

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В СКВЕРАХ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Авдеева Е.В., Кухар И.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: Rahuk@mail.ru

Высокие темпы урбанизации сопровождаются значительным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду. Красноярск – промышленный город, и эта проблема является актуальной. Развитие сети городских скверов и парков улучшает качество городской среды. Состояние и развитие деревьев, произрастающих в скверах и парках города, тесно связано со многими техногенными факторами, и поэтому при изучении биометрических параметров древесных насаждений можно сделать вывод об экологическом состоянии городской среды при различных уровнях загрязнения. Распространению на городских объектах озеленения березы повислой и липы мелколистной способствуют их эстетические качества, нетребовательность к почвенным условиям, быстрота роста, зимостойкость, высокие средозащитные свойства. Анализ биометрических параметров данных видов был выполнен в возрастной динамике. Исследования позволяют связать изменчивость биометрических параметров роста березы повислой и липы мелколистной с текущим состоянием и изменением экологии в скверах и парках г. Красноярск и учитывать это при создании новых объектов озеленения. На основании анализа исследований при озеленении городских пространств следует высаживать березу повислую, при этом липа разнообразит видовой состав скверов и парков.

Ключевые слова: изменчивость, биометрические параметры, береза повислая, липа мелколистая

VARIABILITY OF BIOMETRIC PARAMETERS OF THE GROWTH OF HANGING BIRCH AND SMALL-LEAVED LINDEN IN THE SQUARES OF KRASNOYARSK

Avdeeva E.V., Kukhar I.V.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,
e-mail: Rahuk@mail.ru

The high rates of urbanisation of cities are accompanied by a significant increase in the anthropogenic load on the environment. Krasnoyarsk is an industrial city and this problem is urgent. The development of a network of urban squares and parks improves the quality of the urban environment. The state and development of trees growing in squares and parks of the city is closely related to many technogenic factors, and therefore, the study of the biometric parameters of tree plantations can draw a conclusion about the ecological state of the urban environment at various levels of pollution. The distribution of drooping birch and small-leaved linden in urban landscaping facilities is facilitated by their aesthetic qualities, undemanding to soil conditions, growth rate, winter hardiness, and high environmental protection properties. Analysis of the biometric parameters of these species was performed in the age dynamics. The studies allow us to link the variability of biometric growth parameters of drooping birch and small-leaved linden with the current state and changes in ecology in public gardens and parks of Krasnoyarsk and take this into account when creating new landscaping objects. Based on the analysis of studies, when landscaping urban spaces, a hanging birch should be planted, while the linden tree diversifies the species composition of squares and parks.

Keywords: variability, biometric parameters, *tilia cordata* Mill., *betula pendula* Roth.

Высокие темпы урбанизации сопровождаются значительным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду. Красноярск – промышленный город, и эта проблема является актуальной. Развитие сети городских скверов и парков улучшает качество городской среды. Зеленые насаждения города помимо эстетико-гигиенических выполняют стабилизирующие функции. Древесные растения способны выступать в качестве индикатора состояния городской среды и предупредить опасные изменения в окружающей среде, поэтому необходимо проводить исследования состояния зеленых насаждений, находить за-

кономерности и на основе результатов качественно управлять процессом озеленения городских территорий.

Распространению на городских объектах озеленения березы повислой и липы мелколистной способствуют их эстетические качества, нетребовательность к почвенным условиям, быстрота роста, высокие средозащитные свойства. На основании этого актуальным является установление особенностей их роста в различных условиях произрастания.

Были изучены работы Е.В. Авдеевой [1], Л.Н. Скрипальщичевой [2], Е.В. Лисотовой [3], А.Ю. Кулагина [4] и др., изучавших специфику роста древесных насаждений

в городских условиях с различной степенью антропогенного загрязнения.

Цель исследования заключается в установлении изменчивости показателей роста березы повислой и липы мелколистной в возрастной динамике в скверах г. Красноярска.

Материалы и методы исследования

Изучались биометрические параметры березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в скверах г. Красноярска, характеризующие их состояние в возрасте от 6 до 50 лет.

Исследуемые насаждения располагаются в насаждениях общего пользования (скверы и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска). Было отобрано 9 скверов: «Лесок», «Серебряный», «Космонавтов», «Сказочный», «Панюковский», «Энтузиастов», «Юбилейный», «Одесский», «им. В.И. Сурикова» и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска (Плодово-ягодная станция и питомник МП «УЗС»). На отобранных объектах озеленения Красноярска были обследованы порядка 2,5 тыс. деревьев в 2017–2022 гг.

