется следующим образом: b_1 – отражает максимальное значение признака, к которому кривая асимптотична; b_2 – характеризует скорость роста, b_3 – показывает соотношение между вогнутой и выпуклой частями кривой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На основе анализа влияния антропогенных факторов проведено распределение исследуемых городских посадок по степени их воздействия, что позволило установить четыре категории условий для развития растительности – от удовлетворительных до критических. Наиболее существенный отрицательный фактор, подавляющий развитие растений – транспортные потоки, вносящие отрицательный вклад в общее воздей-

ствие в диапазоне от 38 до 56 %. Обнаружено, что немалая доля деревьев тополя бальзамического (39 %) находится в сложных ситуациях – в одиночных и рядовых посадках у дорог с высокой загруженностью автотранспорта.

На территориях со средним уровнем загрязнения воздуха (напряженный тип условий произрастания) и незначительными отклонениями от правил размещения древесных растений, а также в зонах с крайне негативными условиями (критический тип условий произрастания) – в санитарно-защитных зонах заводов или оживлённых магистралей, находящихся ниже уровня промышленных объектов по отношению к ландшафту, где твёрдые поверхности, как правило, асфальтовые, непосредственно граничат с растительностью, при существенном игнорировании правил ухода расположено около 18 % насаждений тополя бальзамического; в благоприятных местах (удовлетворительный тип условий произрастания) – в парковых комплексах, скверах и бульварах – 16 %, включая контрольные участки за пределами города – 25 %.

Таким образом, насаждения тополя бальзамического на территории г. Красноярск произрастают под влиянием всех уровней нагрузки, что позволяет провести сравнительный анализ влияния условий урбосреды на изменчивость биометрических показателей деревьев данного вида в возрастной динамике.

Исследование структуры посадок тополя бальзамического в г. Красноярске выявило преобладание (65 %) отдельно стоящих деревьев, что обусловлено практикой удаления соседних экземпляров. Массивы, занимающие 20 % от общего числа, характерны для микрорайонов, построенных в 60-х годах прошлого столетия. Посадки в виде рядов, в основном вдоль дорог, составляют 7 % от изученных насаждений. Групповые посадки тополей (8 %), как правило, можно обнаружить в городских скверах и парках.

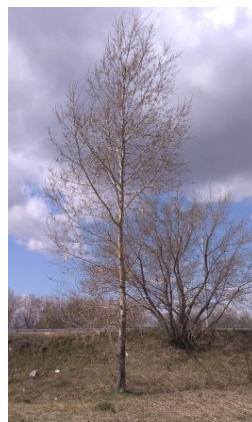
Естественная форма роста тополя бальзамического



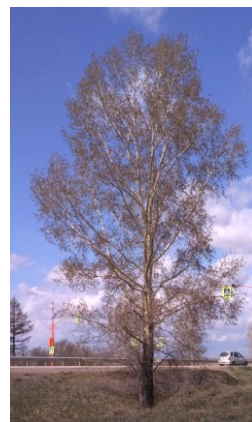
Саженец



Виргинильное состояние (v)



Молодое генеративное состояние (g1)



Средневозрастное генеративное состояние (g2)



Старовозрастное генеративное состояние (g3)



Синильное состояние (S)

