

На правах рукописи



Лебедев Александр Вячеславович

**ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ И СРЕДООБРАЗУЮЩИХ
СВОЙСТВ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
(на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии)**

Специальность

06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2019

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева).

- Научный руководитель:** **Дубенок Николай Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева
- Научный консультант:** **Кузьмичев Валерий Васильевич** – доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева
- Официальные оппоненты:** **Черных Валерий Леонидович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», кафедра лесоводства и лесоустройства, профессор
Коротков Сергей Александрович – кандидат биологических наук, Мытищинский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Лесоводство, экология и защита леса», доцент
- Ведущая организация:** ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (Пушкино)

Защита диссертации состоится 25 декабря 2019 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.220.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литер У, Зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» www.spbftu.ru.

Автореферат разослан «___» октября 2019 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
 профессор, доктор сельскохозяйственных наук



А. В. Жигунов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Лесные массивы являются важным элементом городской инфраструктуры и играют большую роль в социально-экономическом развитии территорий, в поддержании параметров окружающей среды в состоянии, благоприятном для проживания людей. Возрастающие темпы роста урбанизированных территорий, развитие технологий создают новые риски для главных средообразователей – древесных растений. Под действием комплекса неблагоприятных факторов происходит снижение прироста, продуктивности древостоев и, как следствие, интенсивности выполнения ими санитарно-гигиенических функций. Для разработки мероприятий по созданию устойчивых лесных массивов в условиях городов необходимы исследования, направленные на изучение динамики продуктивности и средообразующих свойств древостоев. Проведение таких исследований возможно только при наличии материалов долгосрочных наблюдений на постоянных пробных площадях, которые были накоплены в Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева за более чем 150 лет.

Степень разработанности темы. Вопросам влияния урбанизированной среды на продуктивность древостоев посвящено множество научных работ в России и за рубежом. Но исследования, которые базируются на данных долгосрочных наблюдений за лесными насаждениями на постоянных пробных площадях, практически отсутствуют. Практически не изученным является вопрос динамики экологических функций древостоев разного породного состава и влияния на их выполнение комплекса факторов городской среды.

Цель работы – по материалам долгосрочных наблюдений выявить особенности динамики продуктивности и оценить средообразующие свойства древостоев в условиях мегаполиса.

Задачи исследования:

1) Оценить влияние процесса изменения климата и основных неблагоприятных антропогенных воздействий, связанных с формированием и развитием мегаполиса, на динамику лесного фонда, продуктивность и долговечность древостоев.

2) Проанализировать ряды возрастной динамики показателей продуктивности (средняя высота, запас, фитомасса) чистых и смешанных древостоев по материалам долгосрочных наблюдений на постоянных пробных площадях.

3) Оценить средообразующие свойства (продуцирование кислорода, депонирование углерода, задержание пыли, выделение фитонцидов) древостоев основных лесообразующих пород.

4) Предложить хозяйственные мероприятия по способам формирования существующих и методам создания и выращивания искусственных насаждений, проявляющих устойчивость и долговечность, в условиях урбанизированной среды.

Объектом исследования являются чистые и смешанные древостои естественного и искусственного происхождения, произрастающие в условиях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Научные положения, выносимые на защиту:

1) Климатические изменения и действие антропогенных факторов приводят к снижению продуктивности древостоев, ускорению их жизненного цикла. В результате совокупного влияния этих факторов происходит вытеснение хвойных пород широколиственными.

2) Каждый древостой имеет индивидуальную динамику таксационных показателей, которая значительно отклоняется от данных таблиц хода роста.

3) Средообразующие свойства значительно различаются по степени их проявления в онтогенетическом цикле, зависят от древесной породы и интенсивности действия неблагоприятных факторов.

4) Наиболее устойчивыми к действию комплекса неблагоприятных антропогенных факторов и климатическим изменениям оказываются смешанные многоярусные хвойно-лиственные древостои, но их выращивание невозможно без проведения хозяйственных мероприятий (создание лесных культур, рубки ухода, переформирования и др.).

Научная новизна работы. На материалах долговременных наблюдений показано, что продуктивность лесных растительных сообществ зависит не только от временного фактора, но и более сильное влияние оказывают условия внешней среды, в частности климат и разнообразные антропогенные воздействия. Проведены анализ и обобщение многолетних материалов по изменениям продуктивности древостоев основных лесообразующих пород и их взаимодействию при совместном росте. Дана оценка средообразующих свойств древостоев в процессе их динамики.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в расширении современных знаний о закономерностях возрастной динамики древостоев. Выявлены влияние климатических изменений и действие негативных факторов урбанизированной среды на снижение продуктивности городских лесов, ускорение процесса их старения. На основе полученных результатов даны практические рекомендации по формированию существующих и созданию новых лесов защитного значения в условиях города Москвы. Рекомендованы разновозрастные, сложные насаждения с первым ярусом из сосны и лиственницы и вторым ярусом из широколиственных пород (липа, клен, дуб), при выращивании которых необходимо проведение хозяйственных мероприятий (создание лесных культур, рубки ухода, переформирования и др.). Результаты исследований внедрены в учебный процесс РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, а также в производственную деятельность УНКЦ «Лесная опытная дача».

Методология и методы исследования. В диссертационной работе использована методология, базирующаяся на экспериментальных данных, полученных в процессе наблюдений за древостоями на протяжении более 150 лет на постоянных пробных площадях, анализе, синтезе и современных математических и статистических методах, применяемых для обработки результатов полевых исследований в естественных науках.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается большим объемом экспериментального материала (81 постоянная пробная площадь, где

наблюдения ведутся с 1862 года), репрезентативно представляющего объект исследования. Достоверность сделанных выводов подтверждена соответствующими статистическими критериями, использованием современных методов обработки и интерпретации полученных результатов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационных исследований апробированы на конференциях различного уровня: «Международная научно-практическая конференция, посвященная 200-летию Н. И. Железнова» (Москва, 2016), «Международная научно-практическая конференция, посвященная 130-летию Н. И. Вавилова» (Москва, 2017), всероссийская конференция «Биологические ресурсы: изучение, использование, охрана» (Вологда, 2018), международная научно-практическая конференция «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2018), международная научно-практическая конференция «Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды» (Гомель, 2018), всероссийская (с международным участием) научная конференция «Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: современное состояние и перспективы» (Кологрив, 2018), всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные проблемы урболесоведения: город, лес, человек» (Москва, 2019).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, включенных в «Перечень...» ВАК.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, разработке методики работ, сборе экспериментальных материалов, обработке данных, анализе и интерпретации полученных результатов.

Структура и объем работы. Основной текст диссертации изложен на 183 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, выводов и рекомендаций, списка литературы (298 наименований, из них 32 на иностранных языках). Работа иллюстрирована 40 рисунками, содержит 28 таблиц, дополнительный материал представлен в виде 11 приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю академику РАН, д-ру с.-х. наук, проф. Н. Н. Дубенку, научному консультанту д-ру биол. наук, проф. В. В. Кузьмичеву, многочисленным поколениям лесоводов Тимирязевской академии, которые на протяжении 150 лет создавали, выращивали, сберегали леса, закладывали опыты и внесли огромный вклад в лесоводственную науку.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса

В главе приводится обзор литературы по следующим вопросам: общая характеристика научных исследований в Лесной опытной даче; изучение продуктивности древостоев; роль древесных растений в формировании городской среды; влияние антропогенных факторов на древесные растения.

