



На правах рукописи

ИЗВЕКОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (PICEA
OBOVATA LEDEV.) И ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ (PICEA PUNGENS ENGELM.)
В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ Г. КРАСНОЯРСКА**

06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

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
руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Авдеева Елена Владимировна

Официальные
оппоненты: **Чжан Светлана Анатольевна,**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент; ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», базовая кафедра воспроизводства и переработки лесных ресурсов, профессор

Кузьмик Наталья Сергеевна,
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 таксации и лесопользования

Ведущая
организация: **ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»**

Защита состоится 16 декабря 2021 г. в 14⁰⁰ 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, проспект Мира, 82, зал заседаний диссертационного совета, ауд. Гл-316

E-mail: mrepyah@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет 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 исследования. В настоящее время на уровне РФ утверждены национальные проекты «Экология» и «Комфортная городская среда», где качество урбофитоценозов выступает весомым критерием комфортности городской среды. Для выполнения поставленных задач требуется глубоко проработанная теоретическая и практическая основа исследований специфики роста древесных растений в условиях антропогенных воздействий. В озеленении г. Красноярска используются ели сибирская и колючая, посадки которых без учета локальных условий произрастания, уровня антропогенной нагрузки и пространственной структуры насаждений приводят к деградации растений, что повышает затраты на содержание, замену и восстановление насаждений. Таким образом, необходимо установить влияние комплексного воздействия урбанизированной среды на рост ели сибирской и ели колючей, разработать рекомендации по формированию пространственной структуры насаждений в зависимости от уровня антропогенного воздействия с целью повышения устойчивости, предложить современный подход к проектированию искусственных насаждений в урбанизированной среде с участием данных видов.

Степень разработанности темы. Отечественные исследования роста древесных растений, произрастающих в условиях урбанизированной среды, проведенные Авдеевой Е.В. (1991 – 2021), Алексеевым С. А. (1989), Артемьевым О.С. (2003), Аткиной Л.И. (2007 – 2021), Бухариной И. Л. (2007 – 2012), Граница Ю.В. (2000), Есяковой О.А. (2008, 2010), Крючковой И.И. (2015), Майдебуре И.С. (2007), Морозовой Г.Ю. (2003 – 2010), Нагимовым З.Я. (2015 – 2021), Руновой Е.М. (2010 – 2021), Сомовым Н.В. (2008 – 2020), Сродных Т.Б. (2020, 2021), Сухаревой Т.А. (2004), Тагировой О.В. (2012), Тетиором А.Н. (2007), Уфимцевой М.Д. (2005), Чекменовой Ю.В. (2011), зарубежные: Bendarova E. (2011), Bouma E. (2006), Robrecht H., Lorena L., Mader A. (2010), Franiel I. (2008), Zha T. Kellomaki S., Ryurppo Wang A. (2004) подтверждают отрицательное влияние техногенных факторов на зеленые насаждения в городах. При этом динамика таксационных показателей ели сибирской и ели колючей под воздействием антропогенных факторов и пространственной структуры искусственных насаждений, фенологическая изменчивость их ассимиляционного аппарата, а также влияние дополнительного ночного освещения на рост и жизненное состояние городских посадок изучено недостаточно.

Цель диссертационной работы. Установить воздействие факторов урбанизированной среды г. Красноярска на таксационные показатели роста и фенологическое развитие ассимиляционного аппарата ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) с целью разработки рекомендаций для реконструкции существующих и проектирования новых посадок, повышающих

устойчивость искусственных насаждений данных видов. В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи исследования:

- выявить динамику таксационных показателей ели сибирской и ели колючей под влиянием антропогенных факторов и структуры насаждений;
- изучить фенологическое развитие ассимиляционного аппарата ели сибирской и ели колючей;
- установить влияние дополнительного ночного освещения и недостатка естественной освещенности на таксационные показатели ели сибирской и ели колючей;
- разработать практические рекомендации по формированию пространственной структуры искусственных насаждений с участием ели сибирской и ели колючей в зависимости от уровня антропогенного воздействия для реконструкции существующих и проектирования новых посадок данных видов.

Научная новизна диссертационной работы обусловлена тем, что впервые для искусственных насаждений ели сибирской и ели колючей, произрастающих на территории г. Красноярска, установлена видовая динамика таксационных показателей, специфика прохождения фенологических циклов в зависимости от уровня антропогенной нагрузки и структуры насаждений; установлена степень влияния освещенности на устойчивость насаждений к загрязнению атмосферного воздуха и климатическим факторам окружающей среды.

Теоретическая и практическая значимость заключается в разработке математических моделей хода роста таксационных показателей ели сибирской и ели колючей под влиянием урбанизированной среды г. Красноярска с учетом пространственной структуры насаждений. Выявлены пограничные условия создания насаждений ели сибирской и ели колючей с учетом воздействия факторов городской среды; установлен допустимый порог освещенности деревьев от дополнительного ночного освещения; обоснованы минимальные расстояния посадки ели от стен высотных зданий и структурные параметры насаждений в зависимости от условий среды. Материалы фенологических исследований позволяют установить оптимальные сроки проведения технологических операций по посадке и уходу за насаждениями.

Методы исследований. Для сбора и обработки экспериментальных данных использованы методы лесной таксации, статистической обработки с применением авторской методики и специализированного оборудования, программные комплексы: «Компас 3D v17», «Statistica 8», «Наш Сад 10.4».

Основные положения, выносимые на защиту:

- динамика таксационных показателей ели сибирской и ели колючей под влиянием антропогенных факторов и структуры насаждений;
- фенологическая изменчивость ассимиляционного аппарата ели сибирской и ели колючей в зависимости от условий произрастания;

- влияние освещенности на устойчивость искусственных насаждений ели сибирской и ели колючей.

Достоверность результатов диссертационной работы. Достоверность результатов подтверждается необходимым и достаточным объемом экспериментального материала и статистической обработкой в соответствии с общепринятыми методами. Основные положения и результаты работы докладывались на всероссийских и международных научных мероприятиях и отражены в изданиях: XV Международная конференция «Проблемы озеленения крупных городов» (Москва, 2012), Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2012, 2014), Всероссийская научно-практическая конференция «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения» (Красноярск, 2013, 2017), Межрегиональная научно-практическая конференция школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых «Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона» (Красноярск, 2015), Всероссийская научно-практическая конференция «Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства» (Красноярск, 2016, 2017, 2018), XII Международная научно-техническая конференция «Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики» (Екатеринбург, 2019), Международный научно-практический форум «Проблемы озеленения крупных городов» (Москва, 2019), Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon» (Владивосток, 2019, 2020).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, в том числе 4 статьи в научных изданиях из перечня ВАК РФ, 1 статья в научном издании Белоруссии, 2 работы в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 13 публикаций в трудах всероссийских и международных конференций, 2 патента.

