

На правах рукописи

Прокопович Ирина Иосифовна

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОСТОВ
ИЗ ДРЕВЕСНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ПРИ
КУЛЬТИВИРОВАНИИ ЛИСТВЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД
В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,
агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Волгоград – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Золотаревский Александр Алексеевич**
кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Подковыров Игорь Юрьевич**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»,
центр фитопатологии интродуцентов,
заведующий

Сапронова Дарья Владимировна
кандидат сельскохозяйственных наук,
Нижеволжская станция по селекции
древесных пород – филиал ФГБНУ
«Федеральный научный центр агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»,
старший научный сотрудник

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Защита диссертации состоится 7 июня 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.251.01 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» по адресу: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 97. Телефон: 8(8442)96-85-25, E-mail: avfanc@yandex.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» и на сайте организации <https://vfanc.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат сельскохозяйственных наук



Хужахметова
Алия Шамильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Опыт решения вопросов по достижению необходимого плодородия почв, накопленный отечественными и зарубежными учёными, показал, что одним из важнейших методов его повышения является использование искусственно созданных субстратов. В частности, для улучшения плодородия городских почв используются как минеральные удобрения, так и органические добавки в виде торфа и сапропеля.

На сегодняшний день залежи торфа и сапропеля располагаются, как правило, на достаточно больших расстояниях от городов, что приводит к значительным финансовым затратам по их доставке. Для такого мегаполиса, как Москва с его постоянно растущими объёмами строительства, это становится серьёзной проблемой. Необходимо также помнить об экологических проблемах, возникающих в связи с осушением болот и добычей торфа. Состав и качество сапропеля также во многом зависит от того, где территориально расположено место его добычи. Однако уже сегодня, торф и сапрпель можно заменить компостами из древесно-растительных остатков, получаемых в основном при уходах за насаждениями в черте города и природных лесных массивах (Бенедиктова, 1994, Рожко, 2010). До недавнего времени для этих целей получаемые древесно-растительные остатки (ДРО) практически не использовались. Чтобы исправить создавшуюся ситуацию (Сизов и др., 2001) Правительством Москвы были приняты соответствующие постановления, позволившие использовать эти остатки для получения компостов (№376-ПП от 31 мая 2005 г.) и повышения качества почвогрунтов (№514-ПП 27 июля 2004 г.). В настоящее время на основе компостов из переработанных в щепу порубочных остатков и пней, опавшей листвы, скошенной травы и пр., производится высокоплодородный почвогрунт, что позволяет в значительной степени заменить применяемые для этих целей торф и сапрпель.

Применение полученных компостов из ДРО при выращивании сосны обыкновенной с закрытой корневой системой, продемонстрировали высокую приживаемость и хорошие биометрические показатели. На наш взгляд эти компосты возможно применять и при выращивании лиственных пород в питомниках с последующей посадкой в условиях города.

Имеется основание полагать, что работы в этой области являются несомненно актуальными, так как:

– при проведении работ по уходу за городскими зелеными насаждениями, а также рубок ухода в природных лесных массивах, относящихся к особо охраняемым зелёным территориям г. Москвы, ежегодно образуется более 500 тыс. м³ древесно-растительных остатков;

– производство и применение компостов из ДРО помогают решать агротехнические задачи и актуальные проблемы утилизации древесно-растительных остатков, что позволяет в определенной степени улучшить экологическую обстановку в городе.

Степень разработанности проблемы. Способам повышения плодородия почвы путем внесения в нее компостов из древесно-растительных остатков посвящен ряд работ (Антропова, 2015, Бенидиктова, 1994, Вакин, 1964, Зарудная, 1970). В связи с тем, что практически весь процесс рубки и измельчения древесины, а также вывоз, буртирование, компостирование и получение на базе компоста растительной земли выполняется механизированным способом (Золотаревский, Любимов, 2006) производить компосты из древесно-растительных остатков на специальных полигонах становится экономически оправданным. Кроме того, в статье «Проблемы переработки древесно-растительных остатки (на примере Москвы)» (Самолдин, 2010) сделан вывод, что получение компоста непосредственно на месте переработки этих остатков (метод полевого компостирования) позволяет уменьшить его себестоимость. Применение компостов в опытных посадках сосны обыкновенной (Рожко, 2009) и некоторых сельскохозяйственных культур (Долматов, 2016) показали хорошие результаты. Эти результаты, на наш взгляд, можно применить и для выращивания посадочного материала лиственных пород, как с закрытой, так и открытой корневой системой, а также для посадки лиственных пород в условиях города.