Первые научные исследования в Лесной опытной даче Петровской земледельческой и лесной академии были проведены под руководством А. Р. Варгаса де Бедемара, составившего рукописный отчет «Таксация Лесной дачи Петровской земледельческой академии» (1863), который является первым источником, включающим в себя научно-обоснованный проект ведения лесного хозяйства и сведения о состоянии лесных насаждений. В дальнейшем научные исследования были посвящены вопросам создания новых лесов (Турский, 1878, 1881, 1882, 1883; Молчанов, 1880, 1882; Советов, 1901; Тимофеев, 1947, 1957, 1961), введения интродуцированных древесных пород в состав насаждений (Нестеров, 1935; Эйтинген, 1938; Расторгуев, 1955), роста и продуктивности древостоев (Нестеров, 1935; Эйтинген, 1918, 1946; Кротова, 1963; Тимофеев, 1973; Михальченко, 1989, 1990; Поляков, Савельев, 2002; Поляков, 2005, 2009; Кузьмичев, 2015), влияния городской среды на состояние насаждений (Ларина, Паракин, 1983; Кузнецов, 1985; Кузнецов, Мосина, Автухович, 1985; Наумов, Бардачева, 2008; Васенев, Буринова, Яшин, 2011; Лукьянов, 2012; Лебедев, Кузьмичев, 2018).

Результаты исследований по вопросу древесной продуктивности древостоев изложены в работах многих авторов, например: А. В. Тюрина (1931), Н. В. Третьякова (1937), Г. С. Разина (1970), Ф. П. Моисеенко (1973), В. В. Загреева (1978), Н. Н. Свалова (1979), И. Я. Лиёпы (1980), В. В. Антанайтиса, В. В. Загреева (1981), В. К. Хлюстова (1993), А. И. Колтуновой (2004), А. З. Швиденко с соавт. (2006), Ю. П. Демакова с соавт. (2011; 2013), Д. В. Черных (2014) и др. В последние десятилетия в нашей стране проводится большое количество исследований, посвященных изучению биологической продуктивности лесов, в том числе связанных с оценкой их роли в глобальных экологических циклах и регуляции климата. Результаты изучения биологической продуктивности древостоев отражены в работах А. И. Уткина (2003), В. А. Усольцева (1988, 2002, 2010, 2014), А. З. Швиденко с соавт. (2006). Изучению экологической продуктивности древостоев основных лесобразующих пород посвящены работы С. В. Белова (1964), И. Я. Лиёпы (1980), И. П. Лакиды (2013), А. Л. Мусиевского, В. А. Бугаева (2016), Н. Н. Дубенка, В. В. Кузьмичева, А. В. Лебедева (2018) и др.

Роли древесных растений в формировании городской среды посвящены исследования С. В. Белова (1964), Н. В. Подзорова (1967), В. Т. Николаенко (1981), А. К. Артюховского (1985), В. В. Успенского (1991), М. В. Григорьевой (2000), В. Д. Балычева (2004), Ю. И. Перепечина (2006), Е. В. Авдеева (2008), А. А. Матвеевой (2011), А. С. Иванова (2014), А. А. Плужникова (2014) и др.

Урбанизированная среда оказывает существенное влияние на физиологические процессы, происходящие в древесных растениях, на динамику роста и продуктивности древостоев. Воздействию антропогенных факторов на древесные растения посвящены работы Т. В. Черненьковой (1986), В. И. Воронина (1989), Р. А. Юкниса (1990), М. В. Никонова (2002), С. Н. Волкова (2000, 2005), П. А. Феклистова (2005), А. С. Алексеева (1993, 2005), А. А. Мартынюка (2006), Е. В. Авдеевой (2008), А. С. Сухорукова (2008) и др.

В то же время большое количество вопросов, связанных с динамикой древостоев различных пород в городских лесах, особенностями их продуцирования и оценками выполнения ими разносторонних полезных функций, является малоизученным. Древостои Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева являются типичными для условий города Москвы, поэтому полученные результаты могут быть применимы и к другим лесным массивам мегаполиса.

2. Объект, методы и объем выполненных работ

Программой исследований предусматривалось решение следующих вопросов:

- 1) Составление методики анализа экспериментальных данных.
- 2) Выявление основных антропогенных факторов, оказывающих негативное влияние на лесные экосистемы, и направления происходящих климатических изменений.
- 3) Анализ влияния климатических изменений и антропогенных факторов на продуктивность и средообразующие свойства древостоев.
- 4) Изучение динамики показателей роста и продуктивности древостоев основных лесообразующих пород Лесной опытной дачи на постоянных пробных площадях.
- 5) Оценка средообразующих свойств древостоев основных лесообразующих пород Лесной опытной дачи.
- 6) Разработка практических рекомендаций по повышению устойчивости и долговечности древостоев в условиях урбанизированной среды.

В качестве объекта исследования выступают древостои основных лесообразующих пород Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Лесная опытная дача расположена в Северном административном округе города Москвы и составляет юго-западную часть землепользования Тимирязевской сельскохозяйственной академии. По природным условиям территория относится к южной подзоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. Основными лесообразующими породами являются сосна, лиственница, дуб, береза.

Материалами для исследования послужили результаты 10 инвентаризаций лесного фонда Лесной опытной дачи (1862, 1887, 1915, 1935, 1945, 1955, 1962, 1973, 1987, 2009 годы). Для характеристики лесного фонда использовались такие показатели, как площадь, запас, средний прирост по запасу, средний возраст, средняя полнота. В работе используются материалы по 70 постоянным пробным площадям в чистых древостоях сосны, лиственницы, березы и дуба, первые из которых были заложены в 1862 году. Из них 7 пробных площадей - в сосновых древостоях естественного происхождения, 16 - в культурах сосны без рубок ухода, 17 - в культурах сосны с рубками ухода, 13 - в культурах лиственницы, 9 - в березовых древостоях и 8 - в дубовых. Кроме того, используются данные по 11 постоянным пробным площадям, заложенным в смешанных древостоях (сосна с лиственницей, сосна с липой, сосна с кленом и лиственница с липой).

Для сопоставления процессов, протекающих в лесном фонде, с неблагоприятными воздействиями были привлечены климатические показатели и данные по характеру и степени напряженности антропогенных воздействий на лесные экосистемы. В работе используются результаты многолетних наблюдений (с 1821 года) на Метеорологической обсерватории имени В. А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, Константиновского межевого института, метеостанции ВДНХ. Среднегодовая температура и суммы осадков рассчитывалась за гидрологический год (Нестеров, 1935). Для суждения о тепловом режиме и режиме влажности вегетационного периода использовались такие показатели, как сумма положительных средних месячных температур и показатель влажности климата (Воробьев, 1963).