Структура и объем диссертации. Текст диссертации изложен двух томах: первый – на 158 страницах включает 22 таблицы, 33 рисунка и состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы (259 наименований, в том числе 14 на иностранных языках), второй – из 12 приложений на 207 страницах.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Представлен анализ исследований роста ели сибирской и ели колючей в условиях урбанизированной среды, рассмотрена роль искусственных насаждений данных видов в озеленении городов. Е.В. Авдеевой (1991 – 2021) изучена специфика роста и индикаторная роль ели сибирской для оценки состояния окружающей среды. В работе О.А. Есяковой (2010) рассмотрены вопросы влияния техногенного

загрязнения окружающей среды на метаболизм ели сибирской, произрастающей на территории г. Красноярска. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на биохимическом уровне рассмотрено в работах А.С. Ситниковой (1990), Т.А. Сазоновой (2009), Т.А. Сухаревой (2004). Качественная характеристика искусственных насаждений ели сибирской на территории г. Уфы представлена в работе О.В. Тагировой (2012) – по результатам исследований установлена тенденция к снижению качественных показателей зеленых насаждений по мере усиления влияния техногенных факторов. Работа Ю.В. Чекменовой (2011) посвящена определению изменчивости онтогенетических процессов ели колючей в насаждениях г. Воронежа, где отмечается ее высокая устойчивость к атмосферному загрязнению и даются рекомендации к применению в озеленении городских пространств, что подтверждается в работах других авторов (Бухарина, 2008, Вишнякова, 2011, Макеев, 2015, Рунова, 2021). Анализ показал недостаточность региональных исследований и необходимость изучения динамики таксационных показателей ели сибирской и, особенно, ели колючей под воздействием антропогенных нагрузок различного уровня.

2 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Программа исследования состоит из четырех этапов: разработать математические модели хода роста таксационных показателей ели сибирской и ели колючей; изучить фенологическую изменчивость древесных растений; провести анализ влияния освещенности на изменение таксационных показателей древесных растений; разработать рекомендации для реконструкции существующих и проектирования новых посадок данных видов.

Объектами исследования являются ель сибирская и ель колючая, произрастающие в искусственных насаждениях г. Красноярска. По результатам обследования 2386 деревьев ели сибирской на 112 насаждениях и 604 деревьев ели колючей на 53 насаждениях установлено, что 72 % экземпляров высажено в виде рядовых посадок, 23 % – групп и 5 % – одиночных насаждений. Средний шаг посадки составляет: в рядах – 4,0 м, в группе – 5,0 м.

Методы исследования. Сбор полевых материалов осуществлен в соответствии с авторским методом измерения биометрических параметров древесных растений (Авдеева, Извеков, 2014). Оценка выбросов автотранспортного потока проведена в соответствии с «Расчетной инструкцией по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов» (2008); анализ условий произрастания осуществлен по методике Е.В. Авдеевой (2007); диагностика степени поврежденности насаждений выполнена по методу А.В. Алексеева (1989); длина хвои и побегов по методике А.А. Молчанова и В.В. Смирнова (1967). Регрессионные модели хода роста по высоте

аппроксимированы уравнением Митчерлиха, диаметр ствола и кроны - степенными функциями. Адекватность уравнений опытному материалу оценивалась по коэффициенту детерминации, критерию Фишера.

3 СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. КРАСНОЯРСКА

В соответствии с классификацией Будыко-Григорьева (2020) погода вегетационного периода года в среднем по г. Красноярску характеризуется как «умеренно теплая», зима – «умеренно суровая», «малоснежная», условия увлажнения почвы – «недостаточно влажные». Сумма активных температур вегетационного периода изменяется в пределах 1700 – 2300 °С, количество осадков – 130 – 360 мм в год, что является достаточным для роста ели сибирской и ели колючей.

По результатам анализа данных государственного мониторинга состояния окружающей среды и литературных источников установлено хроническое загрязнение природных компонентов окружающей среды г. Красноярска. Приоритетными загрязняющими веществами, представляющие наибольшую опасность для зеленых насаждений, являются: формальдегид – превышение фитотоксичной предельно допустимой концентрации (ПДК_ф) в 6,8 раза, гидрохлорид - 5,7, гидрофторид - 2,3, взвешенные вещества – 2,0. Анализ рассеивания загрязняющих веществ от выбросов автотранспорта на улицах г. Красноярска показал, что концентрации диоксида азота на расстоянии 10,0 м от дороги превышают ПДК_ф в 4,5 раза, углеводов – в 3,4 раза. Превышения ПДК_ф по диоксиду азота сохраняются на расстоянии 40,0 м (в 1,1 раза), по углеводам - на расстоянии 20 м (в 1,7 раза).

Обеспеченность жителей озелененными территориями характеризует безопасность и комфортность условий проживания человека на данной территории. Установлено, что нормативные требования соблюдаются на 77 % территории города, где средняя обеспеченность составляет 38,3 м²/чел. На оставшейся территории необходимо дополнительно создать 650 га озелененных пространств, при этом условия произрастания на территории г. Красноярска предъявляют особые требования к созданию устойчивых насаждений к антропогенному воздействию.

4 РОСТ ЕЛИ СИБИРСКОЙ И ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ В УСЛОВИЯХ Г. КРАСНОЯРСКА

4.1 Возрастная структура посадок

Установлено, что возрастная структура городских насаждений ели сибирской и ели колючей однотипна. Первые посадки ели на территории г. Красноярска проведены в 40-х годах XX века (1 %), в период с 1950 по 1990 год высажено 25 % деревьев, 73 % исследуемых экземпляров – с 1990 по 2010 год – в этот период ель

входила в состав основного ассортимента растений при озеленении г. Красноярска. За последние десять лет отмечается резкое снижение числа посадок ели в городе (1 %).

4.2 Анализ поврежденности древесных растений в зависимости от условий произрастания

Анализ условий произрастания насаждений в проведен по 30 показателям, позволяющим оценить напряженность экологического состояния по отношению к фитосреде в системе балльной оценки негативных факторов, включающей: ландшафтно-экологические характеристики (оценка климатических и орографических факторов), влияние автотранспорта (количество, наличие факторов усиливающих его влияние), градостроительные факторы (наличие объектов инфраструктуры, зданий и плотность посадок), рекреационную нагрузку (вытаптываемость, прямое воздействие человека на насаждения) и фоновое состояние окружающей среды. Сумма баллов определяет тип условий произрастания зеленых насаждений: значения менее 50 баллов (менее 25 %) соответствуют «удовлетворительным» условиям, от 51 до 100 - «напряженным» (25 - 50 %), от 101 до 150 - «конфликтным» (50 - 75 %), от 150 до 200 - «критическим» (75 - 100 %). Установлено, что «конфликтные» и «критические» условия складываются в районах главных автомагистралей г. Красноярска, улиц исторического центра города и в границах санитарно-защитных зон предприятий; «удовлетворительные» и «напряженные» условия произрастания наблюдаются на расстоянии более 2,0 км от основных промышленных зон города или при плотности автотранспортного потока менее 15 тыс. шт. в сутки.