На каждом объекте выполнена фотофиксация деревьев. Для работы использовался отечественный пакет программ «КОМПАС». Были проведены измерения биометрических параметров: высота дерева, высота до максимального диаметра кроны, высота до начала кроны, диаметр кроны. Учитывая различия условий произрастания деревьев в пределах участка, по результатам обмеров получили средние значения всех биометрических параметров.

Построение рядов роста деревьев в высоту проведено статистическим методом. Для построения оценочных шкал роста деревьев весь массив средних значений высот разделен на количество рядов роста в соответствии с результатами кластерного анализа.

Для описания взаимосвязи средних значений высот деревьев с возрастом в пределах рядов роста по высоте использовалась формула Мичерлиха [5, с. 38].

Диаметр древостоя является более изменчивым параметром, чем высота. Даже в насаждениях одного возраста и равной высоты, т.е. произрастающих в одинаковых условиях, диаметры деревьев могут колебаться в значительных пределах. Причиной большей изменчивости диаметров является то, что динамика роста по данному параметру зависит от значительно большего числа факторов, чем рост в высоту [5, с. 38].

При построении зависимостей роста по диаметру использовалась группировка насаждений по условиям местопроизрастания, полученная в ходе анализа данных по высоте.

Результаты исследования и их обсуждение

Древесные растения одного вида, развивающиеся под воздействием различных уровней техногенной нагрузки, по внешним признакам отличаются как между собой, так и с древесными насаждениями данных видов естественных лесных массивов. Исследования ряда авторов [6–8] показали, что рост насаждений зависит от условий произрастания. Рост как процесс не прерывается в течение жизни растений, но под влиянием внешних факторов изменяются его формы и скорость. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в скверах г. Красноярска, представлена на рис. 1–4.

Установить степень воздействия факторов городской среды позволяют исследования биометрических параметров древесных растений. Разница между средними значениями высот исследуемых видов в удовлетворительных и напряженных условиях произрастания, а также в конфликтных и критических начиная с возраста 25 лет не является достоверно значимой. На основании этой выборки для удовлетворительных и напряженных условий, а также конфликтных и критических объединены и построены обобщенные графики роста по высоте для березы и липы.

Рост по высоте достоверно описывается уравнением Мичерлиха. Коэффициенты уравнений и параметры оценки уравнений получены с использованием стандартных программ нелинейного регрессионного анализа в программе Statistica 13 и представлены в табл. 1, на рис. 5 и 6.

В лесостепной зоне г. Красноярска для березы преобладающим является II класс бонитета. В зоне темнохвойной и светлохвойной тайги наиболее распространенными являются древостои III класса бонитета. На основании данных бонитетной шкалы для семенных древостоев построены графики зависимости высоты насаждений от возраста для II и III классов бонитета. Из литературных источников [9, с. 120; 10, 11] получены данные о возрастных изменениях высот деревьев исследуемых пород в условиях среды городов Украины и Европейской части России.