Выравнивание зависимости средних высот от возраста проводилось с использованием ростовой функции Митчерлиха. При сопоставлении роста древостоев по средней высоте на постоянных пробных площадях с срединными линиями классов бонитета в основу была положена выровненная и дополненная шкала распределения семенных и порослевых насаждений по классам бонитета М. М. Орлова (Швиденко и др., 2006). При выравнивании зависимостей средних диаметров и числа деревьев от возраста использовались методические приемы и рекомендации, изложенные в работах Н. С. Нестерова (1935), В. В. Кузьмичева (2015). Запас рассчитывался через произведение суммы площадей сечений на видовую высоту. Зависимости видовой высоты от средней высоты древостоев были получены по региональным таблицам хода роста (Швиденко и др., 2006).

Фитомасса фракций древостоев и чистая первичная продукция оценивались по регрессионным уравнениям, коэффициенты которых рассчитаны по материалам базы данных биологической продуктивности древостоев Евразии (Усольцев, 2010). Текущий прирост по наличной фитомассе древостоев на пробных площадях путем графического анализа сопоставлялся с данными региональных таблиц биологической продуктивности (Швиденко с соавт., 2006).

Кислородопродуктивность определялась из расчета, что при образовании 1 т абсолютно сухого органического вещества выделяется 1393-1423 кг кислорода (Воронцов, Харитонов, 1971; Чесноков, Долгошеев, 1978; Лиена, 1980). Количество депонированного углерода рассчитывалось через конверсионные коэффициенты фитомассы (Уткин, Замолодчиков, Пряжников, 2003). По значениям наличной фитомассы листвы найдены индексы листовой поверхности по аллометрическим уравнениям, предложенным А. И. Уткиным с соавт. (2008).

Для оценки фитонцидной активности древостоев Лесной опытной дачи использовалась шкала фитонцидной активности древесных пород, предложенная М. В. Григорьевой (2000). Потенциальная пылезадерживающая способность древостоев рассчитывалась с привлечением литературных данных (Кретинин, Селянина, 2006). Оценки продуцирования кислорода, депонирования углерода, осаждению пыли и выделению фитонцидов древостоями, полученные в работе, стоит считать приближенными, так как на данный момент имеется много неопределенностей при нахождении как фитомассы растущей части древостоев, так и

чистой первичной продукции. Однако для целей сравнения отдельных древесных пород они вполне пригодны.

В процессе исследования был выполнен следующий объем полевых и камеральных работ:

- 1) Проанализированы ряды динамики среднегодовой температуры атмосферного воздуха (с 1821 года) и годового количества осадков (с 1881 года).
- 2) Проанализированы материалы десяти инвентаризаций Лесной опытной дачи (1862, 1887, 1915, 1935, 1945, 1955, 1962, 1973, 1987, 2009 года).
- 3) За период с 2011 по 2018 годы проведены лесоучетные работы на 68 постоянных пробных площадях при непосредственном участии автора.
- 4) Отобраны, систематизированы, проверены материалы более 800 перечетов (с 1862 года) на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи.
- 5) Изучена динамика продуктивности и средообразующие свойства чистых и смешанных древостоев на 81 постоянной пробной площади.

3. Изменения параметров окружающей среды и лесного фонда

Первоначально хозяйство в Лесной опытной даче было направлено на обеспечение Петровской земледельческой и лесной академии древесиной, а также получения прибыли от ее реализации. С 1930-ых годов были запрещены сплошные рубки, поэтому в древостоях проводились только рубки ухода и санитарные рубки. В 1970-1980-ые годы насаждения Лесной опытной дачи стали рассматриваться не как источник получения древесины, а как важный элемент озеленения города Москвы.

Данные постоянных метеорологических наблюдений свидетельствуют, что произошли значительные изменения климата как в целом для территории города Москвы, так и Лесной опытной дачи, входящей в его границы. Результаты расчетов показывают, что в период с 1894-1895 по 2015-2016 гидрологические годы среднегодовое увеличение температуры составило $0,029 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{год}^{-1}$.

В тенденции изменения годового количества осадков можно выделить три этапа. С 1881-1882 по 1908-1909 гидрологический год был этап стабилизации количества выпавших осадков около значения 600 мм. С 1909-1910 до 1988-1989 гидрологического года происходило постепенное увеличение количества осадков до 700 мм, в дальнейшем стабилизировавшегося около этого значения. За период с 1908-1909 по 1988-1989 гидрологический год произошло увеличение количества выпавших осадков на 100 мм. Среднегодовое увеличение составило $1,3 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$. Отмеченное ранее повышение среднегодовых температур за последние 20-30 лет не компенсируется увеличением годового количества осадков, поэтому создается проблема обеспеченности лесных насаждений влагой.

Из проведенных расчетов следует, что в период с 1881 по 2016 годы территория Лесной опытной дачи по показателю увлажненности климата сместилась в сторону засушливых условий (от 3,1 до 2,3), а по показателю теплообеспеченности – от 77° до 95° в направлении более мягкого климата

(рисунок 1). Таким образом, по теплообеспеченности и увлажненности климат приблизился к лесостепному.

На протяжении более 150 летнего периода выращивания древостоев в Лесной опытной даче оказывали свое влияние разнообразные антропогенные факторы, такие как использование территории в целях рекреации, выбросы железнодорожного и автомобильного транспорта, промышленных предприятий и др. Снижение выбросов от автотранспорта и промышленных предприятий, использование на железной дороге электрической тяги способствуют уменьшению поступающих выбросов в насаждения Лесной опытной дачи. В ближайшие десятилетия основным фактором, лимитирующим рост древесных насаждений, будет являться использование территории в целях рекреации.

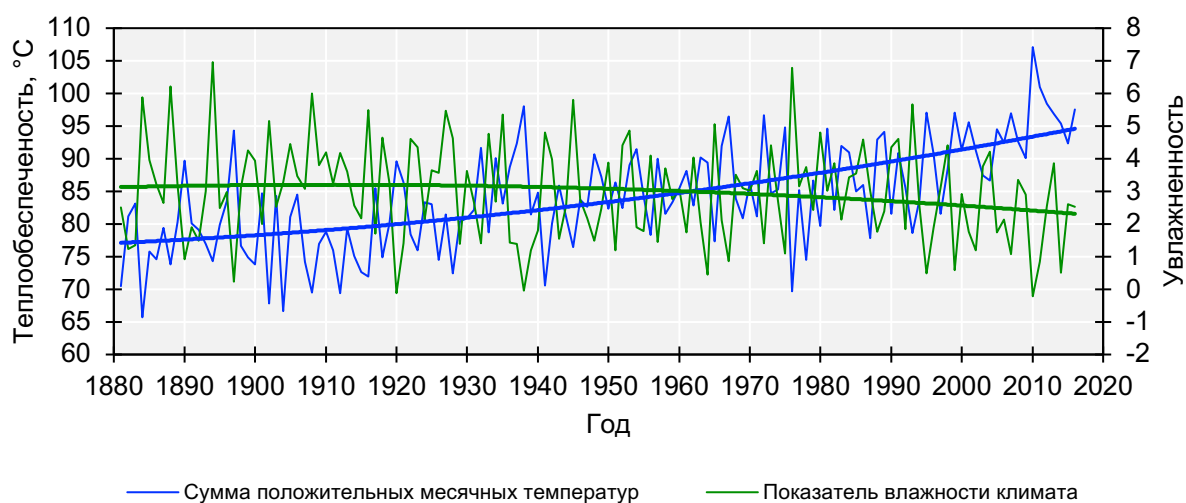


Рисунок 1. Динамика показателей теплообеспеченности и влажности климата (по методике Д. В. Воробьева)

Происходящие изменения в окружающей среде, наряду с естественными сукцессионными процессами, привели к изменениям в лесном фонде. Преобладавшие сосновые древостои естественного происхождения практически разрушились, но одновременно происходил процесс увеличения доли наиболее устойчивых к условиям города древесных пород: лиственницы, березы, дуба. Материалы наблюдений показывают, что в насаждениях Лесной опытной дачи протекает процесс увеличения доли широколиственных пород как по площади, так и по запасу, а также их перехода из второго яруса в первый. Эти факты подкрепляют предположения о наличии тенденции восстановления хвойно-широколиственных лесов, чему способствуют происходящие климатические изменения.

