

На правах рукописи



ПАНОВ АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
В ГОРОДСКИХ ПОСАДКАХ (НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА)**

06.03.01 – Лесные культуры, селекция, семеноводство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Красноярск - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

Научный доктор сельскохозяйственных наук, доцент
руководитель: **Авдеева Елена Владимировна**

Официальные **Бабич Николай Алексеевич,**
оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор; ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов

Кузьмина Нина Алексеевна,
кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, старший научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции отдела лесоводства

Ведущая **ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный**
организация: **университет»**

Защита состоится 17 декабря 2021 г. в 10⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.249.06 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, зал заседаний диссертационного совета, ауд. Гл-316

E-mail: mrepyah@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» и на официальном сайте <http://sibsau.ru>

Автореферат разослан: 15 октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. с.-х. наук, доцент



Репях Марина Вадимовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развития урбанизированных территорий особую актуальность приобретает максимально полное использование полезных функций зелёных насаждений, составляющих основу экологического каркаса городов. Распространению сосны обыкновенной в насаждениях городов способствуют ее декоративные качества, нетребовательность к эдафическим условиям, быстрота роста, зимостойкость, высокие средозащитные свойства. При этом состояние сосны обыкновенной в городских посадках оценивается от «здоровых» до «отмирающих», воздействие антропогенных факторов ведет к деградации насаждений, раннему биологическому старению, преждевременной гибели. При этом отсутствуют региональные нормативные материалы по возрастной динамике биометрических показателей сосны обыкновенной, произрастающей в условиях урбанизированной среды г. Красноярска. На основании этого актуальным является установление особенностей роста сосны обыкновенной в городских посадках с различным сочетанием антропогенных нагрузок, разработка мероприятия, повышающих устойчивость, биоразнообразие, декоративность насаждений с участием сосны обыкновенной.

Степень разработанности темы. Вопросы создания зеленых насаждений в городах Сибири со сложным сочетанием природно-климатических условий и техногенных нагрузок изложены в работах Е.В. Авдеевой, Агаповой А.М., Л.И. Аткиной, А.Г. Большакова, Т.Н. Встовской, З.Я. Ивановой, С.И. Конашовой, И.Ю. Коропачинским, Г.В. Крыловым, Р.И. Лоскутовым, З.И. Лучник, Е.В. Потаповой, Е.Н. Протопоповой, В.Л. Ружже, Е.М. Руновой, Т.Б. Сродных, Б.Ю. Хромовым и других авторов. Несмотря на обширный объем информации, связанной с оценкой роли зеленых насаждений в урбанизированной среде, остаются малоизученными вопросы специфики роста сосны обыкновенной в возрастной динамике, ее приживаемости на объектах озеленения, формирования ландшафтных посадок с участием сосны обыкновенной в городских насаждениях с различным уровнем антропогенного воздействия.

Цель работы заключается в установлении изменчивости показателей роста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в возрастной динамике, ее приживаемости на объектах озеленения, обосновании формирования ландшафтных посадок в городских насаждениях с различным уровнем антропогенного воздействия.

Задачи исследований

1. Изучить изменчивость показателей роста сосны обыкновенной в городских посадках с различным уровнем антропогенного воздействия, разработать математические модели динамики биометрических показателей.

2. Оценить изменчивость ассимиляционного аппарата и рост боковых ветвей сосны обыкновенной в период приживаемости в городских посадках.

3. Разработать научно обоснованные рекомендации по формированию искусственных насаждений с участием сосны обыкновенной с целью повышения устойчивости, долговечности и биоразнообразия на городских объектах озеленения с учетом техногенных нагрузок, экологических и эстетических свойств растений.

Научная новизна. Впервые для городских насаждений (на примере г. Красноярск) с различным уровнем антропогенного воздействия установлены особенности роста и реакции сосны обыкновенной в возрастной динамике, разработаны математические модели динамики биометрических показателей сосны обыкновенной в диапазоне от 8 до 50 лет. Установлена взаимосвязь возраста хвои и класса повреждения с качеством воздушной среды, что позволяет использовать сосну обыкновенную как вид-индикатор для оценки аэротехногенного загрязнения городов. Выявлена специфика приживаемости сосны обыкновенной на объектах озеленения по состоянию ассимиляционного аппарата и приросту боковых ветвей. Данные о динамике прироста позволяют прогнозировать сроки адаптации сосны обыкновенной на объектах городского озеленения, оценить динамику их восстановления (ослабления), разработать мероприятия по уходу, созданию насаждений по структуре и видовому составу адекватные условиям среды.

Теоретическая и практическая значимость работы. Выявлены закономерности изменчивости показателей роста сосны обыкновенной в условиях урбанизированной среды г. Красноярск, установлены видовые особенности, которые проявляются в изменении биометрических параметров ствола, кроны, ассимиляционного аппарата. Разработаны научно обоснованные рекомендации (пространственные, фитоценотические, агротехнические) по повышению приживаемости сосны обыкновенной на городских объектах озеленения, повышению санитарно-гигиенического и декоративного эффекта насаждений с участием сосны обыкновенной. По экологической совместимости, адаптации к условиям городской среды и степени устойчивости к вредителям и болезням обоснован основной и дополнительный видовой состав растений для создания смешанных, многоярусных посадок на городских объектах озеленения с участием сосны обыкновенной как доминантного вида в насаждениях.

Методы исследования базировались на общепринятых и авторских методиках. В основу исследований положен комплексный подход, математическая обработка данных выполнялась с использованием стандартных пакетов прикладных программ MS Office Excel, «Statistica 10.0», «КОМПАС-3D V 19». Для сбора данных, обработки фотоснимков, проведения статистических расчетов применен ряд специализированных программ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Изменчивость показателей роста сосны обыкновенной под воздействием факторов городской среды имеют видовые особенности, которые проявляются в изменении биометрических параметров и жизненном состоянии растений.

2. Характер и степень приживаемости сосны обыкновенной в городских посадках зависит от интенсивности антропогенных факторов и отражается на росте боковых ветвей и состоянии ассимиляционного аппарата.

3. Наиболее устойчивыми к воздействию негативных факторов городской среды, эстетичными и долговечными насаждениями являются смешанные многоярусные посадки хвойных и лиственных растений, совместимые по экологическим свойствам, объемно-пространственная структура которых адекватна условиям среды.