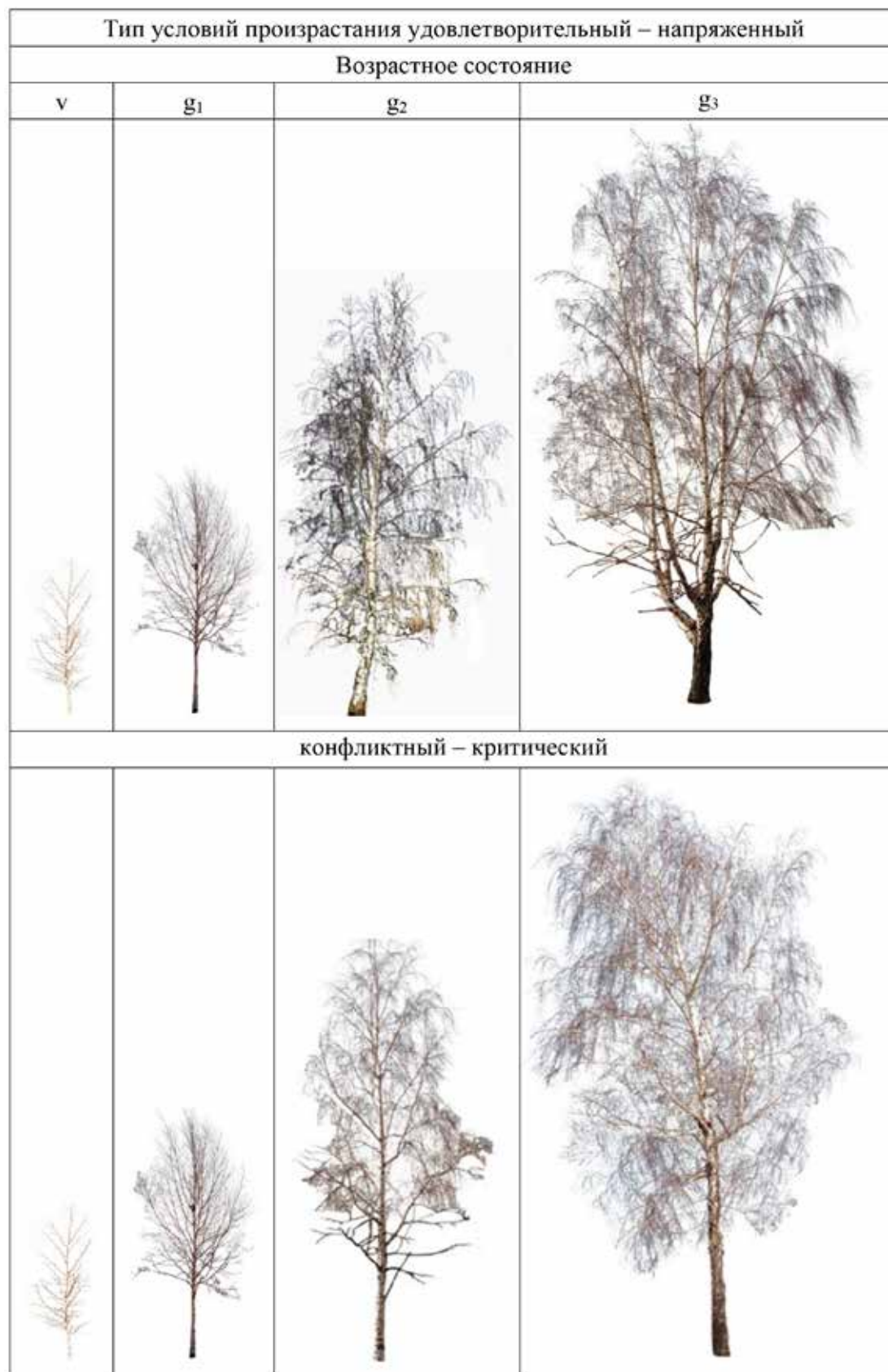


Рис. 1. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой в период покоя