4. Анализ динамики показателей роста и продуктивности отдельных древостоев

В древостоях на всех рассматриваемых постоянных пробных площадях ряды роста по средней высоте в большинстве случаев не соответствуют линиям из бонитетной шкалы. Вначале происходит постепенное увеличение класса бонитета древостоя, а в дальнейшем - его снижение. Анализ изменения древостоями класса бонитета в промежуток от 20 до 100 лет показал, что только на 5%

постоянных пробных площадей динамика средних высот древостоев соответствует возрастному тренду из бонитетной шкалы (таблица 1). Для сосновых древостоев естественного происхождения в большинстве случаев разница между наивысшим и наименьшим классами бонитета составляет 3 класса (62,5%), для лесных культур сосны – 1 и 2 класса (80,0%), для лесных культур сосны с уходом – 1 класс (58,8%), для лиственницы – 2 класса (43,8%), для дуба – 2 класса (62,5%) и для березы - 1 класс (44,4%).

Таблица 1. Разность между наивысшим и наименьшим классами бонитета в возрастном промежутке от 20 до 100 лет

| Древостои | Количество пробных площадей по разности между наибольшим и наименьшим классами бонитета, шт. | | | | | |
|---|--|----|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Сосновые естественного происхождения | 1 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 |
| Сосновые искусственного происхождения без ухода | 1 | 6 | 6 | 2 | 0 | 0 |
| Сосновые искусственного происхождения с уходом | 0 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| Лиственничные | 1 | 5 | 7 | 2 | 1 | 0 |
| Дубовые | 0 | 2 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Березовые | 1 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 |

За рассматриваемый период максимальное изменение класса бонитета прослеживается в сосняках естественного происхождения и составляет $2,3 \pm 0,4$ класса. При этом для лесных культур сосны без ухода среднее изменение составило $1,6 \pm 0,2$ класса, для лесных культур сосны с уходом – $1,4 \pm 0,1$ класса, для лиственничных древостоев – $1,8 \pm 0,2$ класса, для березовых древостоев – $1,9 \pm 0,5$ класса и для дубовых древостоев – $1,9 \pm 0,2$ класса.

На изменение средних диаметров древостоев на пробных площадях Лесной опытной дачи существенное влияние оказывают два фактора: густота древостоя и интенсивность воздействия антропогенных факторов. С увеличением среднего расстояния происходит закономерное увеличение среднего диаметра древостоя. Таким образом, чем ниже густота, тем больше средний диаметр. Наиболее сильное влияние на средний диаметр оказывает густота в молодом возрасте, а в спелых и перестойных сосновых древостоях эта зависимость является менее выраженной. В древостоях, расположенных в центре лесного массива, начиная с возраста 40 лет, значения средних диаметров больше, чем в сосновых древостоях около дороги, где насаждения испытывают негативное влияние, как от выбросов автомобильного транспорта, так и от повышенных рекреационных нагрузок.

Текущий прирост по запасу является одним из основных критериев оценки воздействия на древостои природных и антропогенных факторов (Лиёпа, 1980). В исследуемых древостоях сосны на постоянных пробных площадях кривая зависимости текущего прироста от возраста не является одновершинной. За рассматриваемый временной период формируется, как правило, два максимума текущего прироста (рисунок 2). Во всех рассматриваемых случаях величина текущего прироста в первом максимуме больше, чем во втором, например, в сосновых древостоях естественного происхождения - в 1,7 раза ($9,6 \pm 0,3 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ и

$5,6 \pm 0,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), в культурах без ухода - в 3,9 раза ($10,9 \pm 0,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ и $3,9 \pm 0,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) и в культурах с уходом - в 5,8 раза ($11,8 \pm 0,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ и $2,0 \pm 0,2 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Резкие различия в величине первого и второго максимумов текущего прироста в культурах объясняются различной начальной плотностью.

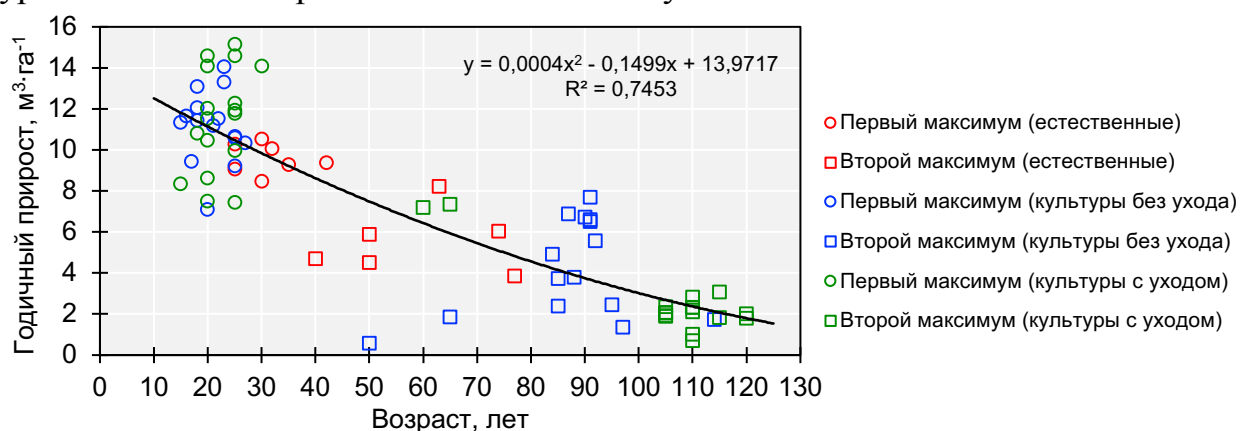


Рисунок 2. Соотношение между возрастом и значением максимумов текущего прироста по наличному запасу в сосновых древостоях

Различия в возрасте достижения первого максимума текущего прироста в культурах с уходом (22 ± 1 год) и без ухода (21 ± 1 год) статистически недостоверны. Рубки ухода способствуют увеличению возраста наступления второго максимума текущего прироста. В древостоях, пройденных рубками ухода, средний возраст наступления второго максимума составляет 104 ± 4 года, а в культурах без ухода - 88 ± 4 года. В древостоях естественного происхождения первый максимум текущего прироста наступает позже (31 ± 2 года), чем в культурах, но при этом значительно раньше кривая достигает второго максимума (59 ± 6 лет).