Достоверность результатов диссертационной работы. Степень достоверности полученных результатов обусловлена многолетними (2013 – 2021 гг.) исследованиями, необходимым и достаточным объемом экспериментального материала, использованием современных средств статистического анализа и программного обеспечения. Основные положения и результаты диссертационных исследований апробированы на конференциях различного уровня: Международный научно-практический форум «Проблемы озеленения крупных городов» (Москва 2018, 2019); Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon» (Владивосток, 2019, 2020); Международная научно-техническая конференция «Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики» (Екатеринбург, 2019); Всероссийская научно-практическая конференции «Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства (Красноярск, 2013 – 2020).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных статей, в том числе 5 в рецензируемых журналах (по списку ВАК), 2 в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений. Текстовая часть содержит 18 таблиц, 57 рисунков. Список использованных источников включает 230 наименований. Работа изложена на 181 странице, содержит 3 приложения на 47 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

По литературным данным представлена информация об экологических свойствах, декоративных качествах, ареале распространения сосны обыкновенной (Правдин, 1964 и др.), проведен анализ исследований динамики роста и развития в естественных условиях произрастания и влияния условий урбанизированной среды на зеленые насаждения городов (Колесников, 1974; Лунц, 1974; Машинский, 1973, 1978, 1991; Теодоронский, 1985 – 2015; Полякова, 2004; Николаевский 2001; Якубов 1995 – 2019; Авдеева, 2007 – 2019; Сомов, 2012 - 2019; Горохов, 2012; Аткина, 1998 – 2020 и др.), представлены параметры сосны обыкновенной для г. Красноярска (Лоскутов,

1987, 1993; Коропачинский, 1987, 2014), рассмотрены исторические предпосылки создания насаждений с участием сосны обыкновенной на объектах озеленения г. Красноярска и современное развитие озеленения города. Анализ исследований показал, что региональные данные по возрастной динамике биометрических параметров сосны обыкновенной, произрастающей в условиях урбанизированной среды г. Красноярска, отсутствуют. В исследованиях аэротехногенного влияния на рост сосны установлено угнетение ростовых процессов деревьев, ухудшение жизненного состояния как отдельных растений, так и их сообществ (Антанайтис, 1981; Аугустайтис, 1984, 1989; Барткявичюс, 1990; Ловелиус, Ярмишко, 1990, 1997; Цветков, 1991; Yarmishko, 1985, 1993; Зарубина, 2012; Чжан, 2014; Капелькина, 2016; Лебедев, 2019 и др.). В городских условиях деградация сосновых насаждений носит аналогичный характер, но распределение угнетенных растений по территории города носит мозаичный характер, при этом данные вопросы являются малоизученными.

2 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Программой исследования предусматривалось: анализ природно-климатических условий и техногенных воздействий урбанизированной среды г. Красноярска; рекогносцировочное обследование территорий с целью обоснования проведения исследований; исследование состояния, особенностей роста сосны обыкновенной в городских посадках с различным уровнем техногенного загрязнения, разработка математических моделей динамики биометрических показателей; изучение изменчивости и степени адаптации сосны обыкновенной на объектах озеленения по состоянию ассимиляционного аппарата и роста боковых ветвей в период приживаемости; разработка научно обоснованных рекомендаций формирования насаждений с участием сосны обыкновенной как доминантного вида с целью повышения устойчивости, долговечности и биоразнообразия в городских посадках озеленения с учетом техногенных нагрузок, экологических и эстетических свойств растений.

Объектами исследования являются деревья сосны обыкновенной, произрастающие в насаждениях города Красноярска с различным уровнем антропогенного воздействия. В качестве экспериментальной основы исследований использовались биометрические параметры деревьев, характеризующие их состояние в возрасте от 8 до 50 лет. Оценка возрастного состояния проводилась либо методом подсчета количества мутовок на растении +3 либо по биологическим признакам. Исследуемые насаждения принадлежат к различным категориям озеленения: общего пользования (скверы, парки, набережные и площади), специального назначения (улицы и магистрали).

На каждом объекте выполнена фотофиксация деревьев с масштабным устройством; в программе «КОМПАС-3D V 19» проведены измерения биометрических параметров: высота дерева, высота до максимального диаметра

кроны, высота до начала кроны, диаметр кроны; обработано более 1000 цифровых фотографий. Дальнейшая обработка данных проводилась в программе «Биометрия урбофитоценозов», разработанной на базе Excel (Авдеева, Надемянов, Черникова, 2015), в которой по общепринятым формулам рассчитывались 17 биометрических и ряд качественных параметров, характеризующих состояние сосны обыкновенной. Для каждой выборки рассчитывались статистические показатели (Мамаев, 1972). Классификация объектов озеленения по условиям произрастания проведена по «Методике интегральной оценки состояния фитосреды на локальном уровне», в основу которой положены показатели и критерии ландшафтной и градостроительной экологии, позволяющих оценить состояние мест произрастания растений в конкретных условиях городской среды. Диаграммы интегральной оценки позволяют оценить вклад каждой группы факторов (ландшафтные, техногенные, автотранспортные, градостроительные, рекреационные), влияющих на условия произрастания растений, сгруппировать объекты исследования по уровню воздействия урбанизированной среды. Оценка жизненного состояния проводилась по методике А.А. Алексеева (1990). Для описания взаимосвязи средних значений высот деревьев с возрастом в пределах рядов роста по высоте использовалась формула Мичерлиха, обработка данных введена в программу «Statistica 10.0».

3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Крайне неблагоприятными для города Красноярска являются сочетания природных и антропогенных факторов таких как экстремальность климата, котлованность горного рельефа, образование приземных инверсий и штилевых погодных условий с размещением промышленных предприятий, выше по рельефу относительно селитебных территорий, что приводит к нарушению санитарно-гигиенических условий и снижению эстетических качеств природного ландшафта, деградации и преждевременной гибели растительности (Крушлинский, 1986; Николаевский, 2002; Якубов, 2005; Авдеева, 2007; Мокинец, 2012). Все это диктует необходимость проведения работ с целью повышения качества среды, в том числе за счет рациональной организации системы озеленения.

4 РОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. КРАСНОЯРСКА

4.1 Классификация объектов озеленения по условиям произрастания растений

Оценка объектов озеленения проводилась на основе анализа техногенных, рекреационных, автотранспортных и градостроительных нагрузок. Полученные данные позволили классифицировать территории г. Красноярска на четыре типа условий произрастания растений: I – *удовлетворительный* – территории со значениями загрязняющих веществ близких к ПДК, на которых отсутствуют

значительные источники нарушения природной среды; II – *напряженный* – умеренное загрязнение атмосферного воздуха, отдельные негативные техногенные процессы и явления, нарушены технологические приемы по уходу за зелеными насаждениями, превышены нормы рекреационной нагрузки на объекты озеленения; III – *конфликтный* – вблизи промышленных предприятий, вдоль автомагистралей с интенсивным движением транспорта, на данных территориях отмечается загрязнение атмосферы, почв, рекреационное, вибрационное и другие виды воздействий, значительно увеличены урботехногенные нагрузки; IV – *критический* – с наибольшими объемами и концентрациями загрязняющих веществ от промышленных предприятий и автотранспорта, оказывающие негативное влияние на здоровье населения, рост и развитие древесных растений. Полученные данные показали сложность условий произрастания сосны в городских посадках и позволили объединить насаждения в обобщенные группы по сходству влияния факторов среды: в удовлетворительных условиях произрастает 9,6 % обследованных насаждений; напряженных – 27,3; конфликтных – 22,7 и критических – 40,4 %.