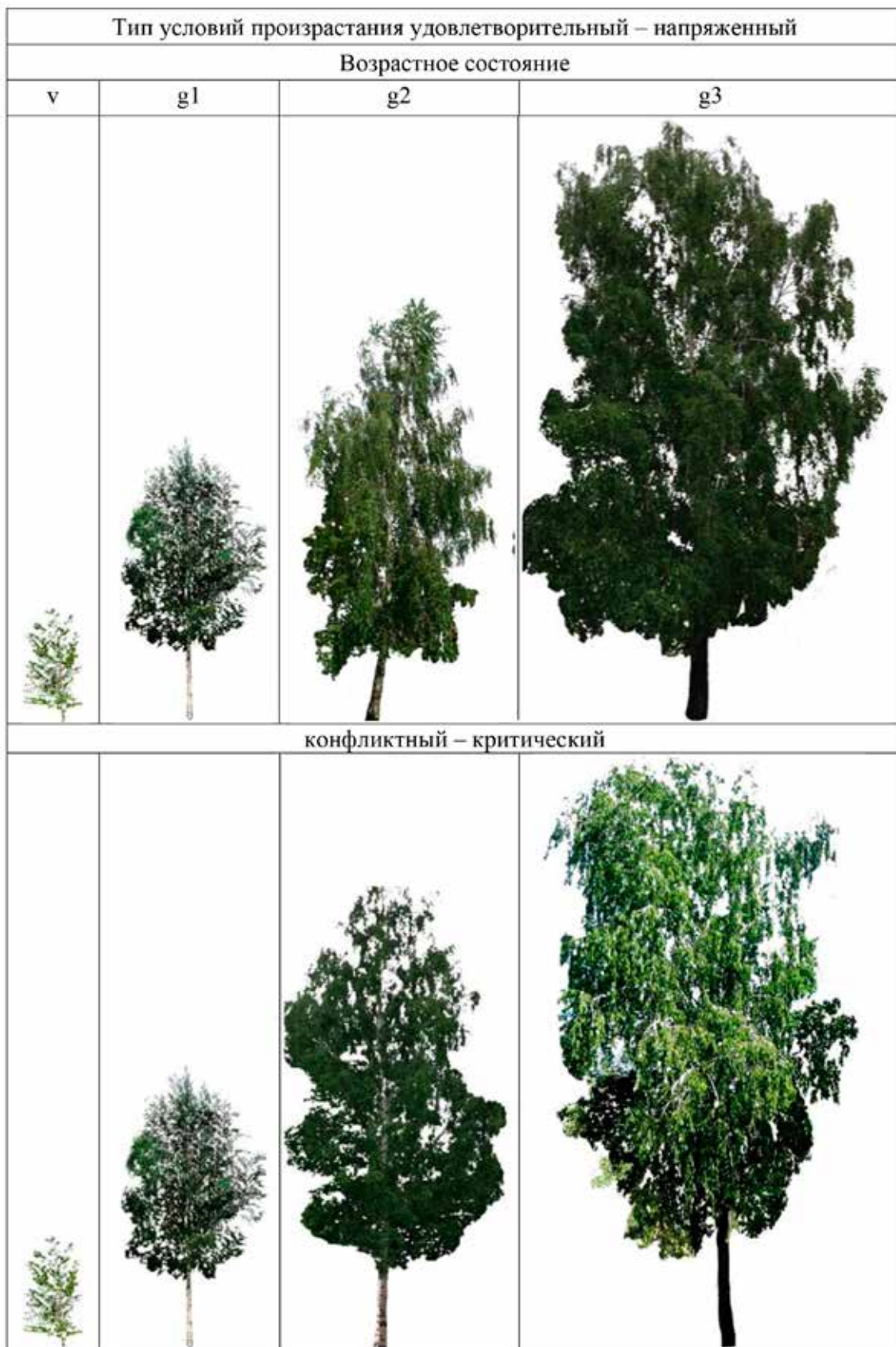


Рис. 2. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой в вегетационный период