В древостоях лиственницы на постоянных пробных площадях формируется один максимум кривой зависимости текущего прироста от возраста. Средний возраст наступления максимума составляет 41 ± 4 года, а значение максимального текущего прироста - $10,7 \pm 0,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. В культурах, созданных в 1930-1970-ые годы, старение древостоев происходит быстрее, чем в культурах, созданных в 1870-1890-ые годы. Влияния начальной плотности посадки на максимальное значение текущего прироста и возраст его наступления не выявлено.

В дубовых древостоях, как правило, формируются три максимума кривой зависимости текущего прироста от возраста. В березовых древостоях за период наблюдений было достигнуто до четырех максимумов кривой зависимости текущего прироста по запасу от возраста. Значения приростов в третьем и четвертом максимумах значительно меньше, чем в первом и втором.

Древостои на постоянных пробных площадях имеют динамику запаса, сильно отличающуюся от тех закономерностей, которые отображены в таблицах хода роста насаждений. В большинстве таблиц хода роста показано изменение таксационных показателей до возраста технической спелости древостоев, когда достигается максимальный запас и на некоторое время происходит его стабилизация, а этап естественного распада остается не рассмотренным, так как в этот период древостои уже не имеют высокой хозяйственной ценности.

На 5 из 7 постоянных пробных площадей с сосновыми древостоями естественного происхождения произошел их полный распад в возрасте 120-150 лет (рисунок 3). Максимум наличного запаса приходится в среднем на возраст 82 ± 5 лет ($339 \pm 44 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). В культурах без ухода (рисунок 4) на возраст достижения максимума запаса существенное влияние оказывает начальная плотность ($r=0,874$): чем выше плотность посадки, тем позже наступает максимум. Средняя корреляция выявлена между плотностью посадки и величиной максимального запаса ($r=0,631$). Год создания лесных культур также вносит свои коррективы в максимум запаса ($r=-0,433$). Культуры, созданные в период с 1900 по 1940 годы, являются менее продуктивными, чем культуры, созданные в период с 1870 по 1895 годы. Рубки ухода в сосновых культурах проводились в первые 40-60 лет выращивания, и они не повлияли на максимальную продуктивность древостоев по запасу: различия средних значений максимального запаса в культурах без ухода и с уходом не являются статистически значимыми ($t_{\text{факт.}}=0,42$; p -значение= $0,69$). Эффект от рубок проявлялся только в течение 10-15 лет после их проведения.

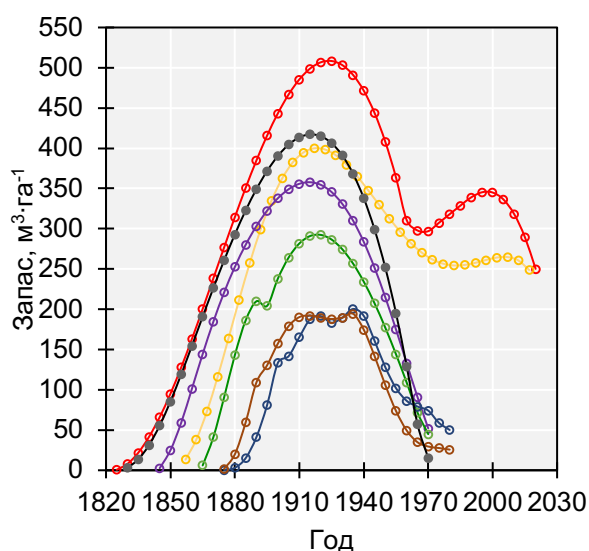


Рисунок 3. Динамика запаса сосновых древостоев естественного происхождения на пробных площадях

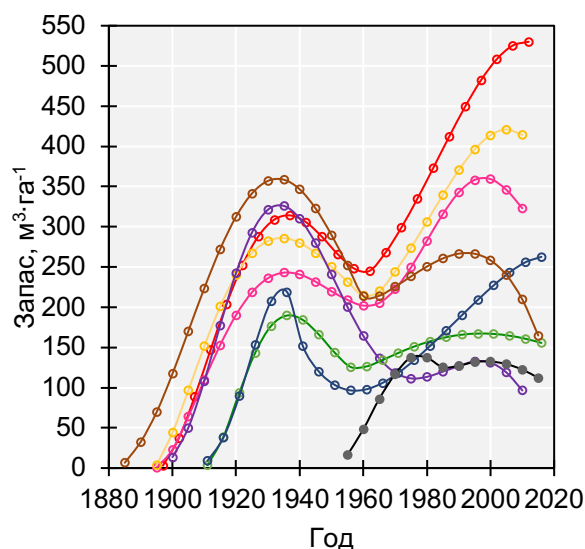


Рисунок 4. Динамика запаса в культурах сосны на пробных площадях

Древостой березы (рисунок 5) и дуба (рисунок 6) так же, как и сосновые и лиственничные, произрастают в условиях разнообразных внешних воздействий, меняющихся во времени (климатические изменения, паровозные выбросы в атмосферу, загрязнения от промышленных предприятий и автотранспорта, большое число отдыхающих на природе и др.), одним из последствий которых является ускорение их жизненного цикла.

Кривые возрастной динамики запаса и фитомассы имеют до 4 точек кульминации, наличие которых показывает, что в процессе роста параметры древостоев находятся в колеблющемся состоянии относительно некоторого оптимума. При достижении максимальной продуктивности усиливается отпад, что приводит к снижению конкуренции в древостое. После этапа изреживания начинается интенсивный прирост деревьев с целью захвата освобожденного пространства.

Сопоставление кривых зависимости чистой экосистемной продукции древостоев на пробных площадях с данными таблиц биологической продуктивности указывает на значительные различия между ними.