4.2 Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в городских посадках с различным уровнем техногенного загрязнения

Анализ состояния сосны обыкновенной показал, что в целом по городу индекс жизненного состояния варьирует от 100 до 15, закономерно снижаясь с повышением антропогенных нагрузок и возрастом (рисунок 1).

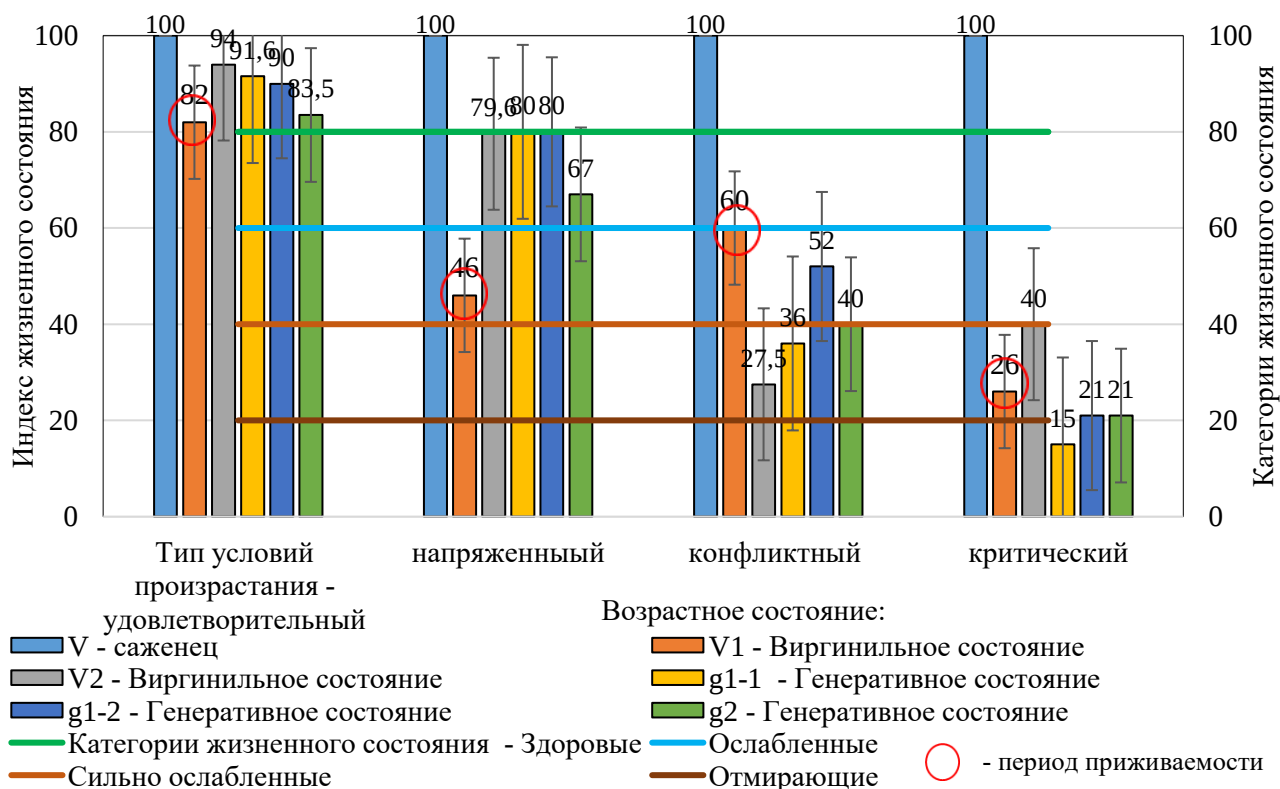


Рисунок 1 – Индекс жизненного состояния сосны обыкновенной в различных условиях произрастания в городских посадках Красноярск

Результаты исследований показали, что в городской среде, в зависимости от сложившихся условий, сосна обыкновенная одинакового календарного возраста имеет различный внешний облик, отражающий жизненное состояние растений. Оценка которого показала, что условия произрастания, характеризующиеся как удовлетворительные, относятся к достаточно благоприятным для ее выращивания на данных объектах озеленения г. Красноярска, индекс жизненного состояния находится в пределах от 100 до 80, состояние растений оценивается как «здоровые»; наиболее экстремальные ситуации наблюдаются в критическом типе условий произрастания, состояние растений оценивается от «сильно поврежденные» до «отмирающих» – увеличение техногенных нагрузок ускоряет процессы деградации деревьев, приводит к преждевременной гибели растений. Во всех посадках, прослеживается период адаптации растений к новым условиям, что проявляется в снижении индекса жизненного состояния деревьев от 18 до 75 в зависимости от экологической напряженности условий произрастания. Полученные результаты положены в основу дальнейших исследований.

4.3 Изменчивость показателей роста сосны обыкновенной в посадках города Красноярска

Рост сосны обыкновенной по высоте в условиях урбанизированной среды достоверно описывается уравнением Мичерлиха, методом дисперсионного анализа установлена достоверность различий кривых роста, коэффициент детерминации (R^2) для всех зависимостей изменяется от 0,95 до 0,98 (рисунок 2).