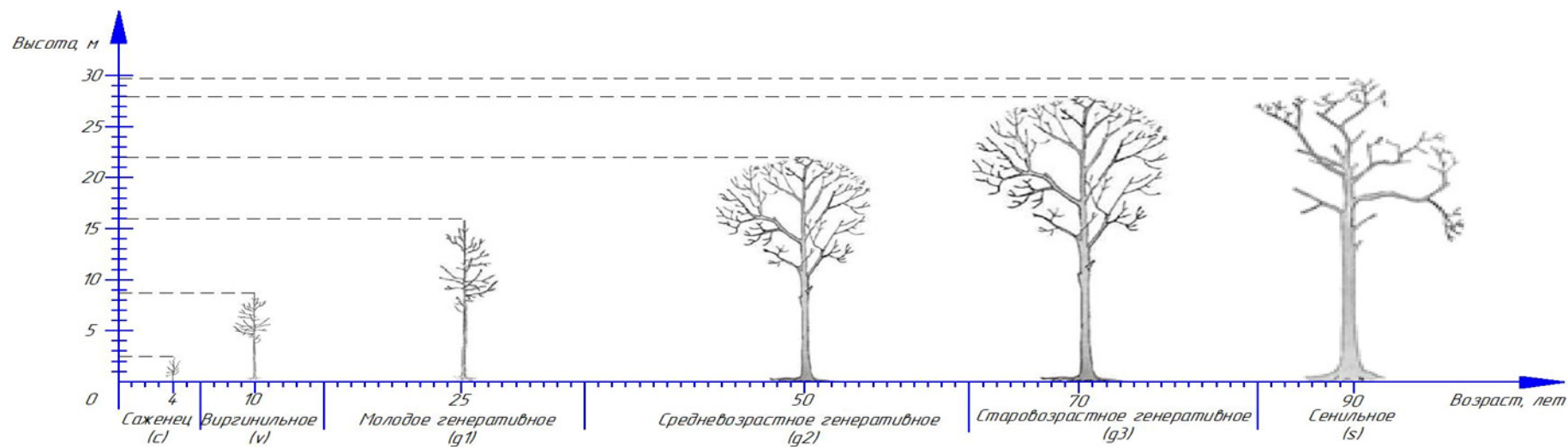


Рис. 2. Динамика роста тополя бальзамического с естественной формой кроны (солитер)

Таблица 1
Коэффициенты уравнения и критерии оценки уравнений

Тип условий произрастания	Тип пространственной структуры насаждения									
	<i>солитер</i>					<i>массив</i>				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
Контроль	36,41	1,26	0,033	0,992	1,10	38,23	1,61	0,032	0,998	0,9
Удовлетворительный	35,06	0,15	0,004	0,989	2,71	35,71	1,12	0,029	0,990	6,9
Напряженный	25,43	1,20	4,611	0,984	0,65	23,61	0,65	0,019	0,996	1,9
Конфликтный	24,85	0,93	0,023	0,988	0,92	20,30	0,83	0,042	0,990	3,3
Критический	20,55	4,84	0,119	0,992	2,24	15,17	0,77	0,047	0,986	2,6
	<i>букетная посадка</i>					<i>рядовая посадка</i>				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
Контроль	39,16	1,72	0,041	0,997	0,84	39,46	1,48	0,025	0,998	0,3
Удовлетворительный	39,98	1,34	0,018	0,989	0,91	32,56	11,70	0,328	0,995	2,9
Напряженный	31,47	1,04	0,023	0,994	2,63	26,20	3219	756,8	0,991	3,1
Конфликтный	23,55	0,81	0,021	0,991	2,6	25,96	0,39	0,009	0,990	0,1
Критический	21,10	0,66	0,021	0,998	0,73	16,17	1,14	0,043	0,986	0,4