Цель исследований: изучить влияние компоста из древесно-растительных остатков на рост и формирование лиственных пород деревьев при посадках в условиях города и изучение лесоводственно-биологических особенностей семян и саженцев в условиях питомника с закрытой и открытой корневой системой для обоснования научно-методических приемов использования компостов из древесно-растительных остатков при выращивании посадочного материала.

Задачи исследований:

1. Изучить морфологические особенности лиственных древесных растений при выращивании в ОГ с ОКС при добавлении в почву компоста из ДРО в различном процентном соотношении.

2. Изучить морфологические особенности лиственных древесных растений при выращивании в ОГ с ЗКС при добавлении в почву компоста из ДРО в различном процентном соотношении.

3. Изучить морфологические и фенологические особенности лиственных растений при использовании их в озеленении с добавлением компостов из ДРО при посадке в условиях города.

4. Разработать рекомендации по использованию компостов из древесно-растительных остатков при выращивании лиственных пород как в питомниках, так и при посадке лиственных пород в городских условиях.

5. Рассчитать и сравнить экономические затраты на материалы для составления почвогрунтов с различным процентным содержанием компоста из древесно-растительных остатков (ДРО) и компоста из торфа.

Научная новизна. Показано положительное влияние компостов из ДРО на рост и развитие лиственных древесных пород при выращивании их питомниках. Выявлена взаимосвязь роста модельных сеянцев и саженцев лиственных пород от соотношения по объему в почвенном субстрате, на котором они выращиваются, компоста из ДРО, в условиях питомника. Установлено оптимальное содержание компостов из ДРО в субстрате для формирования лиственных пород с лучшими биометрическими показателями в условиях питомника. Впервые показано положительное влияние компостов из ДРО на рост и развитие лиственных древесных пород при применении их в озеленении города. Зафиксированы фенологические показатели клена остролистного (*Acer platanoides* L.), высаженных в городских условиях с применением компоста из ДРО. Впервые проведен сравнительный анализ фенологических показателей клена остролистного (*Acer platanoides* L.), высаженных на субстратах с добавлением компостов из ДРО и компостов из торфа. Проведено сравнение цены почвогрунтов с различным процентным содержанием компостов из ДРО и торфа.

Теоретическая значимость работы. Определены закономерности развития испытуемых пород на основании статистической обработки данных на основе которых построены графики, наглядно показывающие динамику роста растений в ходе эксперимента. Научно обосновано применение компостов из ДРО с учетом развития лиственных пород на субстратах с различным содержанием по объему данных компостов.

Практическая значимость работы. Установлена особенность формирования экспериментальных растений посаженных с применением компостов на основе древесно-растительных остатков. Полученные результаты рекомендовано использовать при составлении субстратов для выращивания лиственных древесных пород с ОКС и ЗКС в условиях питомника, а также при посадках лиственных древесных пород на урбанизированных территориях Московской области. Разработаны рекомендации по применению почвенных смесей на основе компоста из древесно-растительных остатков при городских посадках лиственных пород.

Методология и методы исследования. Для проведения исследований были отобраны двухлетние сеянцы пяти пород. Исследования проводились в

течение трех лет (2012-2015 г.) на территории питомников Переделкино и Валентиновский, Московской области. С 2014 г. по 2019 г. проводились наблюдения за опытными посадками в городе Ступино, Московской области.