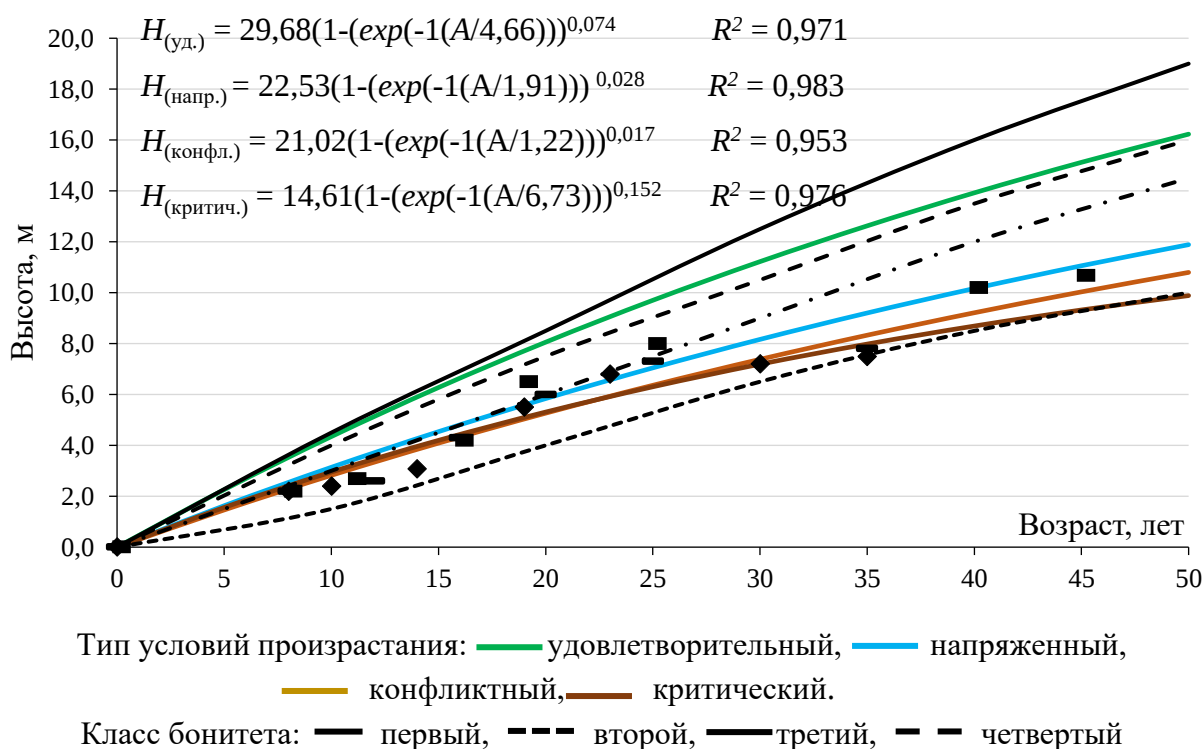


Рисунок 2 – Рост сосны обыкновенной по высоте в городских посадках г. Красноярска с различным уровнем антропогенной нагрузкой
Разница средних значений высоты деревьев, произрастающих в

удовлетворительных и напряженных типах условий произрастания в возрасте 50 лет составляет 4,3 м ($t_{расч.} = 6,8 > t_{крит.} = 2,16$), между напряженным и конфликтным – 1,1 м ($t_{расч.} = 8,7$), между конфликтным и критическим 0,46 м и не является достоверно значимой ($t_{расч.} = 2,02$). Таким образом, сосна обыкновенная является достаточно чувствительным видом и уже в конфликтных условиях произрастания проявляется значительное снижение роста по высоте.

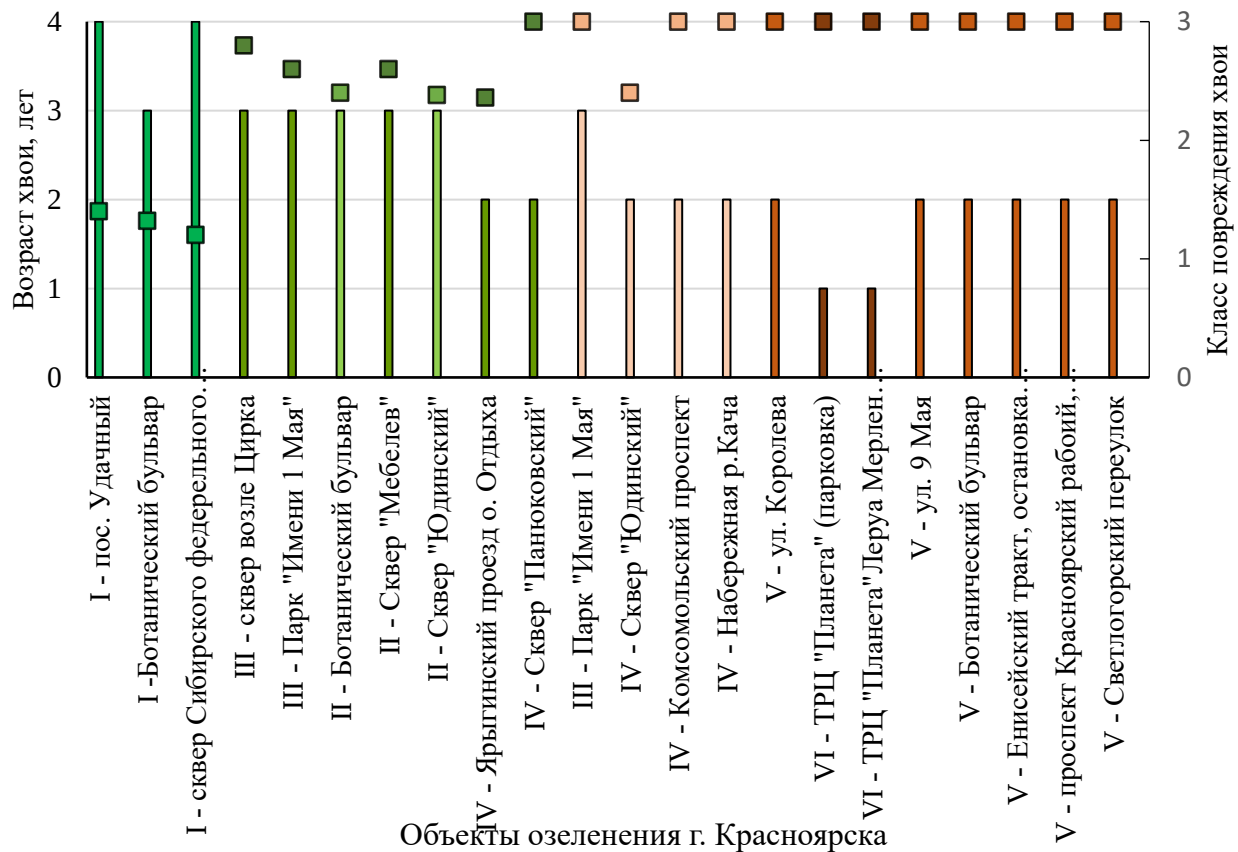
Сравнительный анализ взаимосвязи высоты деревьев от возраста, произрастающих в естественных и городских условиях, показал, что высота сосны, растущей в городских посадках в удовлетворительных условиях в 50-летнем возрасте соответствует росту сосны II класса бонитета, в критических – IV. Таким образом, при увеличении степени негативных факторов урбосреды к 50-летнему возрасту снижение высоты составляет: в напряженных условиях - 26,7 %, в конфликтных – 33,5 %, в критических – 36 % по сравнению с ростом по высоте в удовлетворительных условиях, и соответственно, относительно данного показателя естественных насаждений II класса бонитета, преобладающего в зеленой зоне города. Анализ соответствия высоты и возраста деревьев сосны обыкновенной позволяет определить плотность техногенных факторов и, следовательно, прогнозировать характер роста насаждений на данной территории. Характер динамики по диаметру ствола согласуется с ходом роста деревьев по высоте.

4.4 Изменчивость ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в различных условиях произрастания

В ходе исследований установлено, что с возрастанием антропогенных нагрузок снижается возраст хвои, в удовлетворительных условиях средний возраст составляет 4 года, при этом 70 % экземпляров исследуемой хвои не имеет повреждений; в критических – возраст хвои снижается до 1 – 2 лет, все исследуемые образцы имеют признаки хлороза и некроза, установлены классы повреждения: первый класс – 13, второй – 18, третий – 68 % (рисунок 3), растения угнетены, в посадках отмечаются места на которых отсутствуют растения, встречаются более молодые экземпляры (проведена замена ранее погибших растений).