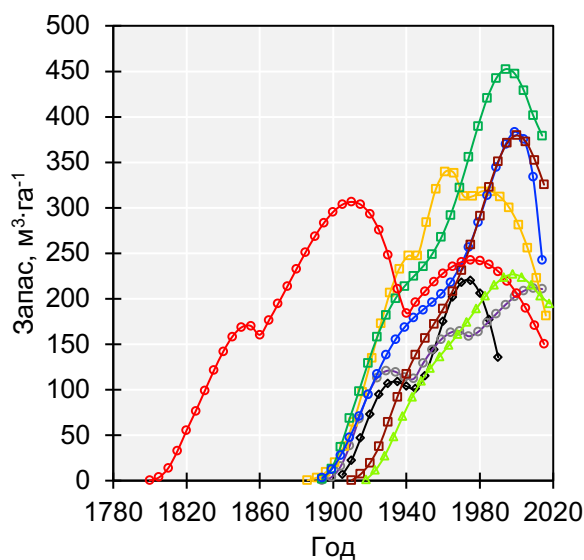


Рисунок 5. Динамика запаса дубовых древостоев на пробных площадях

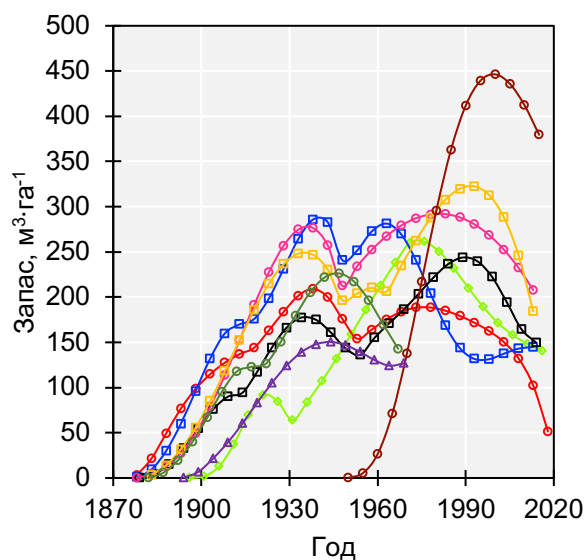


Рисунок 6. Динамика запаса березовых древостоев на пробных площадях

5. Взаимодействие пород и формирование смешанных древостоев

Смешанные многоярусные насаждения являются наиболее устойчивыми к различным энтомовамредителям и болезням, чрезмерным рекреационным нагрузкам, действию выбросов промышленных предприятий и автотранспорта по сравнению с одноярусными чистыми древостоями. Материалы многолетних наблюдений за древостоями Лесной опытной дачи позволяют изучить взаимодействие древесных пород при их совместном произрастании и выявить основные направления смены породного состава насаждений на постоянных пробных площадях.

Перспективными в условиях городов являются смешанные сосново-лиственничные культуры со вторым ярусом из широколиственных пород, которые улучшают выполнение насаждениями средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных функций. Сосна компенсирует низкую продуктивность лиственницы в молодости, а к моменту полного разрушения соснового элемента леса лиственница формирует максимально продуктивные древостои.

В Лесной опытной даче происходит смена сосновых насаждений на липовые. В сосновых древостоях 80-120 лет протекает процесс интенсивного возобновления липы. Так как ее кроны являются сильно развитыми и характеризуются высокими значениями индекса листовой поверхности, то они препятствуют поступлению тепла и света под полог, в результате чего отсутствует естественное возобновление других древесных пород. Лиственница в посадках с липой не уступает по продуктивности лиственнице в чистых насаждениях. Затенение кронами липы нижних ветвей лиственницы приводит к их быстрому усыханию и очищению стволов от сучьев.

В древостоях Лесной опытной дачи липа достигает большей продуктивности, чем клен. Но несмотря на отрицательное воздействие обеих древесных пород, естественное возобновление под пологом леса является примерно одинаковым за счет сильно развитых крон, характеризующихся высокими значениями индекса листовой поверхности. Клен и липа являются перспективными древесными породами для создания смешанных и устойчивых насаждений в условиях городов. Но при этом требуются хозяйственные мероприятия, направленные на регулирование численности клена и липы в спелых и перестойных насаждениях с целью содействия естественному возобновлению древесных пород, способных в будущем выйти в первый ярус. В молодняках необходимы мероприятия по регулированию высоты деревьев клена и липы, их густоты, чтобы они не получали преимущества в росте над главной породой.

6. Оценка полезных функций древостоев

Для городских лесов продуцирование запаса не является основной функцией, а на первое место по важности выходят санитарно-гигиеническая, кислородопродуцирующая, углерододепонирующая и другие полезные функции. Расчет различных показателей экологической продуктивности возможен только при наличии данных о биологической продуктивности древостоев, которая является интегральным показателем, характеризующим интенсивность биохимических процессов, протекающих в древесных растениях.

На рисунке 7 представлена динамика положительного кислородного баланса (приходящегося на наличную фитомассу) и депонирования углерода наличной фитомассой древостоев на пробных площадях. Кривые изменения кислородопродуктивности и поглощения углерода имеют несколько точек кульминации. Действие антропогенных факторов (выбросы промышленных предприятий и автотранспорта, рекреация и др.) приводит к снижению выполнения древостоями кислородопродуцирующих и углерододепонирующих функций.

Сопоставление древостоев основных лесообразующих пород позволяет сделать вывод, что лучшей способностью продуцировать кислород и депонировать углерод обладают лиственничные древостои. Благодаря интенсивному росту и небольшому проценту отпада в посадках с начальной густотой 0,7-2,0 тыс. шт.·га⁻¹ древостои лиственницы надолго консервируют атмосферный углерод в стволах деревьев. Кроме устойчивости к действию комплекса неблагоприятных факторов, перегущенные культуры сосны характеризуются высокой кислородопродуктивностью. Менее всего функции продуцирования кислорода и депонирования углерода выражены у березовых древостоев.

На рисунке 8 показана динамика изменения среднесуточного поглощения углекислого газа и выделения кислорода в период вегетации древостоями Лесной опытной дачи. Полученные результаты по кислородопродуктивности и поглощению углерода древостоями Лесной опытной дачи дополняют данные С. В. Белова (1964). Он указывал, что в благоприятные для древесных растений летние дни 1 га леса может продуцировать до 120-150 кг нового органического

вещества, при этом поглощая из атмосферного воздуха 220-280 кг углекислого газа и выделяя 180-220 кг кислорода. Ряды динамики кислородопродуктивности и поглощения углекислого газа были с 1862 по 1915 год практически стабильными: среднесуточное поглощение углекислого газа находилось на уровне около $30 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$, а выделение кислорода – около $23 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. В дальнейшем до 1973 года с увеличением площадей, занятых посадками лиственницы, наблюдается увеличение выделяемого кислорода и поглощаемого углекислого газа. С 1973 по 2009 годы среднесуточное выделение кислорода стабилизируется около значения $27 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$, а поглощение углекислого газа – около $35 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$.

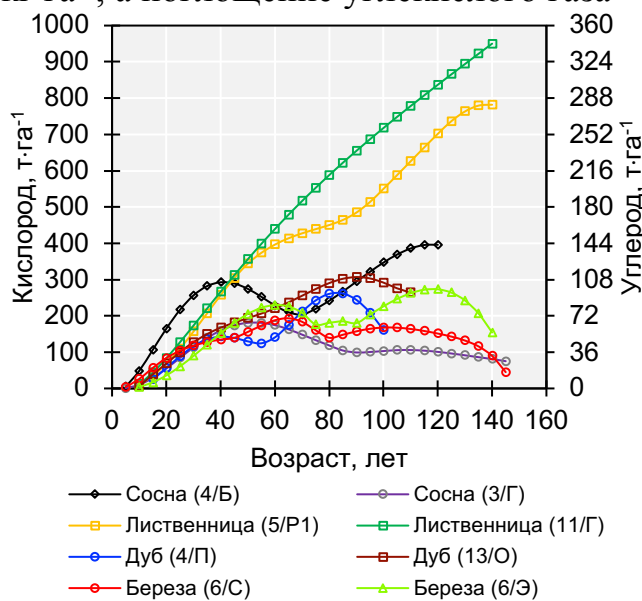


Рисунок 7. Динамика положительного кислородного баланса и депонирования углерода наличной фитомассой древостоев основных лесообразующих пород на пробных площадях