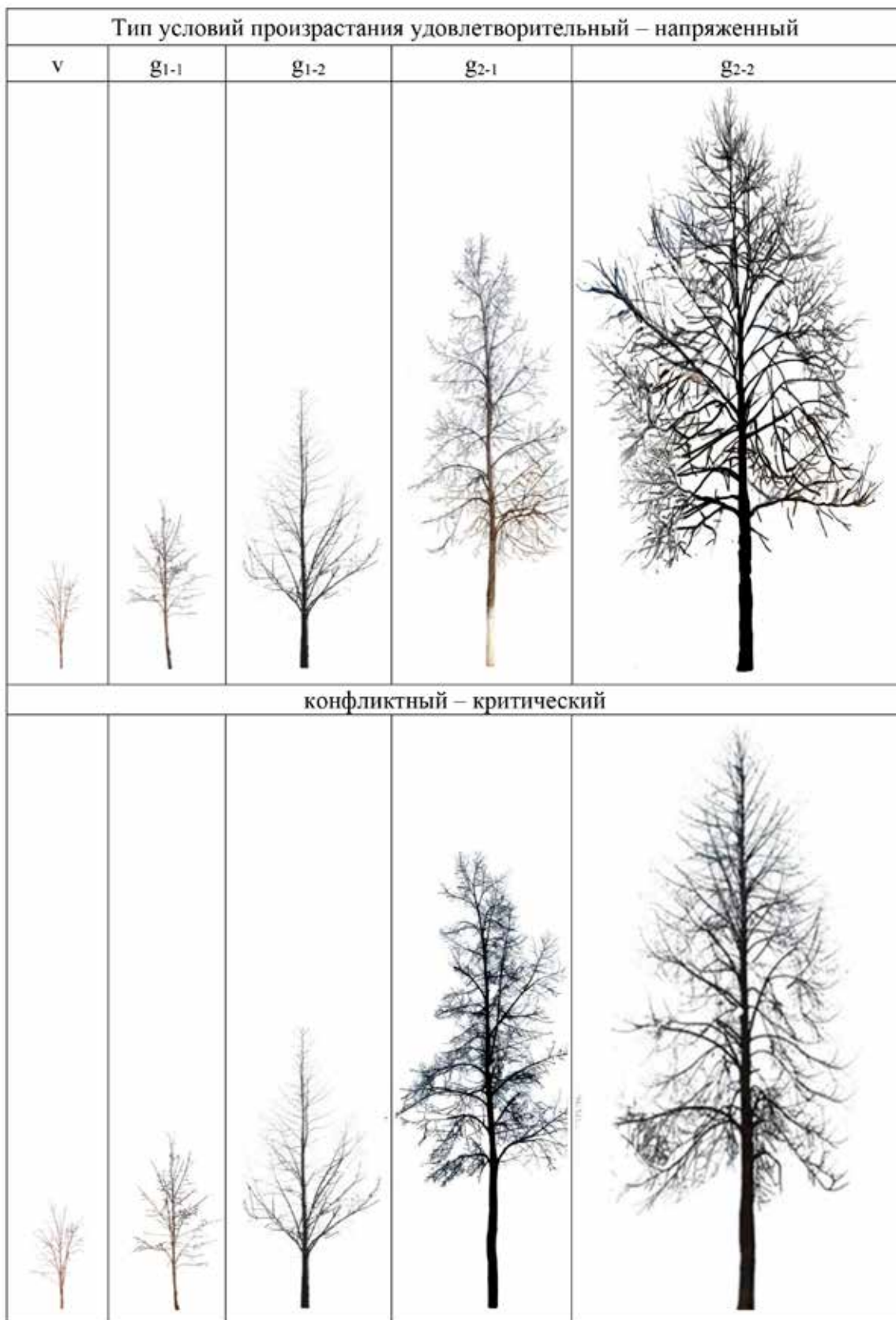


Рис. 3. Визуализация динамики возрастных состояний липы мелколистной в период покоя