Исследования в питомниках выполнялись с принятой в лесном хозяйстве методикой проведения полевых опытов (Доспехов, 1973). Исследования приживаемости опытных посадок проводились по программе, предложенной в 1969 году д. с.-х. н., проф. Н. Е. Булыгиным. Результативность применения компостов в почвенных смесях определялась на основании сравнения биометрических показателей опытных растений в сравнении с контрольными. Достоверность различий оценивалась на доверительном уровне 95%. Обработка и анализ полученных результатов проводилась с использованием методов математической статистики Microsoft Office Excel 2010.

Положения, выносимые на защиту:

- Обоснована целесообразность и необходимость использования органической добавки в виде компостов из ДРО в питомниках, при культивировании лиственных пород с открытой и закрытой корневой системой;
- Разработаны рекомендации по использованию субстратов на основе компостов из ДРО при посадках лиственных пород в городских условиях;
- Выявлено положительное влияние оптимального содержания компоста из ДРО на декоративные качества клена остролистного в городских посадках;
- Обосновано экономической целесообразности промышленного применения компостов из ДРО в условиях Московского региона.

Степень достоверности и апробации результатов: Материалы диссертационной работы были доложены: на научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов в ФГБОУ ВО Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2014, 2015, 2017 гг.; на конференции «Озеленение без проблем. Новые идеи для города и частного сада и способы их воплощения» 27 марта 2015 г., питомник «Южный» (Московская область); семинар «Почва – зеркало ландшафта» 16-17 ноября 2021 г., «Питомник Савватеевых» (г. Москва).

Личный вклад автора состоит в подготовке и реализации практических и исследовательских работ, анализе данных, разработке целей и постановке задач, обработке статистических результатов, выявлении взаимосвязей в полученных результатах. Все полевые и камеральные работы выполнены лично, подтверждены рабочие гипотезы. В основу работы положены полевые исследования, проводимые в течении четырех лет на площадях двух питомников и опытные посадки, с соблюдением всех требований СП 82.13330.2016

Благоустройство территорий, актуализированная редакция СНиП III-10-75 (с Изменениями N 1, 2). Свод правил от 16.12.2016 N 82.13330.2016 Применяется с 17.06.2017 взамен СНиП III-10-75, при проведении работ по благоустройству улиц в городе Ступино, Московской области. Анализ полученных результатов, разработка методик и их апробация выполнены лично автором.

Публикации по диссертационной теме опубликовано 10 научных работ (общий объем 2,36 п. л., в том числе с долей автора 1,83 п. л.), в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, опубликовано 3 статьи (0,83 п. л., из них 77,1% доля автора).

Структура и объем диссертации: состоит из введения, 6 (шесть) глав, заключения, предложений к производству. Объем диссертации – 173 страницы, включает 61 рисунок, 18 таблиц, 6 приложений. Список литературы состоит из 211 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 ИСТОРИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В ВИДЕ КОМПОСТОВ

Литературный обзор представлен отечественной и зарубежной литературой по методам получения искусственно созданных добавок, применяемых для посадок древесных пород (Вышинский, 1966, Мамченков, 1965, Лебедева, 1966, Вакин, 1968, Бенедиктова, 1994, Рожко, 2005, Долматов, 2016) и повышения плодородия почвы. Описан принцип их приготовления и технология использования. Проведен анализ и сравнение этих компостов, их преимущества и недостатки. Вопросу оптимального соотношения почвенных смесей для создания благоприятной среды питания растений посвящены работы Барковой, Романова (1996), Белостоцкого и др. (1984), Кудряшевой (1995), Родина и др. (2015) и др.

Анализ литературных источников показал, что до недавнего времени основными компонентами, применяемыми в городских посадках, являлись преимущественно низинный торф, хорошо разложившийся с высокой зольностью и низкой кислотностью, а также сапрпель. Рассмотрены особенности городских почв, значимость органических веществ в их составе, пути и способы повышения их плодородия за счет органических добавок из древесно-растительных остатков.