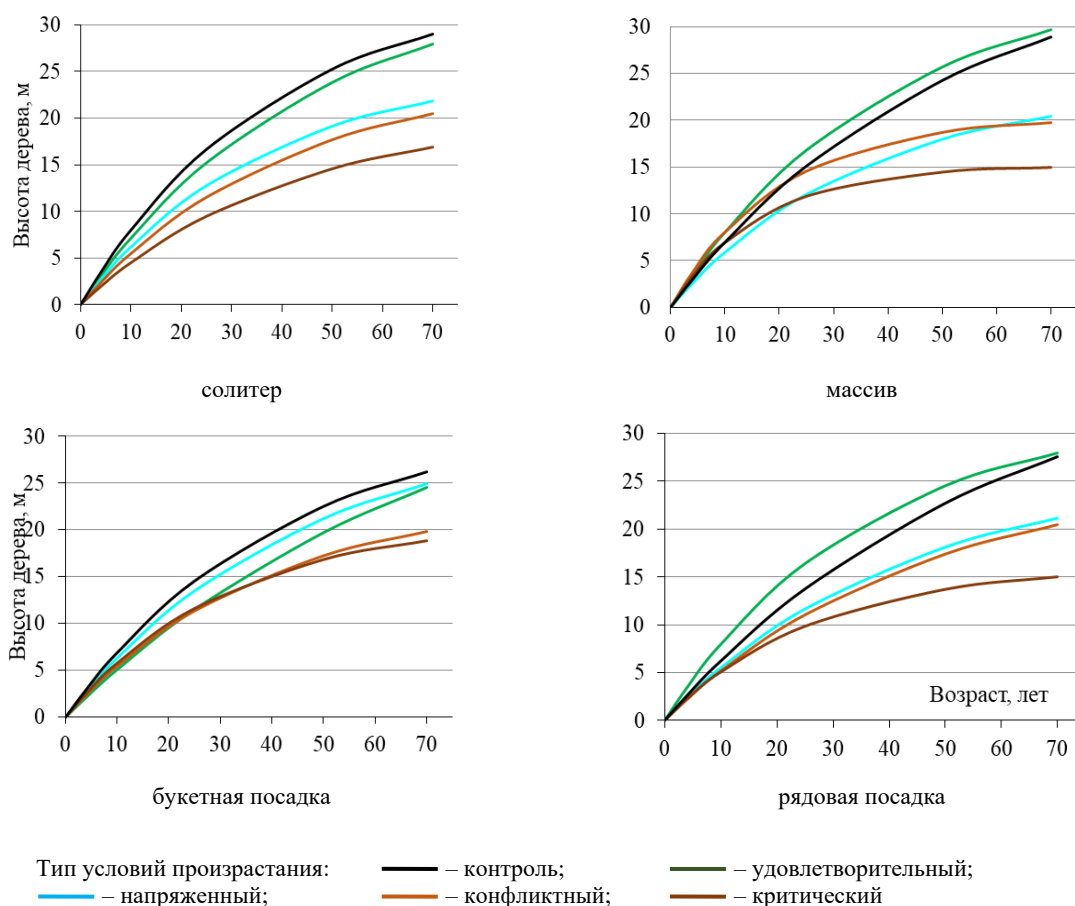


Рис. 3. Рост тополя бальзамического по высоте, произрастающего в естественной форме в различных пространственных и антропогенных условиях г. Красноярск

Изучение состояния крон исследуемых видов деревьев, произрастающих в пределах г. Красноярск после различных видов и степени обрезки, позволило выделить шесть моделей их развития: с природной

формой кроны (подвергавшихся санитарной обрезке); с полным удалением кроны до состояния «столба» без последующего формирования крон; после многократной (три и более раз) кардинальной обрезки основ-

ных ветвей до состояния «столба»; с глубокой обрезкой основного ствола до «столба» с последующим формированием кроны; при размножении вегетативным способом с корневыми побегами (с различными типами обрезки); омолаживающая обрезка ствола до «пня» с последующим формированием кроны [Авдеева, Черникова, 2019].

Возрастные изменения развития деревьев тополя бальзамического с естественной формой кроны (санитарная обрезка) в городских условиях Красноярска, представлены на рис. 2.

Анализ закономерностей роста тополя бальзамического в условиях города дает возможность прогнозировать изменения пространственной формы как отдельных деревьев, так и общую динамику городского ландшафта. Влияние антропогенных и временных факторов на рост тополя бальзамического в урбосреде изучено с использованием регрессионного анализа.

Динамика вертикального роста тополя бальзамического с высокой степенью достоверности описывается функцией Мичерлиха. Критерии уравнений, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о надежности выбранной методики. Графические представления траекторий роста деревьев тополя бальзамического иллюстрируются на рис. 2.

Изучение динамики роста тополя бальзамического по высоте, обладающих естественной структурой кроны (подвергавшихся только санитарной обрезке), позволило установить ряд характерных тенденций:

- в возрасте до 15–18 лет внешние факторы не оказывают влияние на рост по высоте для исследуемого вида деревьев; начиная с 35–40 лет установлено разделение на три типа роста, обусловленных условиями произрастания: «контроль – удовлетворительный»; «напряженный – конфликтный» и «критический». Разница между кривыми роста в среднем составляет 25,2 %, что соответствует критериям необходимой точности при классификации данных;

- к семидесяти годам разница в высоте между деревьями, растущими в благополучных и неблагоприятных условиях, достигает 13 метров, что соответст-

вует половине максимальной высоты растений;

- характер роста по высоте у деревьев, высаженных группами в одну лунку, демонстрирует некоторые отличия; диапазон значений становится уже, и выделяются две категории по скорости роста. В первую категорию попадают особи, развивающиеся в благоприятных и умеренно стрессовых условиях (удовлетворительный и напряженный тип условий произрастания), а также в контрольных посадках. Во вторую группу входят растения, испытывающие сильный стресс и критические условия. При этом максимальные показатели высоты при букетной посадке на $3,5 \pm 0,6$ м меньше, чем у деревьев, растущих по одному экземпляру в посадочной яме не зависимо от типа посадки (ряд, массив, солитер). Вероятно, ключевую роль играет одинаковая площадь питания, приходящаяся как на один ствол, так и на несколько (от 3 до 7) в случае «букетной» посадки, что отражается на биометрических показателях растений.

На основе проведенных исследований разработаны таблицы роста тополя бальзамического по высоте с естественной формой кроны, учитывающие особенности его развития в городской среде крупного промышленного центра, при этом принимались во внимание различные типы пространственной организации насаждений: одиночные деревья, садово-парковые группы, рядовые посадки (табл. 2).