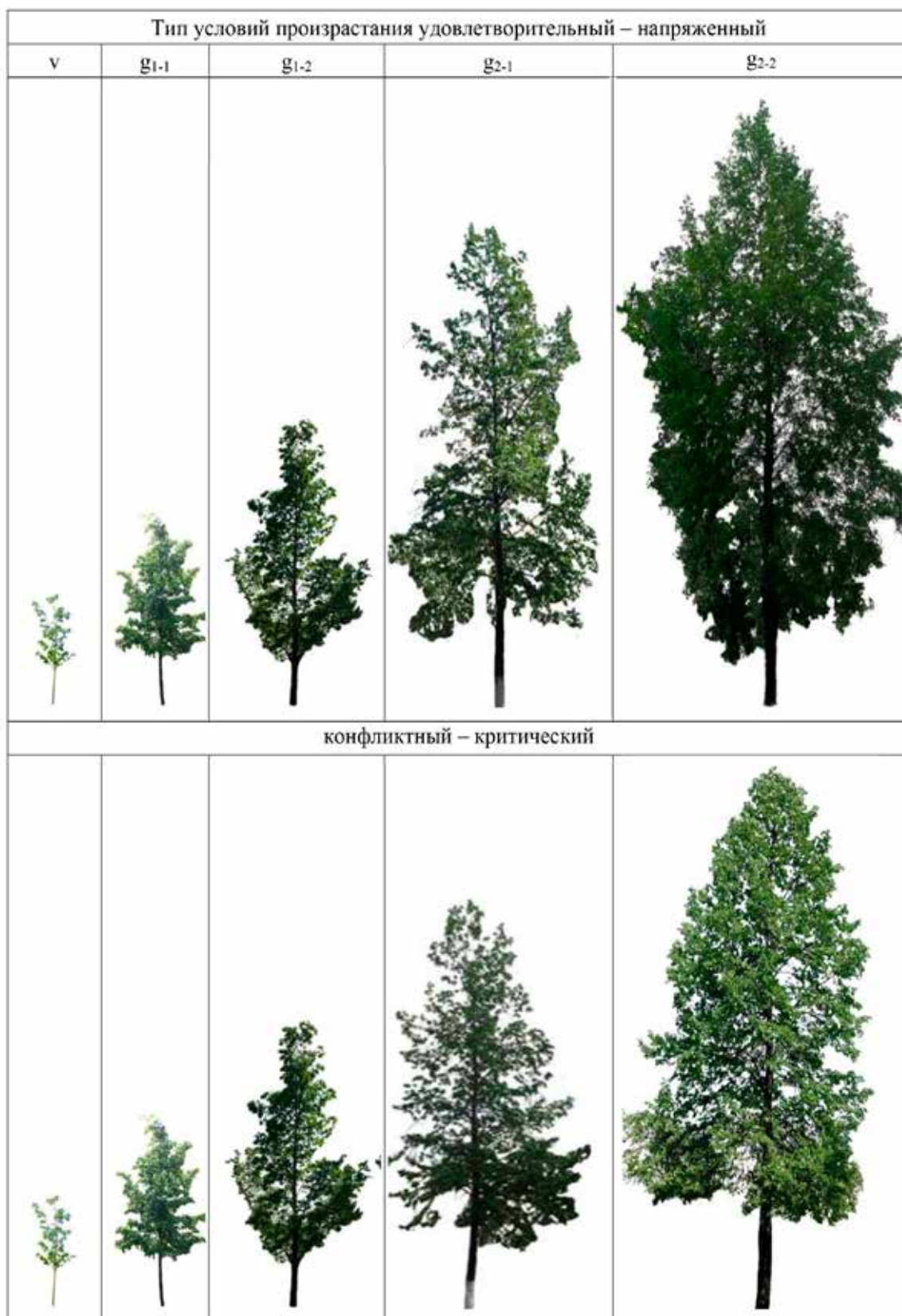


Рис. 4. Визуализация динамики возрастных состояний липы мелколистной в вегетационный период

Таблица 1

Коэффициенты уравнения и критерии их оценки

Тип условий произрастания	Береза повислая					Липа мелколистная				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	F	b_1	b_2	b_3	R_2	F
Удовлетворительный – напряженный	18,05	16,7	2,1	0,989	3416	13,92	21,39	1,8	0,993	6809
Конфликтный – критический	17,09	21,39	1,71	0,994	12922	11,07	15,6	2,81	0,982	5346

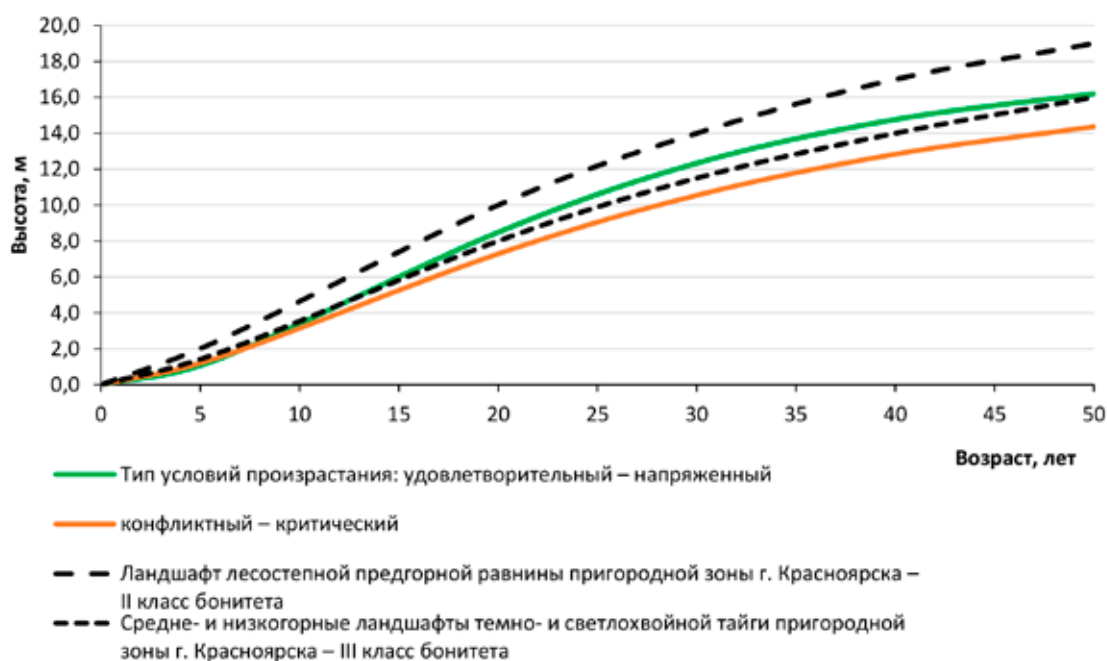
Примечание: R^2 – коэффициент детерминации, F – критерий Фишера.