По результатам анализа взаимосвязи напряженности условий произрастания и поврежденности насаждений выделено три категории соответствия: к первой отнесены посадки, в которых с увеличением нагрузки возрастает степень поврежденности, т.е. насаждения адекватно реагируют на условия урбанизированной среды, что составляет для ели сибирской 52 %, ели колючей – 42 %; ко второй категории относятся насаждения, в которых снижение жизненного состояния происходит медленнее, чем рост антропогенного воздействия, т.е. посадки более устойчивы к повышенным нагрузкам абиотических факторов (38 % - ель сибирская и 55 % - ель колючая); к третьей – насаждения, которые в относительно благоприятных условиях «сильно повреждены» или «разрушены», т.е. не способные противостоять влиянию урбанизированной среды (10 % - ель сибирская и 3 % - ель колючая) (рисунок 1).

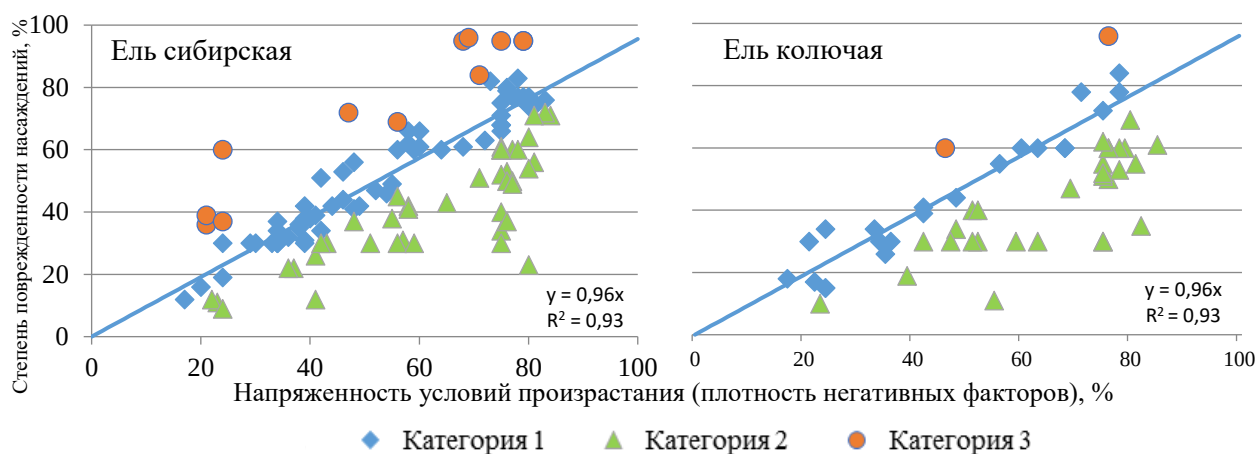


Рисунок 1 – Распределение насаждений ели по степени поврежденности в зависимости от условий произрастания

Таким образом, насаждения ели колючей более устойчивы к воздействию факторов урбанизированной среды, жизненное состояние ели сибирской отражает текущий уровень антропогенной нагрузки.

4.3 Статистическая обработка значений таксационных показателей

В ходе обработки материалов фотосъемки и полевых исследований получены следующие таксационные показатели: высота дерева; диаметр ствола на высоте 1,3 м; максимальный диаметр кроны; высота начала и максимального диаметра кроны; объем ствола; протяженность, площадь и объем у освещенной и затененной части кроны. По результатам статистического анализа по методике С.А. Мамаева (1972) установлено, что «средним» уровнем изменчивости характеризуется высота дерева - 14 %, диаметры ствола - 17 % и кроны - 19 %. «Очень высоким» уровнем изменчивости характеризуется высота до начала кроны – коэффициент изменчивости $V = 47$ %, «высоким» - высота до максимального диаметра кроны – 37 %. Причиной изменчивости данных показателей является проведение санитарных и формовочных обрезок, как одного из основных видов по уходу за городскими посадками. Таким образом, для проведения исследования динамики таксационных показателей насаждений отобраны: высота дерева, диаметр ствола и кроны, обладающие «средним» уровнем изменчивости, а также необходимые для проектирования объектов озеленения различного функционального назначения и разработки структуры насаждений с учетом локальных условий произрастания и уровня антропогенной нагрузки.

4.4 Построение рядов хода роста

Анализ хода роста исследованных видов ели по высоте показал, что рост древесных растений достоверно описывается уравнением Митчерлиха. Коэффициент детерминации для всех зависимостей лежит в пределах 0,88 – 0,99, расчетные значения критерия Фишера больше табличных во всех полученных зависимостях (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты и параметры уравнений хода роста по высоте

Тип условий произрастания	Тип пространственной структуры	Коэффициенты и параметры уравнений					
		b ₁	b ₂	b ₃	Критерий Фишера		R ²
					F _{расч.}	F _{табл.}	
Ель сибирская							
«удовлетвори- тельные»	Ряд	27,05	0,0192	1,4	17564	3,87	0,99
	Группа	23,89	0,0263	1,6	666	3,99	0,96
	Одиночные	20,11	0,0278	1,5	254	4,67	0,97
«напряженные»	Ряд	23,09	0,0250	1,6	3066	3,86	0,88
	Группа	19,98	0,0345	1,9	4853	3,89	0,96
	Одиночные	19,51	0,0270	1,45	1611	4,12	0,95
«конфликтные»	Ряд	17,53	0,0286	1,7	5865	3,86	0,91
	Группа	16,89	0,0303	1,7	2107	3,92	0,96
«критические»	Ряд	15,95	0,0263	1,5	3328	3,86	0,91
	Группа	16,06	0,0278	1,5	1852	3,9	0,95
	Одиночные	17,81	0,0198	1,3	1191	4,03	0,96
Ель колючая							
«удовлетвори- тельные»	Ряд	20,07	0,0333	2,0	235	4,23	0,92
	Группа	30,11	0,025	2,0	102	4,35	0,89
«напряженные»	Ряд	20,14	0,0208	1,4	3598	3,98	0,99
	Группа	19,4	0,0286	1,7	1357	4,03	0,97
«конфликтные»	Ряд	17,95	0,0208	1,4	10616	3,93	0,99
	Группа	17,06	0,0236	1,45	5680	4,07	0,99
«критические»	Ряд	18,02	0,0202	1,4	7618	3,88	0,99
	Группа	17,21	0,023	1,5	1528	4,11	0,98
	Одиночные	17,10	0,0227	1,4	856	5,32	0,99

Влияние антропогенного воздействия отражается на снижении высоты деревьев: наибольшей высоты 13,0 м в возрасте 45 лет достигают деревья обоих видов в «удовлетворительных» условиях произрастания, наименьшие значения – в «критических» условиях и составляют 9,4 м для ели сибирской и 8,9 м для ели колючей.