Исследование особенностей роста деревьев тополя бальзамического, произрастающих в урбосреде показало – насаждения тополя бальзамического на территории г. Красноярска встречаются во всех типах произрастания, что позволяет провести сравнительный анализ влияния условий урбосреды на изменчивость биометрических показателей данного вида и составить ряды хода роста тополя бальзамического с естественной формой кроны с учетом условий произрастания в урбосреде Красноярска. Полученные данные позволяют прогнозировать динамику объемно-пространственной структуры как отдельных деревьев, так и городских насаждений в целом.

Таблица 2
Ряды хода роста тополя бальзамического по высоте

Диапазон возраста, лет	Тип условий произрастания		
	удовлетворительный	напряженный – конфликтный	критический
	Высота, м		
6–8	Саженьцы ГОСТ 24909–81 Саженьцы деревьев декоративных лиственных пород. Технические условия. Нормативные значения – высота саженца 200–400 см		
9–10	4–8		
11–20	8,1–14,5	8,1–10,0	6,1–8,0
21–30	14,6–18,0	10,1–13,5	8,1–10,5
31–40	18,1–21,5	13,6–16,0	10,6–12,5
41–50	21,6–25,5	16,1–18,5	12,6–14,8
51–60	25,6–26,5	18,6–20,0	14,9–16,0
61–70	26,6–28,5	20,1–21,5	16,1–17,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. Москва : Наука, 1974. 126 с.
2. Николаевский В. С. Эколого-физиологические основы газустойчивости растений. Москва : МЛТИ, 1989. 65 с.
3. Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации : монография. Пушкино : ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
4. Авдеева Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде : монография; Красноярск : СибГТУ, 2007. 392 с.
5. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Воздействие антропогенных факторов на древесно-кустарниковую растительность г. Братска // Вестник КрасГАУ. 2009. № 9(36). С. 87–91.
6. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Формирование газустойчивого ассортимента древесных растений в условиях повышенной техногенной нагрузки // Вестник КрасГАУ. 2010. № 6(45). С. 76–81.
7. Авдеева Е. В., Черникова К. В. Особенности формирования среды крупного промышленного города (на примере г. Красноярск) // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 1-2. С. 30–35.
8. Тюкавина О. Н., Тюкавина А. П.; Биологические особенности тополя в условиях г. Архангельска : монография. Архангельск : САФУ, 2018. 158 с.
9. Павлов И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2006. – 426 с.
10. Сродных, Т. Б., Медведева Е. Ю. Перспективные виды тополей для озеленения городов Урала // Инновации в ландшафтной архитектуре : материалы VIII Науч.-практ. конф. Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. С. 57–59.
11. Гарус И. А., Рунова Е. М., Орлова Ю. В. Оценка состояния тополя бальзамического (*Populus Balsamifera* L.) в зеленых насаждениях Братска // Природообустройство. 2023. № 4. С. 103–109.
12. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. *Populus balsamifera* в озеленении Братска // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4(24). С. 141–143.
13. ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Общие термины и определения = Urban planting. Terms and definitions : Государственный стандарт союза ССР : дата введения 1991-01-01 / Разработан и внесен Министерством жилищно-коммунального хозяйства РСФСР. сайт. URL: <https://dhttps://docs.cntd.ru/document/1200023332> (Дата обращения: 18.08.2024).
14. Черникова К. В., Авдеева Е. В. Сценарии роста тополя бальзамического в условиях городской среды // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. С. 321–324.
15. Авдеева Е. В. Черникова К. В. Сценарии роста тополя бальзамического в условиях городской среды // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и эко-

логические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. С. 321–324.

16. Чистякова А. А., Заугольнова Л. Б., Полтинкина И. В. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Москва : Прометей, 1989. 102 с.

17. Авдеева Е. В., Извеков А. А. Оценка точности безбазисного метода определения биометрических параметров древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 2. С. 123–132.

18. Кузьмичев В. В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск : Наука, 2013. – 208 с.

19. Патент № 2534380 С1 Российская Федерация, МПК G01C 15/06 (2006.01). Масштабное устройство для измерения биометрических параметров древесных растений : № 2013129184/28 : заявл. 25.06.2013 : опубл. 27.11.2014 / Авдеева Е. В., Извеков А. А. ; заявитель СибГТУ. 6 с. : ил.

20. Патент № 2534381 С1 Российская Федерация, МПК G01C 15/06 (2006.01) Способ измерения биометрических параметров древесных растений : № 2013129185/28 : заявл. 25.06.2013 : опубл. 27.11.2014 / Авдеева Е. В., Извеков А. А. ; заявитель СибГТУ. 7 с. : ил.