В результате математической обработки получены статистические значения показателей, отражающие значительную изменчивость длины хвои: разброс средних значений по совокупной выборке составляет 7,4 см, среднее максимальное значение – 10,2 см (абсолютное – 10,8 см), минимальное – 2,8 см, коэффициент вариации – 42,2 %. В пределах одного типа условий произрастания наибольший разброс значений наблюдается в напряженном ($V=28,2$ %). При этом в напряженных и конфликтных условиях отмечается увеличение длины хвои по сравнению с длиной хвои растений в удовлетворительных условиях, в критических – наблюдается уменьшение размеров длины хвои и снижение изменчивости признака (рисунок 4), что отражает подавление механизмов роста и развития растений. Изменчивость ширины хвои согласуется с

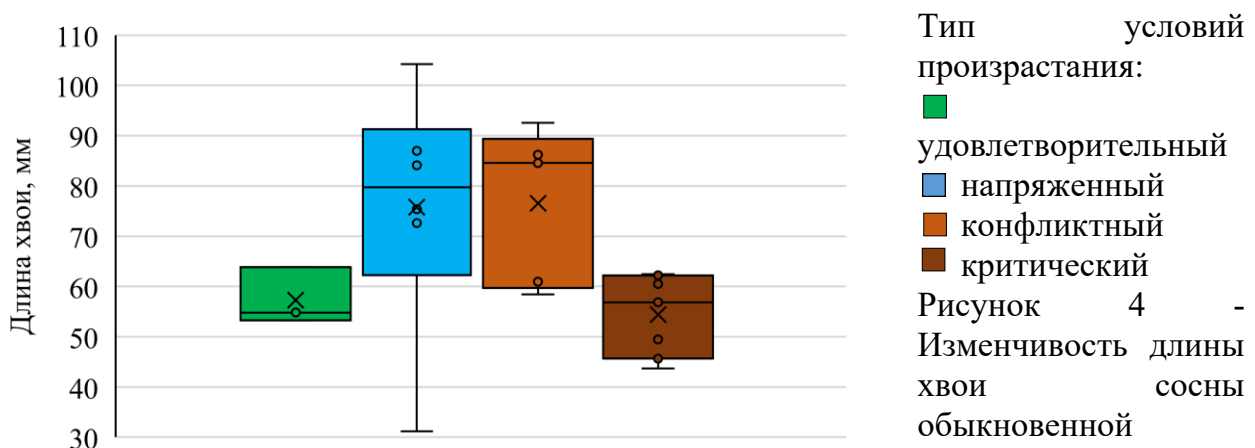
данными по ее длине.



Качество воздушной среды: I, II - воздух "чистый",
III - "относительно чистый", IV - "загрязненный",
V - "грязный", IV - "очень грязный"

Класс повреждения хвои: ■ - 1, ■ - 2, ■ - 3

Рисунок 3 - Взаимосвязь возраста хвои и класса повреждения хвои сосны обыкновенной с качеством воздушной среды на объектах озеленения г. Красноярска



Тип условий произрастания:
■ удовлетворительный
■ напряженный
■ конфликтный
■ критический
Рисунок 4 - Изменчивость длины хвои сосны обыкновенной

Анализ полученных результатов позволил установить взаимосвязь возраста хвои и класса ее повреждения с качеством воздушной среды: степень загрязнения атмосферного воздуха на исследуемых объектах городского озеленения изменяется от «чистого» на трех объектах на объектах озеленения, условия произрастания которых классифицируются как удовлетворительные до «грязного» и «очень грязного» на

восьми объектах в критических условиях. Таким образом, сосна обыкновенная достаточно чувствительно реагирует на изменения среды и может быть рекомендована в качестве вида-индикатора для оценки экологического состояния городов.

4.5 Изменчивость прироста боковых ветвей сосны обыкновенной в городских посадках

Для проведения исследований приживаемости сосны обыкновенной в городских посадках были отобраны деревья в возрасте от 14 до 20 лет, высаженные на объекты озеленения с различным уровнем техногенного загрязнения, саженцы которых выращены в питомнике с. Сухобузимское в 60 км от г. Красноярска. Модельные ветви срезаны с южной стороны средней части кроны на высоте 1,2 м, одинаково направленные во внешнюю сторону насаждения. Возраст боковых ветвей от 7 до 11 лет. Контрольными объектам выступали саженцы сосны, произрастающие в том же питомнике. Анализ прироста осевого побега боковых ветвей показал резкое снижение прироста в первый год после пересадки саженцев на объекты озеленения. Максимальная величина снижения прироста относительно прироста предыдущего года составила: в удовлетворительных условиях 46,7 %, в напряженных – 54,8, конфликтных – 55,0 и критических до 85,5 % (рисунок 5).