Установлено, что пространственная структура влияет на параметры высоты дерева: максимальная высота отмечается в групповых посадках, минимальная у ели сибирской в одиночных, у ели колючей – в рядовых. Максимальная разница по высоте выявлена в «удовлетворительных» условиях произрастания – групповые посадки ели сибирской на 1,4 м выше одиночных, ели колючей – на 1,7 м выше рядовых; минимальная разница – в «критических» условиях – 0,4 м у обоих видов.

По сходству влияния условий произрастания на высоту насаждений у ели сибирской достоверно выделено две совокупности: в первую объединились насаждения, произрастающие в «удовлетворительных» и «напряженных» условиях, во вторую – в «конфликтных» и «критических». Разница средних значений по высоте между совокупностями начинает проявляться через 3 года после пересадки на городские объекты озеленения и к 45 годам составляет 3,0 м, внутри совокупностей разброс значений менее 10 %. Для ели колючей снижение по высоте в зависимости от условий произрастания начинает проявляться через 10 лет роста деревьев в городских

посадках, к 45 летнему возрасту достоверно выделяются три совокупности: первая – групповые и рядовые насаждения, произрастающие в «удовлетворительных» условиях; вторая – в «напряженных»; в третью объединились насаждения в «конфликтных» и «критических» условиях. Разница между совокупностями к 45 годам составляет 2,5 м (рисунок 2).

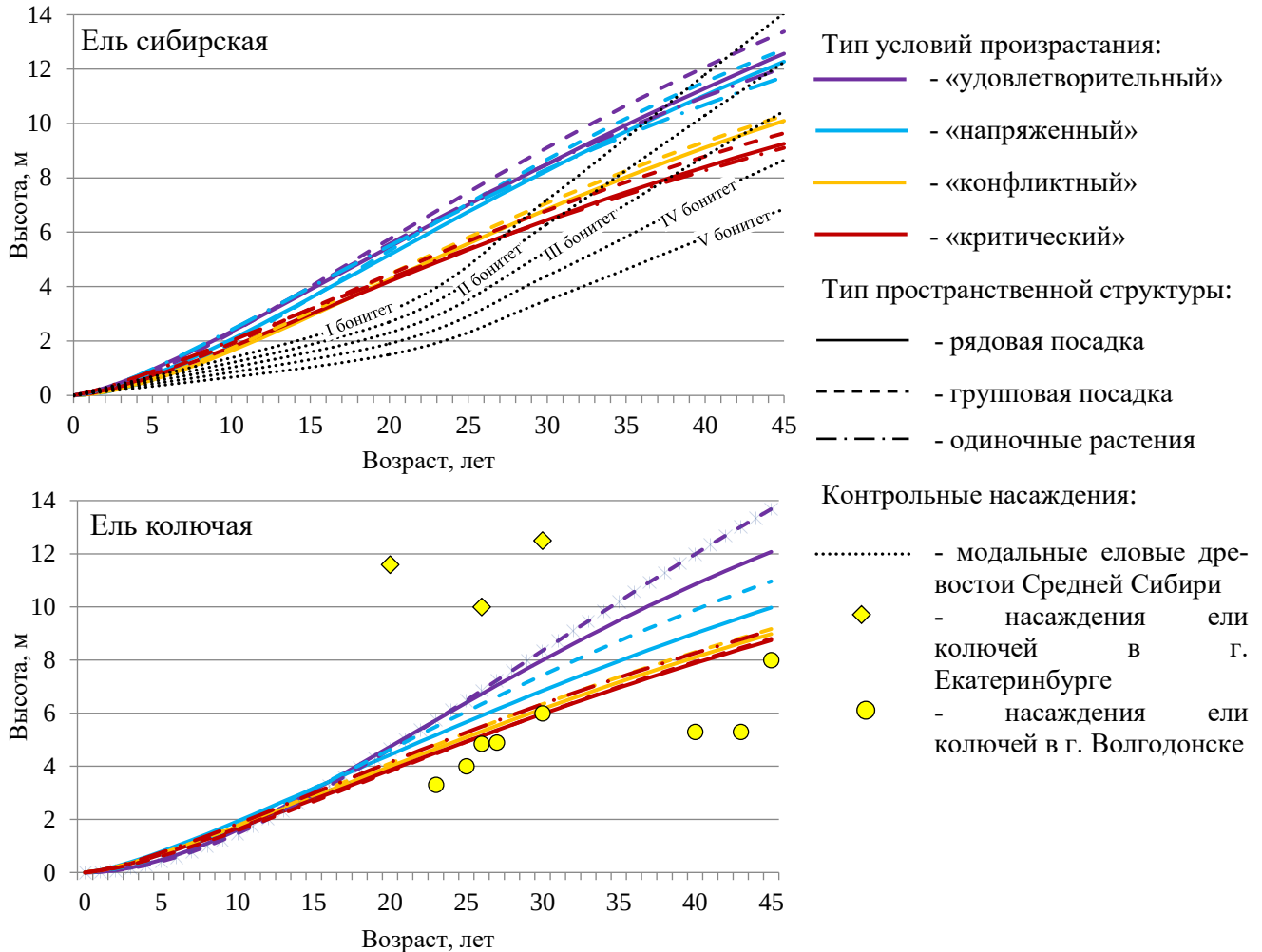


Рисунок 2 – Рост ели по высоте в зависимости от условий произрастания и структуры насаждения

Сравнительный анализ показал, что посадки ели в г. Красноярске отличаются более сильным ростом относительно естественных еловых древостоев (Таблицы и модели хода роста, 2008) (рисунок 2). Насаждения в «критических» условиях на 1,0 м выше древостоев I класса бонитета. В дальнейшем рост городских посадок замедляется и к 45 годам высота деревьев в «удовлетворительных» и «напряженных» условиях соответствует II классу бонитета, в «конфликтных» - III, в «критических» - IV.

Ель колючая является интродуцированным видом, поэтому в качестве сравнительных образцов приняты посадки в г. Екатеринбурге (Вишнякова, 2011) и г. Волгодонске (Богоровская, 2010), произрастающие на примыкающих территориях. Основными источниками загрязнения окружающей среды г. Волгодонска являются предприятия теплоэнергетики, машиностроения,

коммунальной инфраструктуры и автотранспорт, что говорит о схожести техногенной нагрузки на урбофитоценозы г. Красноярска. Установлено, что у 48% посадок показатели роста согласуются с результатами исследований в г. Красноярске и близки к значениям рядовых посадок в «критических» условиях. В г. Екатеринбурге валовый объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух составил 41,3 тыс. тонн (Государственный доклад, 2018), что в 17 раз меньше, чем от источников, расположенных в г. Красноярске. Соответственно, даже вдоль автодорог в Екатеринбурге высота ели колючей в возрасте 26 лет составляет 10,0 м, что на 31 % выше максимального значения насаждений в том же возрасте, произрастающие на территории г. Красноярска в «удовлетворительных» условиях. Таким образом, стрессовое влияние урбанизированной среды отражается на ходе роста ели в высоту.