2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристики городских почв

Городские почвы подвержены влиянию различных факторов урбанизированной среды, что негативно сказывается на их способности быть питательной средой для корнеобитаемого слоя растений. Вследствие жизнедеятельности населения больших городов нарушается состав горизонтов почвы, ее уплотнение, изменением ее состава как гранулометрического, так и физико-химического. Количество обменных оснований и содержащихся в них обменных катионов (Ca, Al, Mg, Na и др.) напрямую влияет на плодородие почвы (Аринушкина, 1970, Николаев, 2000). Некоторые исследования доказывают, что в щелочных городских почвах накапливается большое количество свинца, а при рН более 6,5 фиксируется связывание кадмия с частицами почвы. Авторы (Волков, 2003, Глазовская, 1994, Рылова, 2005, Сулова, 1970, Федоров, 2006, Федорова, 2005) отмечают, что, несмотря на то, что в городских почвах, если и содержится достаточное количество обменного калия и подвижного фосфора, высокое содержание рН блокирует доступность указанных элементов. Из-за применения в различных сферах городского хозяйства солей натрия, этот элемент попадает в почву в больших количествах и формирует в них щелочную среду, что ухудшает движение оснований и делает недоступным для питания растений разложившуюся органику.

2.2 Особенности роста лиственных пород в городском озеленении

Рассмотрены вопросы эффективности использования лиственных пород для городского озеленения, особенности их роста в городских условиях и влияние на них антропогенных факторов. Адаптация растений в условиях урбанизированной среды заключается в комплексном взаимодействии различных обменных процессов, протекающих в растении. Чем активнее эти процессы, чем питательнее среда, в которой находятся различные части растения, тем устойчивее растение в урбанизированной среде (Бухарина, 2012). И напротив, если влияние урбанизированной среды пролонгировано во времени, это может привести к изменению генетически значимых структур клетки, как в корне, так и в других частях растения. Для получения наиболее декоративных посадок в городской среде следует использовать устойчивые виды для загрязнённых территорий. При посадке или пересадке деревьев и кустарников в городе всем растениям должен быть обеспечен обязательный послепосадочный уход до полной их приживаемости в течение 3-5 лет.

2.3 Применение органики и компостов в городском озеленении

При создании городских посадок основными органическими удобрениями до недавнего времени являлись торф и сапрпель. Это достаточно

дорогостоящие и не восполняемые ресурсы. В настоящее время существуют зоны, где запасы торфа истощены или отсутствуют вовсе. Для таких зон применение компостов из древесно-растительных остатков является весьма актуальным. При рубках ухода на 1 га площади можно заготовить 8,6 м³ остатков лесозаготовок и 15,1 м³ пнево-корневой древесины для производства технологической щепы (Золотаревский, Котов, Прокопович, 2017).

3 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. ВЫБОР ПОЧВЕННЫХ СУБСТРАТОВ

В этой главе представлены четыре подглавы, где представлены способы ведения работ и обоснования выбора методики. Для проведения исследований растения были выбраны из основного ассортимента лиственных пород, рекомендуемых для посадок в городе, постановление от 10 сентября 2002 года N 743-ПП "Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы". Для проведения исследований были отобраны двухлетние сеянцы пяти пород: березы пушистой (*Betula pubescens* L.), дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), клена остролистного (*Acer platanoides* L.), каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.), тополя белого (*Populus alba* L.).

Леспромхоз Москворецкий расположен на юго-западе части защитного пояса Москвы, на территории Одинцовского и Ленинского округов города Москвы. Так как леспромхоз находится в Московской области, а она относится к зоне умеренно-континентального климата, то радиационный баланс является значительным и способствует прогреванию и увлажнению, обеспечивая достаточное испарение выпадающих осадков. Ниже приведены результаты метеорологических наблюдений гидрометцентра Тимирязевской академии за пятидесятилетний период (таблица 1, 2).