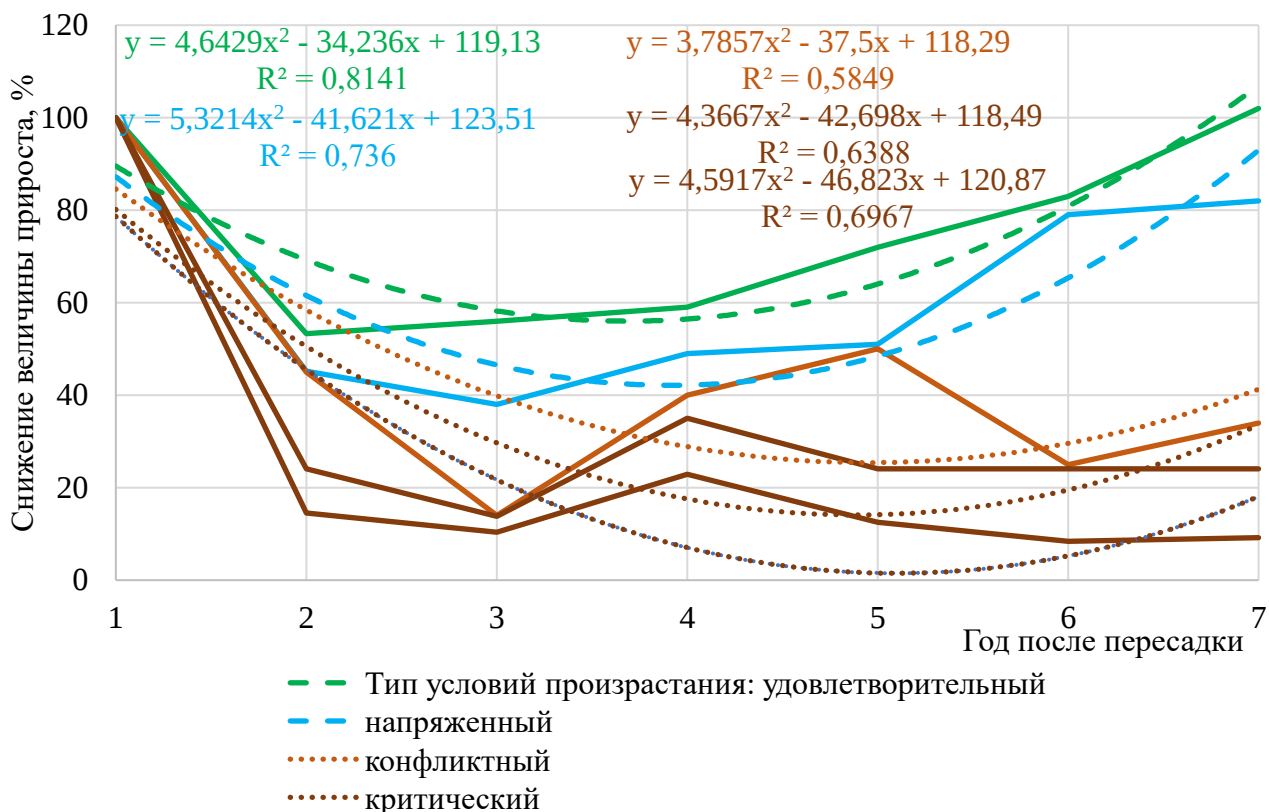


Рисунок 5 - Динамика прироста осевого побега боковой ветви в период приживаемости сосны обыкновенной в городских посадках

На второй год в трех типах условий произрастания (напряженном, конфликтном и критическом) также отмечено снижение прироста от 7 до 27 %. В

удовлетворительных условиях наблюдалось незначительное увеличение прироста (3,3 %). В критических условиях величина прироста на третий год увеличилась, но в дальнейшем наблюдалось снижение темпов прироста и к пятому году величина снижения составляла от 75 до 90 % относительно прироста до пересадки. Величина снижения прироста описывается уравнением второго порядка, в котором отражается снижение прироста после пересадки и его увеличение в последующие годы (рисунок 5). Данные о динамике прироста сосны обыкновенной, произрастающей в условиях с различным уровнем антропогенной нагрузки, позволяют прогнозировать сроки приживаемости и сохранность растений в городских посадках, разрабатывать мероприятия по уходу за ними.

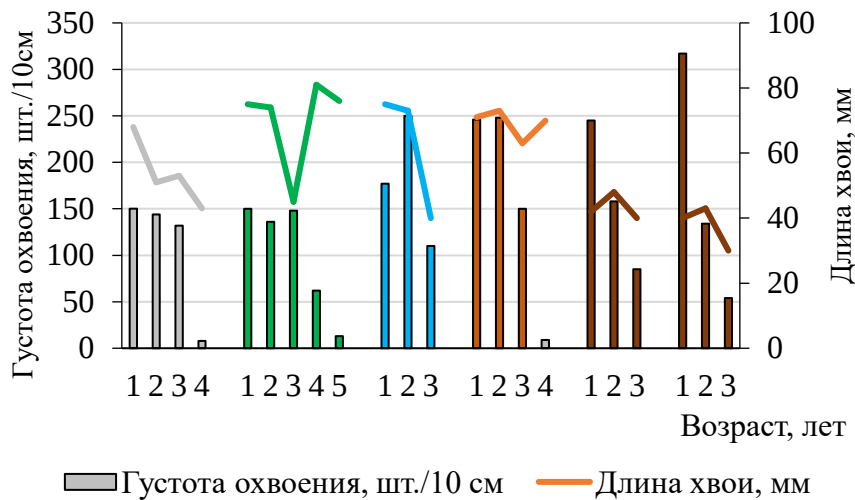
4.6 Анализ ассимиляционного аппарата осевого побега боковой ветви сосны обыкновенной

Анализ морфометрических параметров ассимиляционного аппарата осевых побегов исследуемых ветвей выявил: максимальный возраст хвои – 5 лет, минимальный – 1 год; максимальный прирост осевого побега боковой ветви дерева, произрастающего в удовлетворительных условиях, превышает аналогичный показатель в критических в 9 раз; наибольшая изменчивость признака – в конфликтных условиях ($V=70\%$). Установлено, что с увеличением техногенных нагрузок увеличивается охвоенность побегов, в критических условиях в 2,1 раза выше, чем у растений, растущих в удовлетворительных. Несмотря на повышение охвоенности при увеличении антропогенных нагрузок суммарная длина хвои снижается в 11 раз за счет уменьшения длины побега, длины хвои и ее низкой сохранности на приростах второго года и практически отсутствия на побегах третьего года.

В динамике длины хвои отмечено синхронное снижение ее длины в возрасте трех лет (2015 год) на всех исследуемых объектах: в удовлетворительных условиях на 39,5 %, напряженных – 45 %, конфликтных – 30,1 %, критических – 25 % (растения имеют сильную степень угнетения, их реакции на погодные колебания снижены) (рисунок 6). Анализ погодных условий показал, что в мае и начале июня 2015 года отмечены значительные отклонения значений температуры воздуха и количества осадков от средних многолетних значений. Повышение температуры по сравнению с 2014 годом составило 37 %, с 2016 – 26 %, при этом количество выпавших осадков на 63 % меньше предшествующего 2014 и на 54 % последующего 2016 года, разница со средними многолетними значениями составила 31 % (рисунок 7).

Между длиной хвои и характеристиками погодных условий установлены сильные корреляционные связи, при этом отмечена отрицательная связь между температурой воздуха и длиной хвои – повышение температуры при снижении осадков ведет к уменьшению длины хвои, и положительная связь между количеством осадков и длиной хвои. Установлено, что в питомнике (с. Сухобузимское,

Красноярский край) в зависимости от состояния почвы, проводится полив саженцев, чем и было сглажено влияние погодных условий на длину хвои саженцев, что подтверждается результатом корреляционного анализа – связь между длиной хвои и количеством осадков очень слабая ($r = 0,02$).