Рост древесных растений по диаметру ствола на высоте 1,3 м достоверно описывается степенной функцией, коэффициент детерминации для всех зависимостей лежит в пределах 0,82 – 0,96, расчетные значения критерия Фишера больше табличных (рисунок 3).

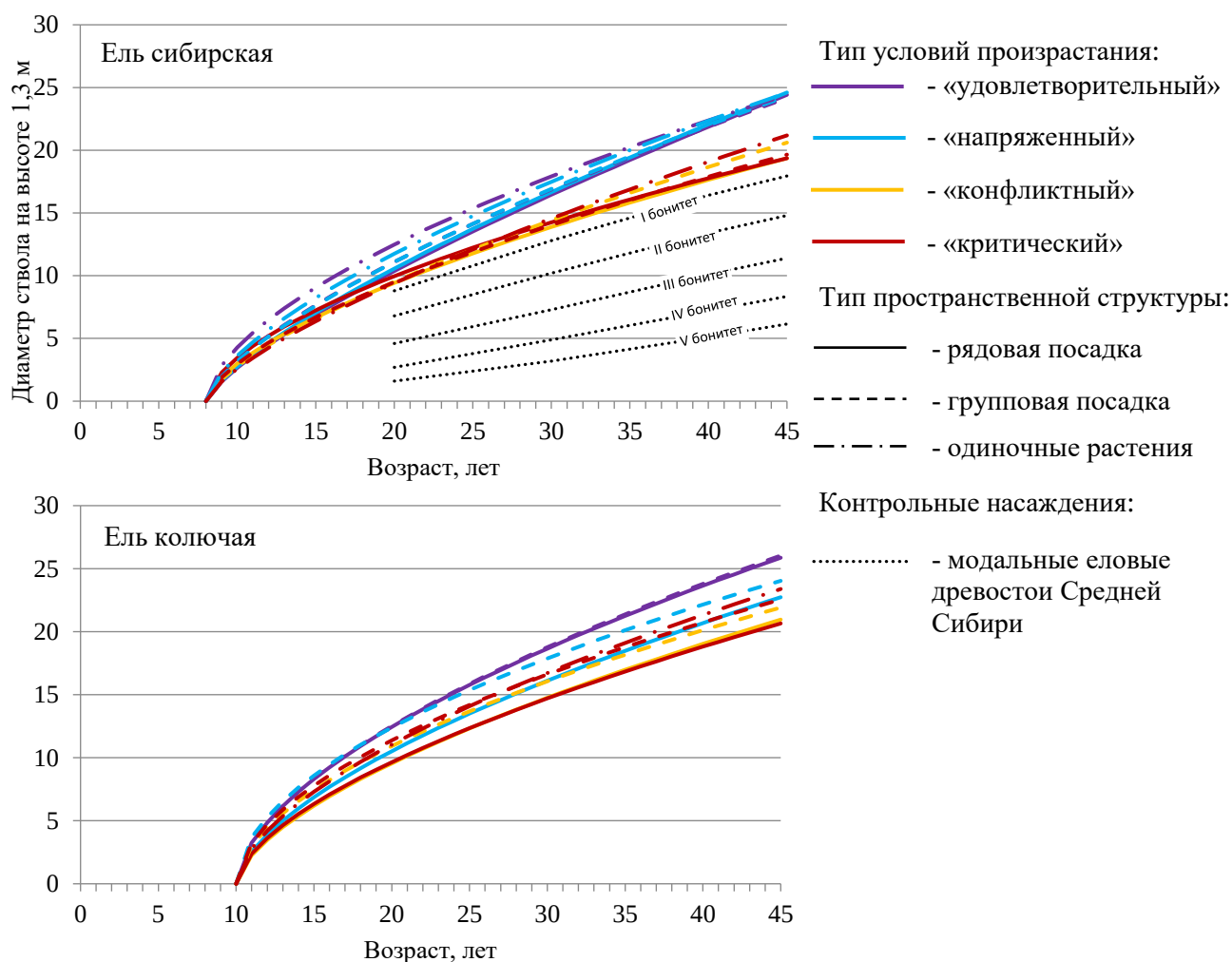


Рисунок 3 - Рост ели по диаметру ствола на высоте 1,3 м в зависимости от условий произрастания и структуры насаждения

Характер динамики по диаметру ствола аналогичен ходу роста деревьев по высоте – наибольшие диаметры отмечены в «удовлетворительных» условиях и

составляют 25,5 см у обоих видов ели, наименьшие значения в «критических» у ели сибирской – 20,0 см, у ели колючей – 22,0 см. Диаметры стволов ели сибирской в «удовлетворительных» условиях превышают показатель I класса бонитета на 7 см (27 %). Значительного влияния пространственной структуры на динамику диаметра ствола ели не обнаружено.

Анализ хода роста по диаметру кроны показал, что с возрастанием антропогенного воздействия значения диаметров кроны снижаются – наибольшие значения прослеживаются в «удовлетворительных» условиях и составляют 7,4 м, наименьшие - в «критических» - 4,3 м у обоих видов ели. Уменьшение размеров составляет 42 %. Расхождения размеров выявлены между рядовыми и групповыми посадками, диаметр кроны деревьев в группах на 2,1 м (28 %) больше, чем у деревьев в рядах, что объясняется структурой и плотностью насаждений – в рядах 50 % длины окружности кроны взаимодействует с соседними деревьями, в группах взаимовлияние крон составляет не более 30 % (рисунок 4).