Таблица 1 – Среднее количество осадков по месяцам

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Осадки, мм	25	23	28	34	50	57	77	75	55	30	36	31

Таблица 2 – Средняя температура воздуха по месяцам

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °С	-10,4	-9,6	-4,6	4,0	11,6	15,7	18,0	16,2	10,6	4,6	-2,1	-7,7

Исследования проводились в течение трех лет (2012-2015 гг.) на территории питомников Переделкино и Валентиновский, Московской области. С 2014 по 2019 г. проводились наблюдения за опытными посадками в городе Ступино, Московской области. Посадки в городе Ступино проводились по

принятым в зеленом строительстве технологиям с выкапыванием посадочной ямы для растений с ОКС, ее размеры $1,4 \times 1,4 \times 0,65$ м. Заполнение ямы у контрольных растений проводилось субстратом из компоста из торфа, суглинка и песка (3 части, 3 части, 4 части). У опытных растений компост из торфа заменяли на компост из ДРО в тех же пропорциях. Эксперимент был заложен с использованием компостов из ДРО производимых в леспромхозе Москворецкий. Почвенные, климатические, агротехнические условия на выделенных под опыты делянках полностью идентичны условиям питомника. Площадь делянки, отводимая под один из вариантов опыта с каждой породой, составила $3,8 \text{ м}^2$, растения высаживались с интервалом $0,2$ м, ширина междурядий – $0,5$ м. Для каждого растения были выбраны четыре варианта опыта и контрольный вариант:

- в контрольном варианте использовались для посадки почвы питомника;
- в первом варианте высаживались растения в посадочные ямы и контейнеры с применением почвы содержащей 33% (1/3) компоста из древесно-растительных остатков;
- во втором варианте высаживались растения в посадочные ямы и контейнеры с применением почвы, содержащей 50% (1/2) компоста из ДРО;
- в третьем варианте высаживались растения в посадочные ямы и контейнеры с применением почвы, содержащей 100% (1) компоста из ДРО;
- в четвертом варианте высаживались растения в посадочные ямы и контейнеры с применением почвы, содержащей 33% (1/3) компоста из торфа.

Расчет количества растений для достоверности опыта.

Приближенная проверка нормальности распределения выходной величины проводилась с помощью показателей асимметрии A и эксцесса E .

В результате расчетов по формуле получено: $A = -0,209$,

$E = -1,181$, соответственно – $\sigma_A = 0,486$, $\sigma_E = 0,841$.

$$\text{В итоге } \frac{|A|}{\sigma_A} = \frac{0,209}{0,486} = 0,429 < 2, \quad \frac{|E|}{\sigma_E} = \frac{1,181}{0,841} = 1,404 < 2.$$

Принимаем гипотезу о нормальности распределения.

Минимальное число опытов n_{\min} определялось по формуле

$$n_{\min} = \frac{t^2 \cdot V^2}{\varepsilon^2}, \text{ где } t \text{ – критерий Стьюдента при уровне значимости } q \text{ и}$$

числе степеней свободы f , $f = n - 1$, здесь $n = 20$, V – коэффициент вариации, %, ε – относительная допускаемая ошибка, %. Приняли $\varepsilon = 10$ %.

При принятом уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 19$ критерий Стьюдента $t = 2,093$ (Жукова и др., 1964).

При обработке результатов этой серии опытов получено, что $V = 19,45 \%$.

Подставив эти значения в формулу $n_{\min} = \frac{t^2 \cdot V^2}{\varepsilon^2}$, получили, что $n_{\min} = 16,57$.

Приняли $n = 17$.

С учетом отбрасывания промахов опыты проводились в 19-кратной повторности для каждой породы.

Статистическую обработку материалов исследования проводили по формулам: среднее значение отклика (среднеарифметическое) $\bar{y} = \frac{y_i}{n}$;

$$\text{среднеквадратическое отклонение } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}};$$

$$\text{коэффициент вариации } V = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100; \quad \text{показатель точности опыта } p = \frac{V}{\sqrt{n}}.$$

Данные измерений высоты деревьев и диаметра стволиков у корневой шейки были обработаны статистическими методами. Проверку однородности средних значений проводили по t -критерию сравнением табличного ($t_{\text{табл}}$) и расчетного ($t_{\text{расч}}$) значений. Расчетное значение определяли по формуле:

$$t_{\text{расч}} = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}}, \quad \text{где } \bar{y}_1 \text{ и } \bar{y}_2 - \text{средние значения соответственно в контроле и опыте; } s_1 \text{ и } s_2 - \text{среднеквадратические отклонения соответственно в контроле и опыте.}$$

При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 2n - 2 = 2 \cdot 19 - 2 = 36$ табличное значение $t_{\text{табл}} = 2,03$. Если $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то расхождение между средними значимо.