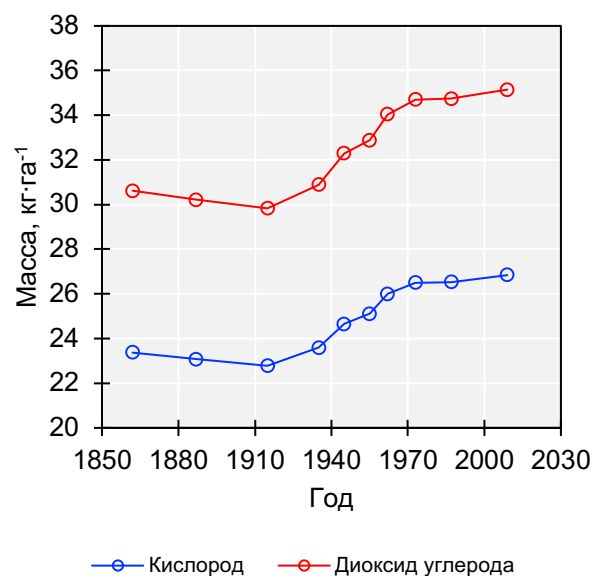


Рисунок 8. Динамика среднесуточного поглощения CO_2 и выделения O_2 в период вегетации древостоями Лесной опытной дачи

В условиях городов важным санитарно-гигиеническим показателем является количественный состав микрофлоры воздуха. Лесные насаждения, выделяя фитонциды, служат хорошими регуляторами качества воздуха. Древесный полог выступает естественным фильтром, в котором задерживаются частички пыли вместе с микроорганизмами, где они подвергаются воздействию фитонцидов, погибают и смываются осадками в почву. С 1862 до 1935 года происходило повышение фитонцидной активности (рисунок 9), что связано с увеличением в результате проводившихся лесовосстановительных работ площадей и запасов древостоев наиболее фитонцидно активных пород. После 1935 года начался процесс активного внедрения в состав лесного фонда широколиственных пород, которые характеризуются низкой фитонцидной активностью, поэтому с 1935 по 1962 год наблюдается резкое снижение показателя средней фитонцидной активности древостоев до 10,3 мин. по площади и 10,0 мин. по запасу.

На рисунке 10 приводится динамика среднесуточного выделения фитонцидов древостоями Лесной опытной дачи по результатам укрупненной оценки.

До 1945 года происходило увеличение выделяемых фитоорганических соединений древостоями, чему способствовало создание сосновых лесных культур на значительных площадях. В 1862 году в сутки в среднем в окружающую среду поступало $4,3 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ фитонцидов, в 1945 году – $4,5 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$.

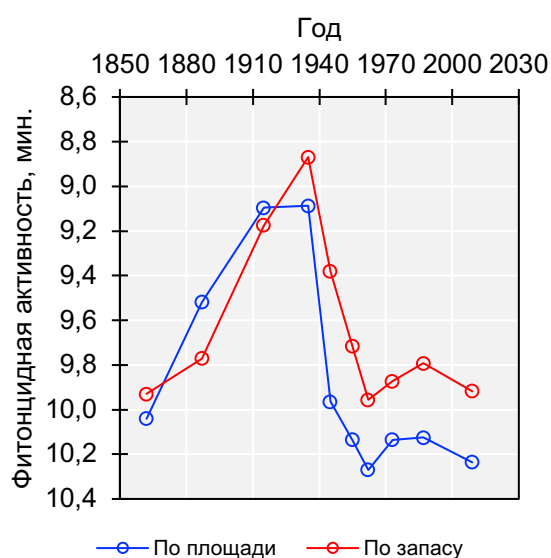


Рисунок 9. Динамика средней фитонцидной активности древостоев Лесной опытной дачи

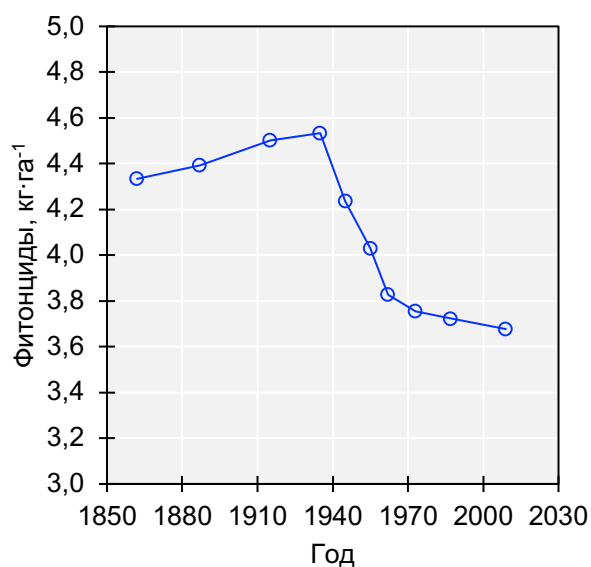


Рисунок 10. Динамика среднесуточного выделения фитонцидов древостоями Лесной опытной дачи

С 1945 по 1973 год наблюдается резкое снижение выделяемых фитонцидов, что обусловлено старением и распадом сосновых древостоев естественного происхождения, вместе с тем происходило увеличение площадей, занятых менее фитонцидными древесными породами. В 2009 году значение среднесуточной фитонцидности составило $3,7 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$. В настоящее время за вегетационный период укрупненная оценка фитонцидности древостоев Лесной опытной дачи составляет 130 т, что свидетельствует о высокой антимикробной активности лесных насаждений и об их большом значении для населения.

На рисунке 11 показана динамика потенциальной пылезадерживающей способности древостоев сосны, лиственницы, березы и дуба на постоянных пробных площадях. Каждый древостой имеет собственную траекторию изменения пылезадерживающей способности с возрастом. Среди всех сравниваемых пород наименьшей пылезадерживающей способностью характеризуются березовые древостои, где максимально возможное количество задерживаемой пыли составляет $320\text{--}330 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ (55-65 лет). В сосновых культурах с начальной густотой $32,0 \text{ тыс. шт.}\cdot\text{га}^{-1}$ на пробной площади 4/Б максимальная пылезадерживающая способность проявляется в возрасте 30 лет и составляет $1500 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$, что почти в пять раз превышает аналогичный показатель для березовых древостоев.

Динамика укрупненной оценки потенциальной пылезадерживающей способности древостоев Лесной опытной дачи показана на рисунке 12. До 1915 года, когда велись активные работы по созданию лесных культур, и на больших площадях вырубались ослабленные, распадающиеся, перестойные древостои сосны

и дуба, наблюдается снижение пылезадерживающей способности от $525 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ в 1862 году до $485 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$ в 1915 году. С 1915 по 1945 годы произошло резкое повышение и стабилизация значения пылезадерживающей способности древостоев на уровне $550 \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$.