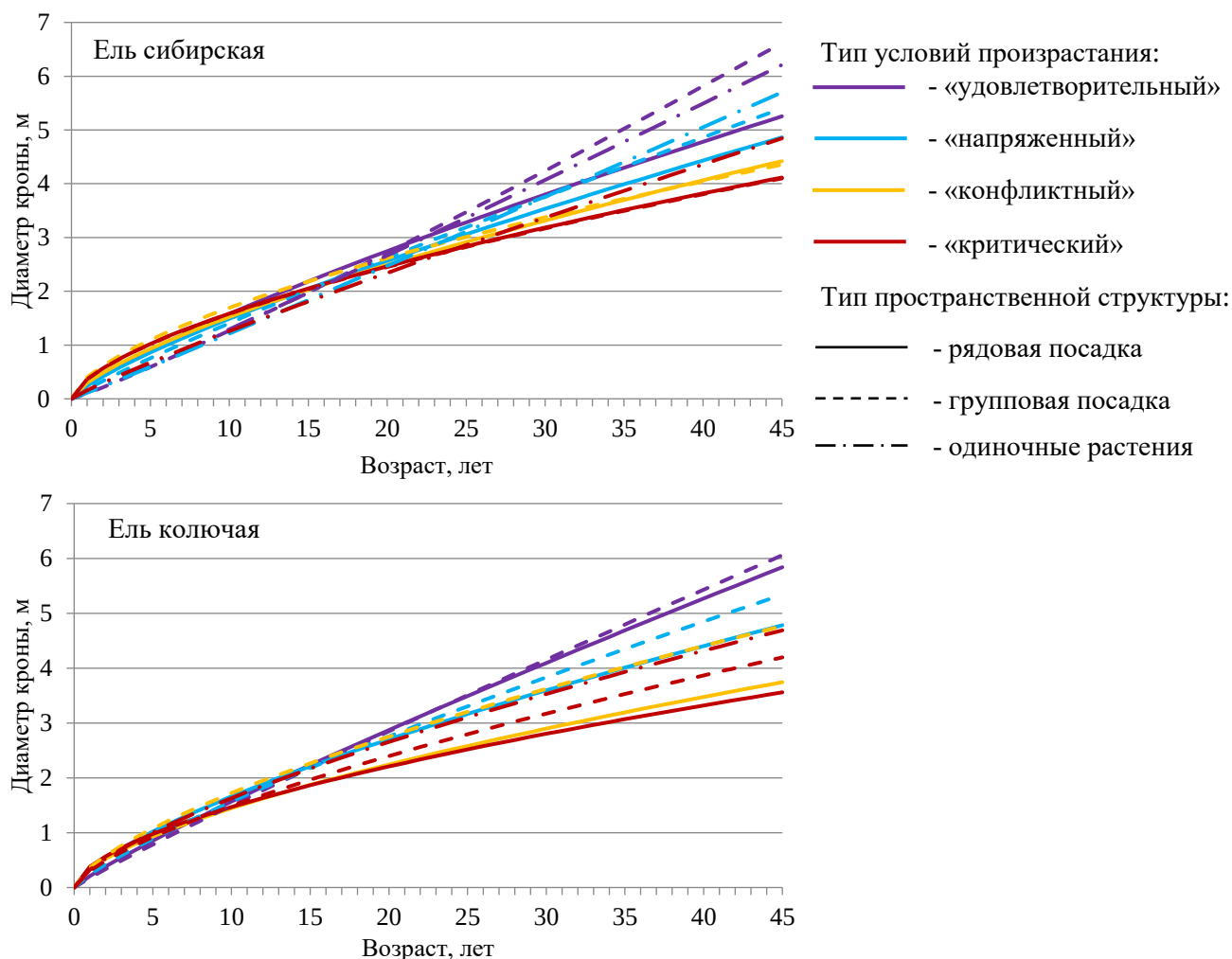


Рисунок 4 - Рост ели по диаметру кроны в зависимости от условий произрастания и структуры насаждения

Таким образом, на динамику таксационных показателей ели достоверно оказывают влияние как уровень антропогенного воздействия, так и пространственная структура насаждений. При этом каждый вид обладает характерными особенностями:

ель сибирская адекватно отражает уровни антропогенной нагрузки; ель колючая – при увеличении антропогенной нагрузки таксационные показатели ниже показателей ели сибирской в аналогичных условиях произрастания, при этом индекс жизненного состояния выше, что говорит о ее устойчивости и способности выполнять средозащитные функции в условиях городской среды.

5 ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения за динамикой фенологических циклов ели сибирской и ели колючей проведены в посадках, прошедших стадию адаптации после пересадки на городские объекты с различным уровнем антропогенной нагрузки. Результаты исследования показали, что начало роста побегов ели сибирской наступает с достижением среднесуточной температуры $+7,6 - +16,2^{\circ}\text{C}$, и варьируют в пределах от 7 до 22 суток. Первыми 04.05.2019 г. начинают рост побеги в «удовлетворительных» и «напряженных» условиях, 11.05 в «конфликтных», побеги в «критических» условиях начинают вегетировать в третьей декаде мая. Начало роста побегов ели колючей наступает 26.05 при среднесуточной температуре $+15,6 - +16,2^{\circ}\text{C}$ во всех условиях произрастания за исключением «критических» – через 5 суток. Период кульминации прироста побегов ели сибирской отмечен с 25 мая по 8 июня, ели колючей - с 15 по 29 июня. Сроки прекращения роста побегов ели сибирской варьируют в интервале 15 дней в зависимости от уровня антропогенной нагрузки, ели колючей – в пределах 4 дней. Формирование хвои у ели сибирской и ели колючей началось спустя 6 - 8 дней после начала роста побегов, кульминация прироста хвои у обоих видов отмечалась при достижении среднесуточной температуры 20°C (рисунок 5).

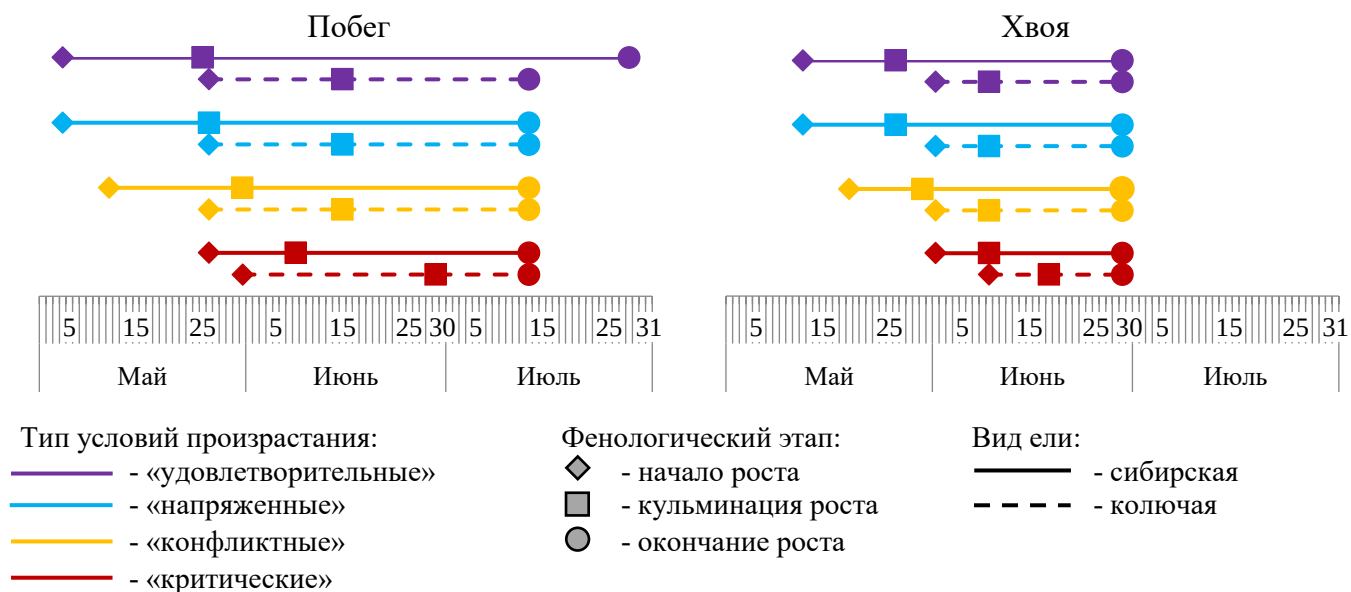


Рисунок 5 - Фенологические этапы роста побегов и хвои ели в зависимости от условий произрастания