При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 2n - 2 = 2 \cdot 19 - 2 = 36$ табличное значение $t_{\text{табл}} = 2,03$. Если $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то расхождение между средними значимо.

Были высажены 3 варианта опыта и 2 варианта контроля по каждой породе, по 19 растений в каждом варианте. Всего 285 растений с ОКС. Растения высаживались в технологические горшки $23,7 \times 18,5 \times 15,4$ см и заполнялись почвенным субстратом по объему. Эффективность используемых почвенных субстратов оценивалась путем сравнения биометрических показателей опытных и контрольных растений: высоты (рулетка «Kolner») и диаметра корневой шейки растения (штангенциркуль металлический тип 1 (класс точности 2, шаг 0,1 мм, 150 мм)). Масса корней определялась весами МАССА-К МК-3.2-A21(RI) 25411. Для этого саженцы высушивались до воздушно-сухого состояния и разрезали по уровню корневой шейки на надземную и подземную часть. Достоверность различий оценивалась на доверительном

уровне 95%. Обработка и анализ полученных результатов проводилась с использованием методов математической статистики Microsoft Office Excel 2010, Math.Semestr.ru.

4 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА СЕЯНЦЕВ И САЖЕНЦЕВ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОСТА В ПОЧВЕННОМ СУБСТРАТЕ

4.1 Анализ и статистическая обработка результатов показателей берёзы

На основании полученных биометрических показателей берёзы (высота растения H , см, и диаметр корневой шейки d_0 , мм) в зависимости от объемной концентрации (K , %) компоста из древесно-растительных отходов (ДРО) и срока выращивания растения (t , лет), методом наименьших квадратов получали уравнения регрессии, на основании которых строили графики (рисунки 1, 2), демонстрирующие, при какой концентрации компоста получаем наивысшие показатели по высоте растения и по диаметру корневой шейки.

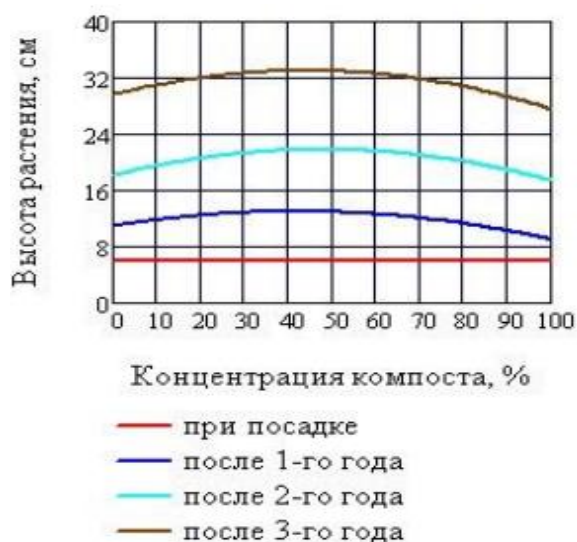


Рисунок 1 – Зависимость высоты берёзы от концентрации компоста из ДРО

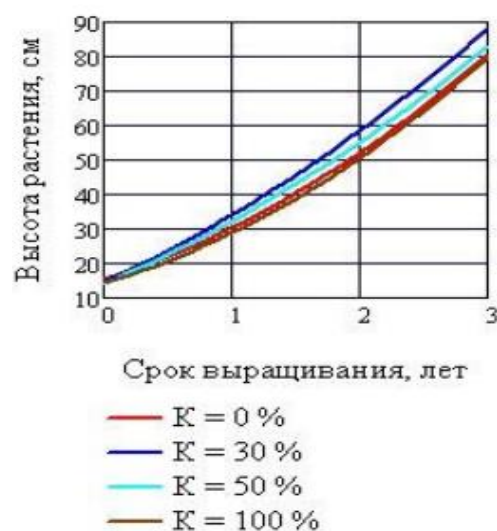


Рисунок 2 – Зависимость высоты берёзы от срока выращивания

Исходя из полученных данных были посчитаны статистические показатели и сделаны следующие выводы: берёза пушистая (*Betula pubescens*), ОКС – по высоте в первый год при объёмной концентрации компоста из ДРО $K = 37\%$, во второй год – при $K = 47\%$, в третий год – при $K = 44\%$; по диаметру в первый год соответственно при $K = 55\%$, во второй год – при $K = 42\%$, в третий год – при $K = 40\%$. После третьего года выращивания высота растения при $K = 40\%$ была на 4,8% больше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 17,3%. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте. После третьего года выращивания высота растения при $K = 100\%$ была на 2,7% меньше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 7,7%.