Тип условий произрастания:

- удовлетворительный
- напряженный
- конфликтный
- критический

Рисунок 6 - Густота охвоения и длина хвои осевого побега боковой ветви сосны, произрастающей в различных условиях г. Красноярска

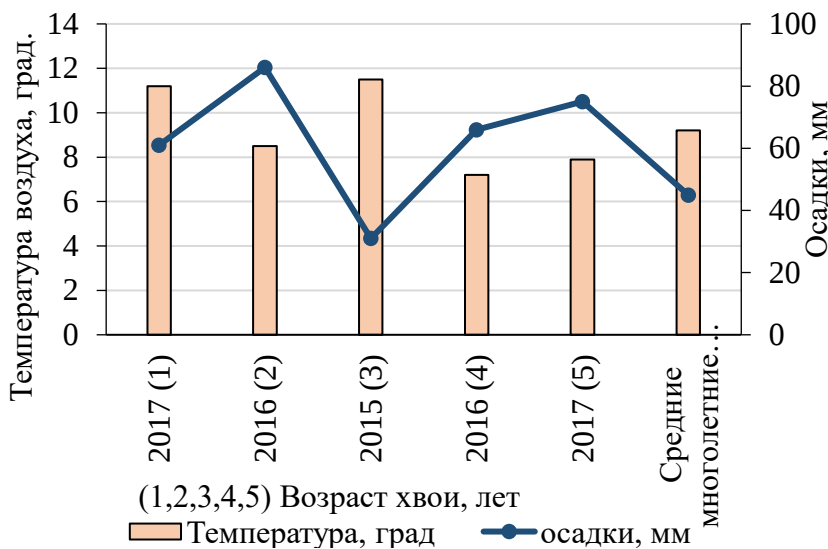


Рисунок 7 - Температура воздуха и количество осадков в мае 2013 – 2017 г.

При использовании параметров хвои сосны обыкновенной в экологическом мониторинге необходимо учитывать колебания погодных условий.

5 ФОРМИРОВАНИЕ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

5.1 Анализ динамики вертикальной структуры сосны обыкновенной в городских посадках

Анализ динамики вертикальной структуры сосны обыкновенной в городских посадках показал, что с возрастанием техногенных нагрузок значительно снижается протяженность кроны как в абсолютных, так и в относительных величинах. Длина, эффективно работающей, освещенной части кроны в возрасте 50 лет в удовлетворительных условиях произрастания составляет 68 % относительно общей

высоты дерева, в напряженных – 46 %, в конфликтных – 44 % и критических – 40 % при одинаковом световом режиме. Площадь освещенной поверхности кроны в удовлетворительных условиях произрастания в 4,5 раза превышает аналогичный показатель у растений в критических условиях, объем кроны – в 3,5 раза. Оценить отношение протяженности кроны к общей высоте дерева в условиях городской среды не представляется возможным так как при уходе за насаждениями проводится обрезка нижних ветвей.

Результаты исследований позволили установить особенности изменчивости биометрических параметров деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в урбанизированной среде с различным уровнем антропогенных воздействий (табл. 1).

Таблица 1 - Изменчивость биометрических параметров сосны обыкновенной в зависимости от условий произрастания

Биометрические параметры, показатели состояния растений	Расчетные значения / % снижения значений относительно размеров деревьев в удовлетворительных условиях г. Красноярск			
	Типы условий произрастания			
	удовлетворительные	напряжённые	конфликтные	критические
Индекс жизненного состояния	83,5	67,2 / 19,5	40 / 52,2	21 / 74,8
Высота дерева, м	15,1	11,1 / 26,8	10,3 / 33,6	9,3 / 38,3
Диаметр ствола, см	28,6	21,97 / 23,2	16,43 / 42,6	15,12 / 47,1
Диаметр кроны, м	7,0	6,0 / 14,3	5 / 28,6	4,5 / 35,7
Объем кроны, м ³	125,0	65,5 / 48,1	52,2 / 60,4	34,9 / 68,3
Площадь освещенной поверхности кроны, м ²	142,6	70,8 / 50,6	35,4 / 65,4	30,8 / 79,1
Максимальное снижение прироста осевого боковой ветви в период приживаемости, %	46,7	62,6	86,2	89,6
Средний возраст хвои, лет	4,6	2,9 / 36,9	2,4 / 47,8	2,2 / 52,2
Длина хвои, см	7,5	7,5	7,1 / 5,3	4,2 / 44,0
Суммарная длина хвои, мм	19567,9	14248,2 / 27,2	1073,2 / 94,5	1006,0 / 94,8

Параметрами, чувствительно реагирующими на изменение условий произрастания, являются: суммарная длина хвои и величина прироста осевого боковой ветви в период приживаемости, площадь освещенной поверхности кроны, объем кроны.

5.2 Формирование искусственных насаждений с участием сосны обыкновенной

Внешний облик и размеры деревьев определяют возможности пространственного размещения растений и их эстетическое восприятие на объектах озеленения. Анализ динамики диаметров крон сосны выявил снижение данных параметров у растений, произрастающих в напряженных условиях на 15 %, в

конфликтных – 30 %, в критических – 37 % относительно размеров растений в удовлетворительных условиях. Объемно-пространственная структура насаждений должна создаваться в соответствии с возможностями развития каждого вида в конкретных условиях среды. Полученные данные положены в основу рекомендаций по формированию пространственной структуры насаждений для объектов озеленения г. Красноярска с различным уровнем антропогенных нагрузок (таблица 2).

Таблица 2 - Рекомендуемые расстояния в посадках сосны обыкновенной для г. Красноярска

Тип условий произрастания	удовлетвори- тельный	напряженный	конфликтный	критический
Тип посадки	Солитер. Радиус окружности для получения декоративного эффекта и условий его обзора, в центре которой располагается древесное растение			
Высота дерева, м	16,5 – 14,5	14,5 – 11,0	11,0 – 10,5	10,5 – 9,0
Радиус окружности, м	16, 0 – 17,0	14,0 – 15,0	11,0 – 12,0	10, 0 – 11,0
Рядовые посадки, аллея, группы				
Диаметр кроны, м	8,0±0,7	7,0±0,6	5,5±0,2	5,0±0,4
Расстояние между деревьями, м	7,0 – 6,0	6,0 – 5,0	5,0 – 4,0	4,0 – 3,0
Плотность посадок, шт./га	240 – 280	330 – 400	500 - 600	900 – 1100

На основании результатов исследований динамики биометрических параметров и анализа экологических свойств сосны обыкновенной обоснован основной (67 видов) и дополнительный (58 видов) видовой состав растений для создания ландшафтных композиций на городских объектах озеленения. Растения, обладающие следующими экологическими свойствами, способны создавать устойчивые насаждения с участием сосны обыкновенной как доминантного вида: ксерофиты, мезофиты, оксилофиты, олиготрофы, оксилomezофиты, гелиофиты, сциогелиофиты, класс морозостойкости – 1-3.