В «удовлетворительных» условиях длина побега ели сибирской составила 11,3 см и с возрастанием антропогенной нагрузки уменьшалась в среднем на 12 %. Годичный прирост побегов ели колючей составил 16,0 см во всех условиях произрастания, кроме «критического» - 10,7 см. Наибольшая длина хвои у ели сибирской сформировалась в насаждениях, произрастающих в «удовлетворительных» и «напряженных» условиях – 2,2 см, наименьшая в «конфликтных» и «критических» - 1,7 см. Средняя длина хвои ели колючей в «удовлетворительных», «напряженных» и «конфликтных» условиях произрастания составила 27 мм, в «критических» - 22 мм (рисунок 6).

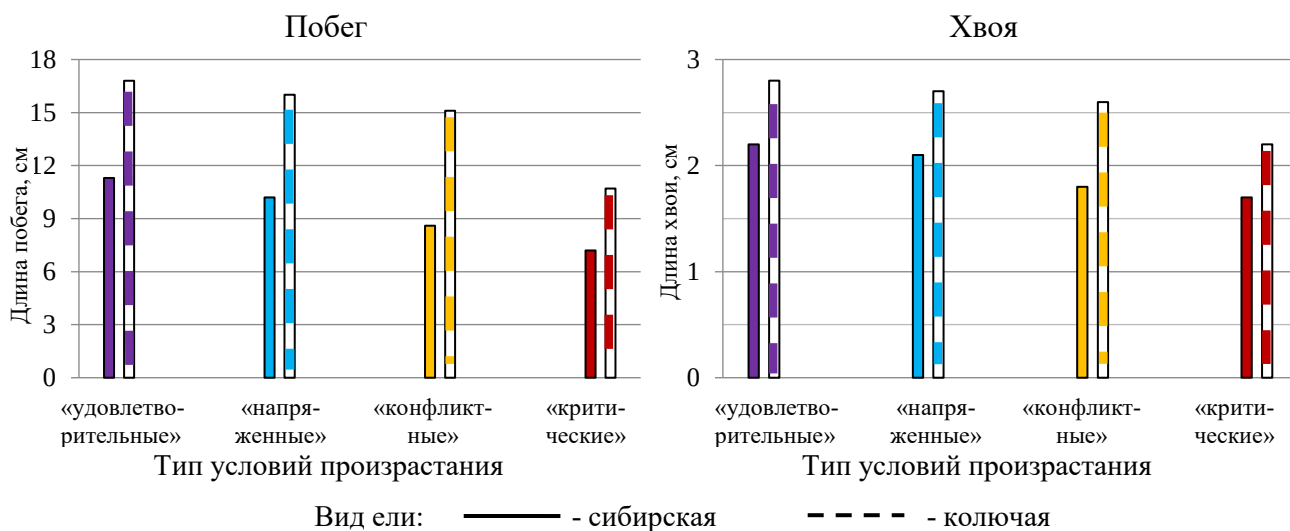


Рисунок 6 – Годичный прирост хвои и побегов ели в зависимости от условий произрастания

Установлено, что реакция органов ассимиляционного аппарата ели колючей подтверждает повышенную устойчивость к нагрузкам городской среды. Сокращение длины побегов и хвои ели сибирской связано с уровнем антропогенной нагрузки.

6 ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЕТОВОГО РЕЖИМА НА РОСТ ЕЛИ В ГОРОДСКИХ ПОСАДКАХ

6.1 Рост ели сибирской в условиях дефицита освещённости

Исследование влияния дефицита освещенности на форму кроны ели сибирской проведено в посадках, расположенных с северной стороны на расстоянии менее 5 м от стен высотных зданий в условиях активной тени, контрольными - выступали насаждения на набережной р. Енисей, произрастающие при естественном световом обеспечении, в одинаковых «конфликтных» условиях произрастания. Анализ значений коэффициентов формы кроны (отношение максимального диаметра кроны к высоте дерева) показал, что ускоренное изменение формы кроны идет в период после пересадки растений в условия затененности: за первые десять лет форма кроны деревьев, растущих в условиях дефицита освещения становится более узкокранной – коэффициент формы кроны снижается с 0,83 до 0,55, в дальнейшем процесс

замедляется и к 50 годам коэффициент формы кроны в условиях затенения составляет 0,45; в аналогичном возрасте в условиях естественной освещенности он составляет 0,54. Таким образом, при посадке ели возле стен высотных зданий северной экспозиции необходимо соблюдать расстояние не менее максимального диаметра кроны (в условиях г. Красноярска – не менее 10,0 м) с целью устранения возможности соприкосновения со стенами зданий и увеличения естественного светового потока.

6.2 Влияние дополнительного ночного освещения на жизненное состояние ели колючей

Для оценки влияния ночного освещения рассмотрена динамика прироста ели колючей по диаметру ствола на высоте 1,3 м. Мощность каждого источника света прожекторных систем составляла 250 Вт, который обеспечивает освещенность 18000 люкс, что соответствует естественной дневной освещенности в тени под прозрачным небом и поддерживает фотосинтез (Головацкая, 2016). В 2019 году, во время удаления деревьев возле здания Правительства Красноярского края, по спилам получены экспериментальные данные ежегодных годовичных приростов, анализ которых выявил, что в первые два года после начала подсветки (1998 г.) прирост диаметра ствола с 3,3 мм в год увеличивается на 50 %, далее темпы прироста снижаются, но в течение 6 лет остаются выше значений до установки дополнительного ночного освещения. Далее у половины деревьев в насаждении прирост продолжил сокращаться, в то время как данный показатель остальных деревьев увеличился на 30 % и сохранялся в течение 6 лет. В 2012 году годовой прирост у всех деревьев составил 2,5 мм и до 2019 года не изменялся – к этому времени степень поврежденности составила 65 %. Через 21 год после установки осветительных приборов диаметры стволов деревьев, произрастающих в «критических» условиях, соответствовали значениям деревьев в «удовлетворительных» условиях роста (26 см). Ветви деревьев в радиусе интенсивного освещения усохли и были удалены, в зоне ослабленного освещения хвоя располагалась только в верхней части побега, также наблюдалось увеличенное количество почек. После установки осветительных систем выявлена «заметная» отрицательная корреляционная зависимость между величиной годовичного прироста и состоянием атмосферного воздуха (по данным индекса загрязнения атмосферного воздуха по пяти приоритетным загрязняющим веществам). За этот период растения потеряли декоративность и устойчивость к воздействию урбанизированной среды и в возрасте 50 лет были удалены.