Рис. 5. Рост березы повислой по высоте в скверах г. Красноярск

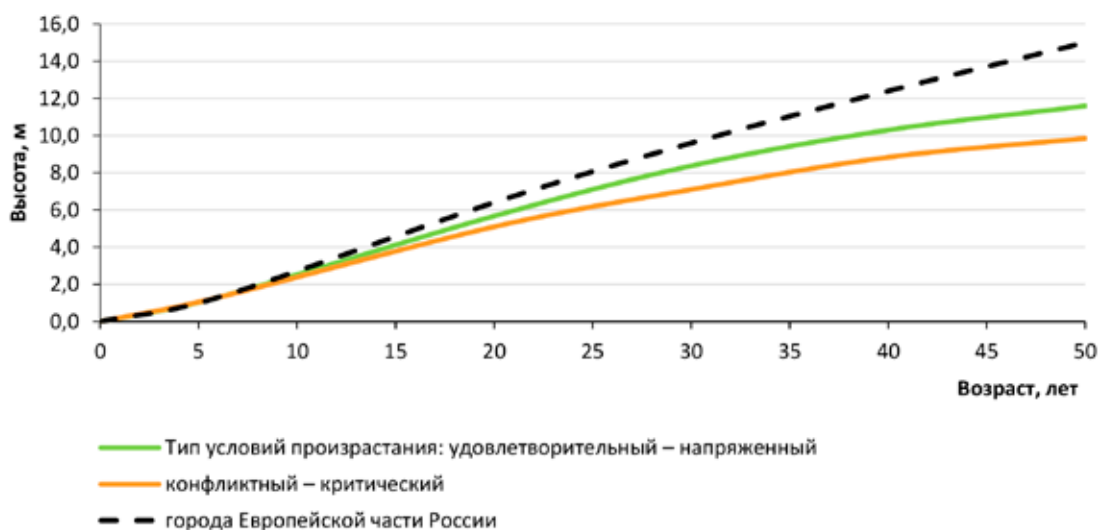


Рис. 6. Рост липы мелколистной по высоте в скверах г. Красноярск

Сравнительный анализ роста деревьев по высоте показал, что:

– до 25-летнего возраста условия произрастания не оказывают существенного влияния на морфологическое развитие обоих видов, в дальнейшем в темпах роста по высоте выделено два типа для каждого вида. Амплитуда изменения значений по высоте деревьев в возрасте 50 лет для березы составляет 1,84 м, для липы – 1,74 м. Интервал между кривыми роста составляет 11,3% для березы, 15,01% для липы, что отвечает требованиям суммарной точности группировки рядов по типам роста;

– рост по высоте березы в удовлетворительном – напряженном типах условий произрастания к 50-летнему возрасту превышает рост липы на 26%, в конфликтном – критическом – на 31%;

– наложение графиков зависимости высоты деревьев березы повислой от возраста показало, что высота посадок березы повислой, растущих в удовлетворительных – напряженных условиях города, к 50-летнему возрасту соответствует данному показателю у деревьев, растущих в естественных насаждениях III класса бонитета. У насаждений, растущих в конфликтных – критических условиях города, потери по высоте

к 50-летнему возрасту составляют до 10,2% относительно данного показателя естественных насаждений III класса бонитета;

– так как липа мелколистная является интродуцентом, сравнение показателей роста проведено с показателями ее роста в Европейской части России. В условиях урбанизированной среды г. Красноярска наблюдается отставание роста липы мелколистной по высоте до 22,7% в удовлетворительных – напряженных условиях произрастания и до 34,3% в конфликтных – критических условиях по сравнению ростом в городах Европейской части России.

Полученные результаты позволили составить ряды роста исследуемых видов в урбанизированной среде в зависимости от условий произрастания (табл. 2).

При построении графиков зависимостей роста по диаметру использовалась группировка насаждений исследуемых видов по условиям местопроизрастания, полученная в ходе анализа данных по высоте. Зависимости роста по диаметру березы повислой и липы мелколистной представлены на графиках (рис. 7). Коэффициенты и параметры уравнения роста по диаметру ствола для березы повислой и липы мелколистной представлены в табл. 3.

Таблица 2

Ряды роста исследуемых видов по типам условий произрастания

Возраст, лет	Тип условий произрастания			
	удовлетворительные – напряженные	конфликтные – критические	удовлетворительные – напряженные	конфликтные – критические
	Береза повислая		Липа мелколистная	
10	1,5–2,5 (саженцы ГОСТ 24909-81)			
20	6,0–10,5	5,5–9,5	4,0–7,0	3,0–5,5
30	10,6–13,5	9,6–11,9	7,1–9,4	5,6–8,0
40	13,6–15,5	12,0–13,5	9,5–11,0	8,1–9,5
50	15,6–16,9	13,6–14,9	11,1–12,5	9,6–10,5

Таблица 3

Коэффициенты уравнения и критерии их оценки

Тип условий произрастания	Береза повислая				Липа мелколистная			
	Коэффициенты уравнения		Критерии оценки		Коэффициенты уравнения		Критерии оценки	
	b_1	b_2	R^2	F	b_1	b_2	R_2	F
Удовлетворительный – напряженный	1,37	0,90	0,873	261	1,11	0,951	0,975	938
Конфликтный – критический	1,15	0,88	0,922	922	1,55	0,811	0,880	645