REFERENCES

1. Kulagin Yu. Z. Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. Moskva : Nauka, 1974. 126 s.
2. Nikolaevskij V. S. Ekologo-fiziologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij. Moskva : MLTI, 1989. 65 s.
3. Nikolaevskij V. S. Ekologicheskaya ocenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnyh ekosistem metodami fitoindikacii : monografiya. Pushkino : VNIILM, 2002. 220 s.
4. Avdeeva E. V. Rost i indikatorsnaya rol' drevesnyh rastenij v urbanizirovannoj srede : monografiya; Krasnoyarsk : SibGTU, 2007. 392 s.
5. Runova E. M., Anoshkina L. V. Vozdejstvie antropogennyh faktorov na drevesno-kustarnikovuyu rastitel'nost' g. Bratska // Vestnik KrasGAU. 2009. № 9(36). S. 87–91.
6. Runova E. M., Anoshkina L. V. Formirovanie gazoustojchivogo assortimenta drevesnyh rastenij v usloviyah povyshennoj tekhnogennoj nagruzki // Vestnik KrasGAU. 2010. № 6(45). S. 76–81.
7. Avdeeva E. V., Chernikova K. V. Osobennosti formirovaniya sredy krupnogo promyshlennogo goroda (na primere g. Krasnoyarska) // Hvojnye boreal'noj zony. 2013. T. 31, № 1-2. S. 30–35.
8. Tyukavina O. N., Tyukavina A. P.; Biologicheskie osobennosti topolya v usloviyah g. Arhangel'ska : monografiya. Arhangel'sk : SAFU, 2018. 158 s.
9. Pavlov I. N. Drevesnye rasteniya v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya. Ulan-Ude : BNC SO RAN, 2006. 426 s.
10. Srodnyh, T. B., Medvedeva E. Yu. Perspektivnye vidy topolej dlya ozeleneniya gorodov Urala // Innovacii v landshaftnoj arhitekture : materialy VIII nauch.-prakt. konf. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2012. S. 57–59.

11. Garus I. A., Runova E. M., Orlova Yu. V. Ocenka sostoyaniya topolya bal'zamicheskogo (*Populus Balsamifera* L.) v zelenykh nasazhdeniyah Bratska // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 4. S. 103–109.
12. Runova E. M., Anoshkina L. V. Populus balsamifera v ozelenenii Bratska // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2014. № 4(24). S. 141–143.
13. GOST 28329–89. Ozelenenie gorodov. Obshchie terminy i opredeleniya = Urban planting. Terms and definitions : Gosudarstvennyj standart soyuza SSR : data vvedeniya 1991-01-01 / Razrabotan i vnesen Ministerstvom zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva RSFSR. sajt. URL: <https://dhttps://docs.cntd.ru/document/1200023332> (data obrashcheniya : 18.08.2024).
14. Chernikova, K. V., Avdeeva E. V. Scenarii rosta topolya bal'zamicheskogo v usloviyah gorodskoj sredy // Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki : materialy XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg : UGLTU, 2019. S. 321–324.
15. Avdeeva E. V. Chernikova K. V. Scenarii rosta topolya bal'zamicheskogo v usloviyah gorodskoj sredy // Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki : materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg : UGLTU, 2019. S. 321–324.
16. Chistyakova A. A., Zaugol'nova L. B., Poltinkina I. V. Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyanij lesnykh rastenij. Moskva : Prometej, 1989. 102 s.
17. Avdeeva E. V., Izvekov A. A. Ocenka tochnosti bezbazisnogo metoda opredeleniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij // Hvojnye boreal'noj zony. 2018. T. 36, № 2. S. 123–132.
18. Kuz'michev V. V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: principy i modeli. Novosibirsk : Nauka, 2013. 208 s.
19. Patent № 2534380 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01C 15/06 (2006.01). Masshtabnoe ustrojstvo dlya izmereniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij : № 2013129184/28 : zayavl. 25.06.2013 : opubl. 27.11.2014 / Avdeeva E. V., Izvekov A. A. ; zayavitel' SibGTU. 6 s. : il.
20. Patent № 2534381 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01C 15/06 (2006.01) Sposob izmereniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij : № 2013129185/28 : zayavl. 25.06.2013 : opubl. 27.11.2014 / Avdeeva E. V., Izvekov A. A. ; zayavitel' SibGTU. 7 s. : il.

© Авдеева Е. В., Цыганкова Н. В.,
Никончук А. В., 2025

Поступила в редакцию 08.10.2025
Принята к печати 02.12.2025