7 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ НАСАЖДЕНИЙ ЕЛИ В ОЗЕЛЕНЕНИИ Г. КРАСНОЯРСКА

Проведенные исследования показали, что на этапе проектирования объектов озеленения необходимо провести анализ условий произрастания с целью выбора ассортимента, пространственной структуры насаждений и мероприятий по уходу за ними адекватные условиям среды. При создании насаждений в «удовлетворительных» и «напряженных» условиях произрастания ель сибирскую рекомендуется использовать в составе основного ассортимента древесных видов, ель колючую - во всех условиях произрастания кроме «критического». На основе результатов исследования определены рекомендуемые расстояния в основных типах посадки (таблица 2).

Таблица 2 – Рекомендуемые расстояния в различных типах посадки ели сибирской и ели колючей, м

Тип условий произрастания	Тип пространственной структуры					
	рядовая посадка		групповая посадка		солитер	
	Ель					
	сибирская	колючая	сибирская	колючая	сибирская	колючая
«удовлетворительные»	3,9 – 4,2	4,4 – 4,7	5,0 – 5,3	4,5 – 4,8	12	-
«напряженные»	3,6 – 3,9	3,6 – 3,8	4,0 – 4,3	4,0 – 4,3	11,7	-
«конфликтные»	3,3 – 3,5	2,8 – 3,0	3,3 – 3,5	3,6 – 3,8	-	-
«критические»	3,1 – 3,3	2,6 – 2,9	3,1 – 3,3	3,2 – 3,4	9,1	9,1

На основании результатов фенологических наблюдений определены оптимальные сроки мероприятий по уходу за насаждениями (таблица 3).

Таблица 3 – Сроки проведения операций по уходу за насаждениями

Ель	Тип условий произрастания	Мероприятие по уходу за насаждениями		
		пинцирование	омывание кроны (2 раза в год)	
сибирская	«удовлетворительные»	25 мая – 10 июля	до 30 апреля	после 1 августа
	«напряженные»			после 15 июля
	«конфликтные»	31 мая – 10 июля	до 10 мая	
	«критические»	10 июня – 10 июля	до 25 мая	
колючая	«удовлетворительные»	15 июня – 10 июля	до 25 мая	после 15 июля
	«напряженные»			
	«конфликтные»			
	«критические»	30 июня – 10 июля	до 20 мая	

Посадка ели сибирской не рекомендуется в затененных местах на расстоянии менее 10,0 м от стен высотных зданий; при выборе систем подсветки деревьев необходимо соблюдать уровень освещенности ели не более 18000 люкс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственные насаждения урбанизированных территорий играют значительную роль в формировании комфортной окружающей среды. При озеленении городских пространств следует высаживать ели сибирскую и колючую для придания Красноярску облика сибирского города. Анализ таксационных показателей данных видов, произрастающих в насаждениях с различной пространственной структурой под влиянием дифференцированного уровня антропогенной нагрузки, выполнен в возрастной динамике. Математические модели показателей роста позволяют прогнозировать рост древесных растений в различных условиях произрастания на стадии проектирования городских объектов озеленения. Результаты фенологических исследований отражают изменчивость прохождения определенных этапов и позволяют установить сроки проведения мероприятий по уходу за насаждениями данных видов. Реакция ели сибирской, произрастающей в условиях постоянного затенения, проявляется в виде снижения фитонасыщенности и изменении формы кроны на более узкокронную. Дополнительное ночное освещение ели колючей способствует потере устойчивости к абиотическим факторам среды и ускоряет процесс деградации насаждений. Внедрение разработанных рекомендаций позволит повысить устойчивость, декоративность и долговечность искусственных насаждений ели в условиях городской среды.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Исследование фенологического цикла ели сибирской и колючей в условиях сибирского города // Хвойные бореальной зоны. Том 39. №2 – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2021 – С. 81 – 89
2. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Исследование степени поврежденности ели сибирской и колючей в зависимости от градорастительных условий произрастания // Хвойные бореальной зоны. Том 38. №5 – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020 – С. 215 – 224
3. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Оценка точности безбазисного метода определения биометрических параметров древесных растений // Хвойные бореальной зоны. Том 36. №2 – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2018 – С. 123 – 132
4. Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., **Извеков А.А.** Динамика формирования урбанизированной среды (на примере г. Красноярска) // Системы. Методы. Технологии. №2 (14) – Братск: БрГУ, 2012 – С. 130 -138

Публикации в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus

5. Avdeeva E.V., **Izvekov A.A.** Assessment of the Impact of Air Pollution on Plants in the City of Krasnoyarsk // International Science and Technology Conference FarEastCon

2020 – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2021. Volume 1079. Chapter 3. IOP Publishing

6. Avdeeva E.V., **Izvekov A.A.** Analysis of the growing conditions of the growth of woody plants in an urbanized environment // International Science and Technology Conference FarEastCon 2020 – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2020. Volume 735. Chapter 1. IOP Publishing

В других изданиях

7. Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., **Извеков А.А.** Ландшафтные ресурсы - основа формирования системы озеленения городов (на примере г. Красноярска и его зеленой зоны) // Вестник БГУ. серия 2 - №2 - Минск, 2012 – С. 90-96

8. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Общая эстетическая оценка древесных растений по отношению к типу растительной группировки // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: XII Международная научно-техническая конференция 21-22 мая 2019: – Екатеринбург: УГЛТУ, 2019 - С. 258 – 261

9. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Рекогносцировочное обследование насаждений ели сибирской и ели колючей на объектах озеленения города Красноярска // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: всероссийская научно-практическая конференция 7 декабря 2017 г.: – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. – С. 11-15

10. Авдеева Е.В., **Извеков А.А.** Воздействие дополнительного декоративного освещения на городские зеленые насаждения // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием): – Красноярск: СибГТУ, Том 1, 2014. – С. 56-59

Патенты

11. Патент № 2534380 Российская Федерация, МПК G01C15/06. Масштабное устройство для измерения биометрических параметров древесных растений / Е.В. Авдеева, **А.А. Извеков**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет». - №2013129184/28; заявл. 25.06.2013; опубл. 27.11.2014, Бюл. 33.

12. Патент № 2534381 Российская Федерация, МПК G01C15/06. Способ измерения биометрических параметров древесных растений / Е.В. Авдеева, **А.А. Извеков**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет». - № 2013129185/28; заявл. 25.06.2013; опубл. 27.11.2014, Бюл. 33.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных 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 № 3128

Отпечатано в редакционно-издательском центре

СибГУ им. М.Ф. Решетнева

660049, г. Красноярск, проспект Мира, 82

Тел. (391) 222-73-28