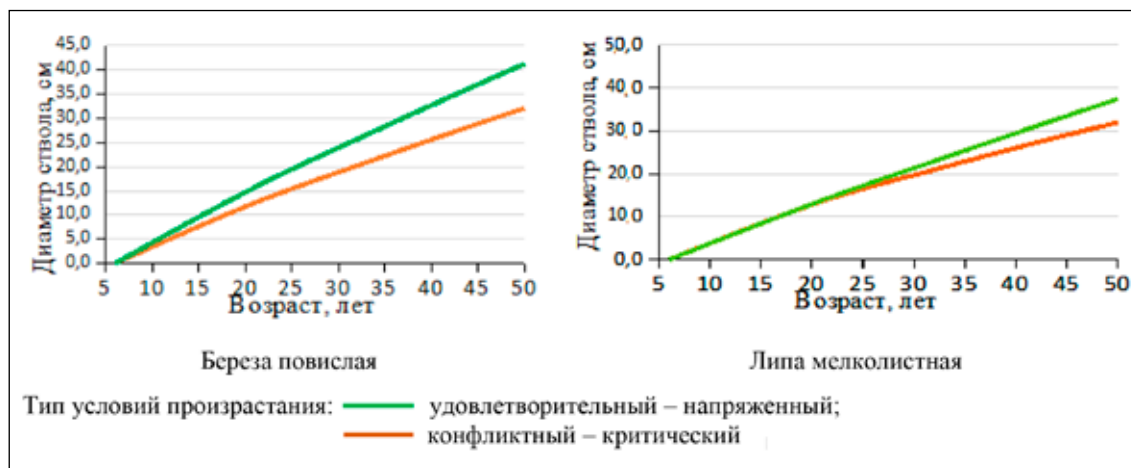


Рис. 7. Рост исследуемых видов по диаметру ствола

Анализ результатов исследований показал, что при увеличении техногенных нагрузок наблюдается снижение размеров исследуемых видов, а к 50-летнему возрасту снижение роста составит: для березы – 35%, липы – 19%, при этом существенных различий между исследуемыми видами по диаметру ствола деревьев, произрастающих в конфликтных – критических условиях, не проявляется.

Заключение

При озеленении г. Красноярска рекомендуется высаживать березу повислую, при этом липа мелколистная повысит биоразнообразие городских посадок. Анализ биометрических параметров березы повислой и липы мелколистной выполнен в возрастной динамике. Установлена взаимосвязь уровня качества среды и типов условий произрастания. Итоги исследований позволяют связать изменчивость биометрических параметров роста березы повислой и липы мелколистной с состоянием экологии в скверах г. Красноярска и учитывать это при создании новых объектов озеленения.

Список литературы

1. Авдеева Е.В. Зеленые насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города: на примере г. Красноярска: дис. ... докт. сельхоз. наук. Красноярск, 2008. 390 с.
2. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Стабильность развития листовой пластинки березы повислой в пригородах Красноярска // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды:

сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. В 2 ч. 2018. С. 1135–1138.

3. Lisotova E.V., Suntsova L.N., Inshakov E.M. Analysis of state of *betula pendula*, *padus maackii* and *malus baccata* tree in the main plantings of Krasnoyarsk city // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2020. Т. 23. С. 58–60.

4. Кулагин А.Ю., Николаева В.В. Фенологические наблюдения за липой мелколистной (*Tilia cordata* mill.) на территории г. Уфы // Биология. 2014. № 3. С. 150–153.

5. Кузьмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 1. С. 36–42.

6. Извеков А.А. Динамика таксационных показателей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и ели колочей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях урбанизированной среды г. Красноярска: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2021. 20 с.

7. Лебедев А.В. Динамика продуктивности и средообразующих свойств древостоев в условиях городской среды (на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии): автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2019. 20 с.

8. Панов А.И. Изменчивость сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских посадках: на примере г. Красноярска: дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2021. 224 с.

9. Глебова О.В., Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Сидоренко М.В., Юнина П.В. Природный комплекс большого города: Ландшафт.-экол. анализ / Рос. акад. наук. Ин-т экологии Волж. бассейна. М.: Маик Наука/Интерпериодика, 2000. 285 с.

10. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев европейской части России // Сибирский лесной журнал. 2020. № 5. С. 45–54. DOI: 10.15372/SJFS20200505.

11. Кухар И.В., Томышева В.Д. Мониторинг состояния городских объектов озеленения // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сборник статей международной научно-практической конференции. Красноярск, 2022. 404 с.