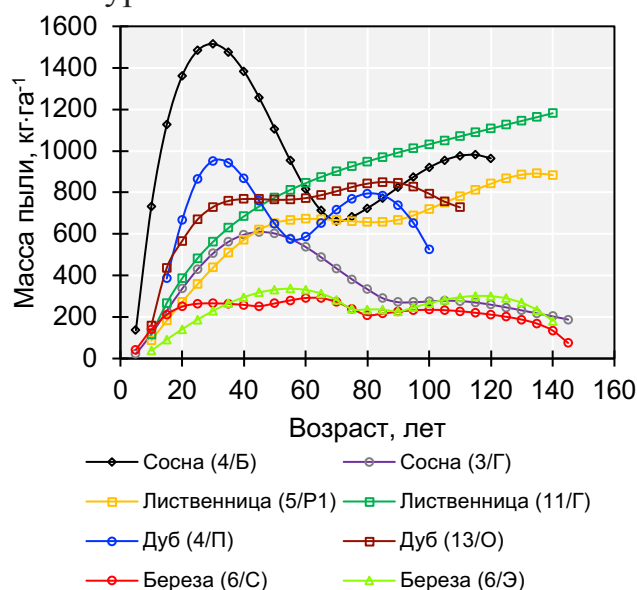


Рисунок 11. Динамика потенциальной пылезадерживающей способности древостоев основных лесобразующих пород на пробных площадях

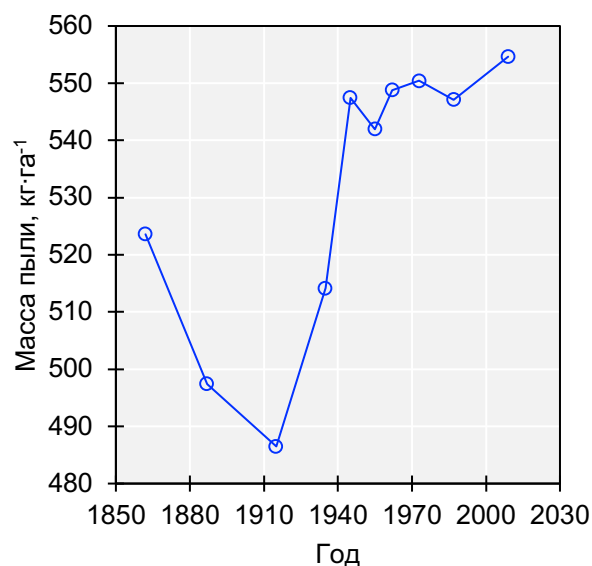


Рисунок 12. Динамика потенциальной пылезадерживающей способности древостоев Лесной опытной дачи

Таким образом, в течение года кронами древостоев Лесной опытной дачи может быть задержано до 7,4 тыс. тонн пыли, которая осадками смывается в почву. Это свидетельствует о большой важности зеленых массивов в поддержании благоприятной окружающей среды для проживания населения.

Заключение

На разных этапах формирования древостоев наиболее сильное влияние оказывали рекреационная нагрузка, выбросы промышленных предприятий, автомобильного и железнодорожного транспорта. Параллельно с этим протекал процесс изменения климата, в результате чего по соотношению тепла и влаги произошла смена климатических условий от характерных для зоны южной тайги до лесостепных, практически сравнявшись с ними. Действие антропогенных факторов привело к снижению продуктивности древостоев, а вместе с происходящими климатическими изменениями — к ускорению жизненного цикла. На большой площади практически исчезли сосновые древостои естественного происхождения, место которых стали занимать древостои с преобладанием широколиственных пород (клен, липа), которые показывают хорошую устойчивость к условиям урбанизированной среды. Вместе с этим культуры лиственницы и перелущенные культуры сосны показали высокую продуктивность и хорошую устойчивость к неблагоприятным воздействиям.

Динамика всех таксационных показателей на постоянных пробных площадях имеет значительные отклонения от данных таблиц хода роста древостоев. Только на 5 % постоянных пробных площадей динамика средних высот древостоев соответствует трендам из бонитетной шкалы. В процессе онтогенеза возрастная динамика числа стволов в древостоях включает до четырех периодов чередования интенсивного отпада с его стабилизацией, поэтому в кривых изменения запаса и фитомассы наблюдается несколько максимумов.

Проведенная оценка степени выполнения полезных функций древостоями в процессе их динамики показала существенные различия, обусловленные возрастом и биологическими особенностями древесных пород. Вместе с этим совокупное действие негативных факторов привело к снижению выполнения средообразующих функций. В наибольшей степени выделение кислорода и фитонцидов, депонирование углерода, пылезадержание выражены в культурах лиственницы, а в наименьшей – в березовых. В пределах городских лесных массивов требуется подбор оптимального сочетания смешения пород, где отдельные древесные виды дополняют друг друга по набору защитных и полезных свойств и обеспечивают максимально благоприятную среду для посетителей.

В существующих насаждениях с целью формирования разновозрастных многоярусных хвойно-широколиственных лесов (первый ярус – сосна, лиственница, второй ярус – липа, дуб, клен) с густо развитым подлеском, проявляющих высокую устойчивость к изменяющимся условиям окружающей среды и максимально полно выполняющих средообразующие функции, должны проводиться рубки реформирования, закладываться лесные культуры в окнах возобновления. При создании новых насаждений необходимо высаживать смешанные лесные культуры (сосна, лиственница с липой, кленом). Для достижения цели ведения хозяйства в городских лесах необходимо проведение рубок ухода.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Дубенок, Н. Н. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды / Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, **А. В. Лебедев** // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. - № 1 (37). – С. 54-71.
2. Дубенок, Н. Н. Динамика лесного фонда Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева за 150 лет / Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, **А. В. Лебедев** // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. Вып. 4. – С. 5-19.
3. Дубенок, Н. Н. Анализ экологических функций древостоев березы и дуба в условиях урбанизированной среды по материалам долгосрочных наблюдений // Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, **А. В. Лебедев** // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. - № 5. – С. 29-31.

Публикации в прочих изданиях:

4. Волков, С. Н. Особенности лесоводственного состояния насаждений Лесной опытной дачи / С. Н. Волков, **А. В. Лебедев** // Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 289. Часть II. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. – С. 368-369.
5. **Лебедев, А. В.** Рост и продуктивность сосновых древостоев в условиях городской среды (на примере Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) / А. В. Лебедев, В. В. Кузьмичев // Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 290. Часть IV. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. – С. 318-320.
6. **Лебедев, А. В.** Анализ роста и продуктивности чистых древостоев лиственницы Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / А. В. Лебедев // Биологические ресурсы: изучение, использование, охрана: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (Вологда, 19-22 апреля 2018 г.). – Вологда: Вологодский государственный университет, 2018. – С. 236-241.
7. **Лебедев, А. В.** Анализ многолетней динамики средних высот сосновых древостоев в Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / А. В. Лебедев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы третьей международной научно-технической конференции. Том 1. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – С. 176-178.
8. **Лебедев, А. В.** Оценка полезных функций древостоев в условиях урбанизированной среды / А. В. Лебедев // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: IV Международная научно-практическая конференция (Гомель, 4–5 июня 2018 года). - Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. – С. 87-89.
9. **Лебедев, А. В.** Продуктивность сосново-лиственничных культур в условиях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / А. В. Лебедев // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: современное состояние и перспективы: Материалы всероссийской (с международным участием) конференции (20-21 сентября 2018 г.). – Кологрив: Государственный заповедник «Кологривский лес», 2018. - С. 19-28.
10. Кузьмичев, В. В. Изменение породного состава насаждений Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева за 150 лет / В. В. Кузьмичев, **А. В. Лебедев** // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях: Вып. 2. – Шушенское: Саяно-Шушенский биосферный заповедник, 2018. – С. 90-94.