Объемно-пространственные решения биогрупп, разработанные для различных условий произрастания, показали, что при одном и том же составе растений, площади проекции крон различаются до 2,1 раз, по объему ландшафтной композиции – до 3,7. При этом, во всех условиях произрастания, растения к 25-летнему возрасту вступают в фазу роста в сообществе и в течение всего жизненного цикла не испытывают конкуренции. Предложенный алгоритм формирования ландшафтных композиций с учетом воздействия факторов городской среды, фитоценотического взаимодействия растений, их онтогенетического и фенологического развития, рекомендаций по объемно-пространственному размещению растений и агротехническому уходу, позволит повысить декоративность и долговечность насаждений с участием сосны обыкновенной на городских объектах озеленения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что в городской среде в зависимости от сложившихся условий, сосна обыкновенная одинакового календарного возраста имеет различный внешний облик, отражающий жизненное состояние растений. Условия произрастания, характеризующиеся как удовлетворительные, относятся к достаточно благоприятным для ее выращивания, экстремальные ситуации для роста сосны обыкновенной складываются в критическом типе условий произрастания, состояние растений оценивается от «сильно поврежденные» до «отмирающих», увеличение техногенных нагрузок ускоряет процессы деградации деревьев, приводит к преждевременной гибели растений. Во всех условиях произрастания, прослеживается период адаптации растений к новым условиям. Выявлена специфика приживаемости сосны обыкновенной на объектах озеленения по состоянию ассимиляционного аппарата и приросту боковых ветвей, данные о динамике прироста позволяют прогнозировать сроки адаптации сосны обыкновенной на объектах городского озеленения.

Впервые для искусственных насаждений г. Красноярска с различным уровнем антропогенного воздействия установлены особенности роста сосны обыкновенной в возрастной динамике, разработаны математические модели динамики биометрических параметров в возрасте от 8 до 50 лет. Установлено, что высота деревьев сосны обыкновенной, растущей в городских посадках в удовлетворительных условиях в 50-летнем возрасте соответствует росту сосны II класса бонитета, в критических – IV. Выявленная изменчивость параметров роста сосны обыкновенной отражает влияние факторов городской среды, установленная взаимосвязь возраста хвои и класса ее повреждения с качеством воздушной среды позволяет использовать сосну обыкновенную в качестве вида-индикатора для оценки экологического состояния городов. Параметрами, чувствительно реагирующими на изменение условий произрастания, являются: суммарная длина хвои и величина прироста осевого боковой ветви в период приживаемости, площадь освещенной поверхности кроны, объем кроны.

Рекомендации

Для создания устойчивых насаждений с участием сосны обыкновенной как доминантного вида на городских объектах озеленения необходимо использовать растения, обладающие следующими экологическими свойствами: ксерофиты, мезофиты, оксилофиты; олиготрофы, оксилomezофиты, гелиофиты, сциогелиофиты, класс морозостойкости – 1-3; основной ассортимент растений для условий г. Красноярска составляет 67 видов, дополнительный 58. Применение алгоритма формирования ландшафтных композиций с учетом фитоценотического взаимодействия растений, их онтогенетического и фенологического развитие, воздействия факторов городской среды, рекомендаций по объемно-

пространственному размещению растений, агротехническим мероприятиям, позволит повысить долговечность и декоративность насаждений с участием сосны обыкновенной на городских объектах озеленения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Авдеева Е.В., Громыко С.В., **Панов А.И.** Экологическая оценка состояния лесных ландшафтов в условиях городской среды. // Хвойные бореальной зоны. XXXII. № 5 – 6. 2014. С. 13 – 16.
2. Авдеева Е. В., **Панов А.И.** Биоиндикация урбоэкосистем по морфологическим признакам хвойных растений // Хвойные бореальной зоны. Том XXXV, № 1 - 2. 2017. С. 7–14.
3. Авдеева Е.В., Черникова К.В., **Панов А.И.** Трансформация микроклиматических условий урбанизированной среды (на примере г. Красноярска) // Хвойные бореальной зоны. Том XXXV. № 3 – 4. 2017. С. 7 – 13.
4. Авдеева Е.В., **Панов А.И.**, Черникова К.В. Экологическая эффективность функционирования городских объектов озеленения // «Хвойные бореальной зоны». Том XXXVII, № 4, 2018. – С. 292-300.
5. **Панов А. И.**, Авдеева Е. В., Рудин К. А. Экологическая реконструкция травостоев в городах Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 5. С. 320 – 329.

Публикации в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus

6. Avdeeva E., **Panov A.** Ecosystem Approach to Assessing the State of the Urbanized Environment. // International Science and Technology Conference (FarEastCon 2019). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chapter 1. 2020. Volume 753.
7. Avdeeva E., Panov A. Estimation of the Survival Rate of Pinus Sylvestris Urban Landscaping Facilities in the City of Krasnoyarsk // International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chapter 1. 2021 Volume 1079.

В других изданиях

8. **Панов А.И.**, Эллер А.А., Невмержицкая А.В. Новые направления в озеленении города Красноярска. // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства / Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СибГУ. - 2013 г. С. 69 - 72.
9. Авдеева Е.В., **Панов А.И.**, Овсянников С.А. Значение предпроектного анализа территории в формировании городских открытых пространств // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства / Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СибГУ. - 2016. С. 8 -

12.

10. Авдеева Е.В., **Панов А.И.** Экологический мониторинг посадок сосны обыкновенной на объектах озеленения г. Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник научных трудов. Выпуск 49. Брянск. – 2017. С. 52- 55.

11. Авдеева Е.В., **Панов А.И.**, Черникова К.В., Волинкин Д.В. История озеленения г. Красноярска // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства / Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СибГУ. - 2017. С. 41 - 45.

12. Кухар И.В., Авдеева Е.В., **Панов А.И.** Динамика формирования урбанизированной среды г. Красноярска // Проблемы озеленения крупных городов. Сборник материалов XX Международного научно-практического форума. М. – 2018. – С.38 -40.

13. Авдеева Е.В., **Панов А.И.**, Черникова К.В. Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха в примагистральном пространстве г. Красноярска // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики [Электронный ресурс]: матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. - 2019. С. 261 – 264.

14. Авдеева Е.В., **Панов А.И.** Ландшафтные особенности климата ландшафтных зон Красноярска и его дендрологическая оценка // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СибГУ. - 2019. С. 260 - 265.

15. **Панов А.И.**, Авдеева Е.В. Сосна обыкновенная (*pinus sylvestris l.*) как индикатор состояния окружающей среды города // Сборник материалов XXI Международного научно-практического форума «Проблемы озеленения крупных городов» – М.: Перо, 2019. С.70 – 72.

16. Авдеева Е.В., **Панов А.И.** Черникова К.В. Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха в примагистральном пространстве г. Красноярска // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы // матер. Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 2019. С. 261 - 264.

17. Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Selenina E. A., **Panov A.I.** Substantiation of species composition of woody plants taking into account dendroclimatic zoning of the territory of Krasnoyarsk // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства. Сборник статей Международной научно-практической конференции - Красноярск: СибГУ, 2020.С. 16-34.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, 82, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.249.06.

В отзыве просим указать почтовый адрес организации, телефон и электронную почту лица, предоставившего отзыв.

Факс: (391) 266-03-90

E-mail: mrepyah@yandex.ru

Подписано в печать 11.10.2021

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 3126

Отпечатано

в редакционно-издательском центре СибГУ им. М.Ф. Решетнева

660049, г. Красноярск, проспект Мира, 82

Тел. (391) 222-73-28