4.2 Анализ и статистическая обработка результатов показателей дуба

На основании полученных биометрических показателей дуба (ОКС) в зависимости от объемной концентрации компоста из ДРО и срока выращивания растения (рисунки 3, 4) сделаны выводы, что максимальный прирост по высоте в первый год при объемной концентрации компоста из ДРО $K = 37\%$, во второй год – при $K = 46\%$, в третий год – при $K = 44\%$; по диаметру в первый год соответственно при $K = 55\%$, во второй год – при $K = 39\%$, в третий год – при $K = 38\%$.

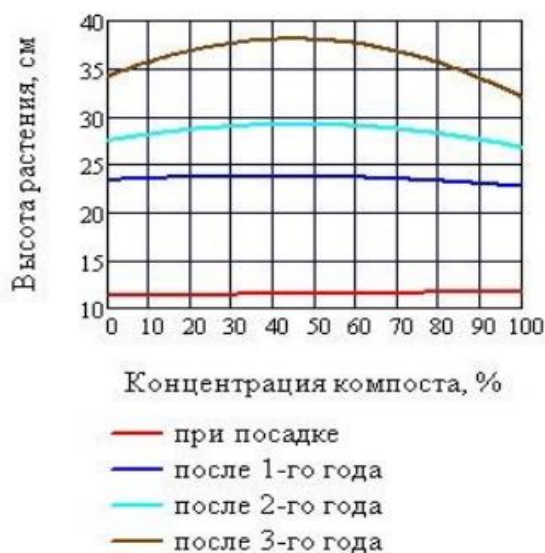


Рисунок 3 – Зависимость высоты дуба от концентрации компоста из ДРО

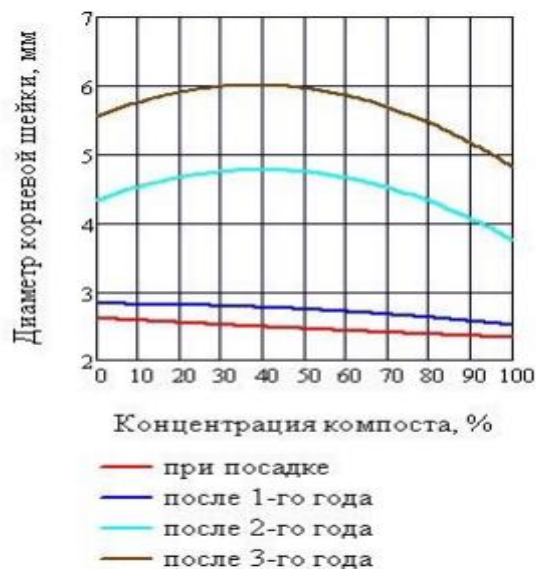


Рисунок 4 – Зависимость диаметра корневой шейки дуба от концентрации компоста из ДРО

После третьего года выращивания высота растения при $K = 40\%$ была на 11,3 % больше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 6,9 %. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте. После третьего года выращивания высота растения при $K = 100\%$ была на 6,4 % меньше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 8,8%.

4.3. Анализ и статистическая обработка результатов показателей каштана

На основании полученных биометрических показателей каштана (ЗКС) в зависимости от объемной концентрации компоста из ДРО и срока выращивания растения (рисунки 5, 6) сделаны выводы: по высоте в первый год при объемной концентрации компоста из ДРО $K = 49\%$, во второй год – при $K = 45\%$, в третий год – при $K = 46\%$; по диаметру в первый год соответственно при $K = 10\%$, во второй год – при $K = 27\%$, в третий год – при $K = 36\%$.

После третьего года выращивания высота растения при $K = 40\%$ была на 11,6 % больше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 4,4 %. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте.

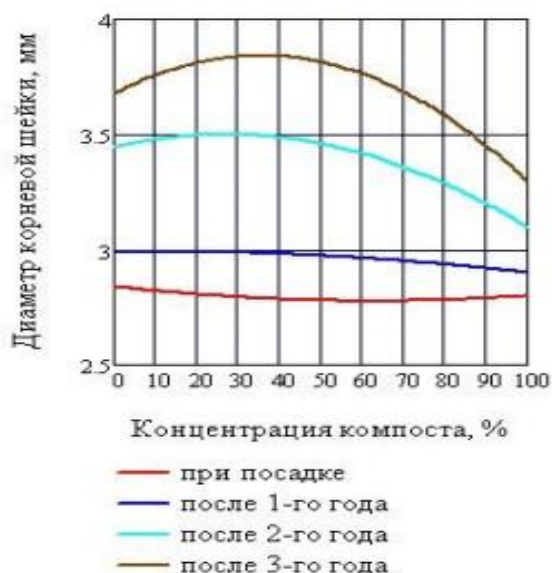
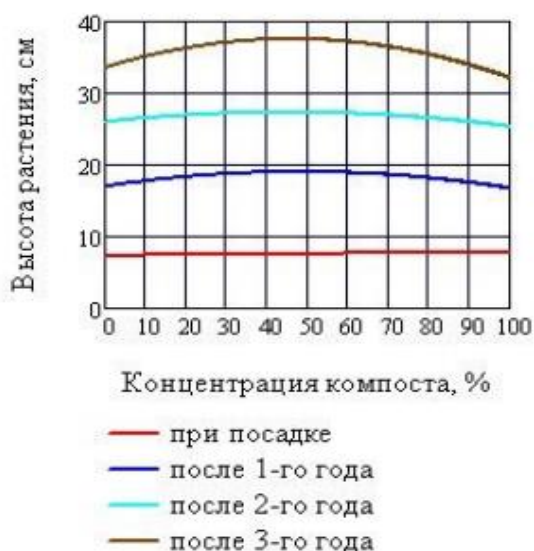


Рисунок 5 – Зависимость высоты каштана от концентрации компоста из ДРО

Рисунок 6 – Зависимость диаметра корневой шейки каштана от концентрации компоста из ДРО

Здесь после третьего года выращивания высота растения при $K = 100\%$ была на 4,2 % меньше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на 10,3%.

4.4 Анализ и статистическая обработка результатов показателей клена

На основании полученных биометрических показателей клена остролистного (ОКС) в зависимости от объемной концентрации компоста из ДРО и срока выращивания растения, методом наименьших квадратов получали уравнения регрессии, на основании которых строили графики (рисунки 7, 8), демонстрирующие, при какой концентрации компоста получаем наивысшие показатели по высоте растения и по диаметру корневой шейки.

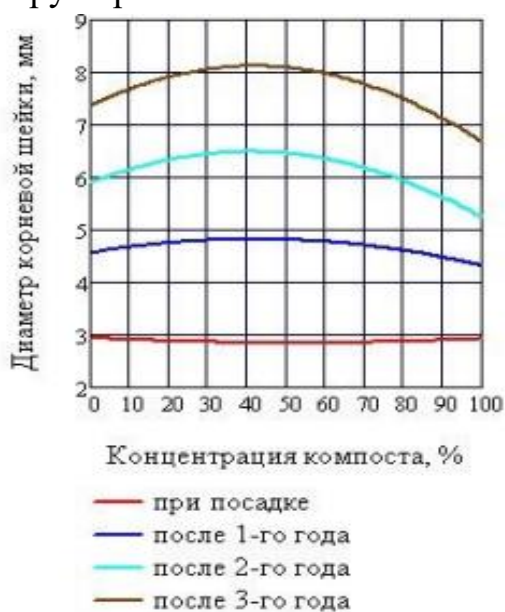
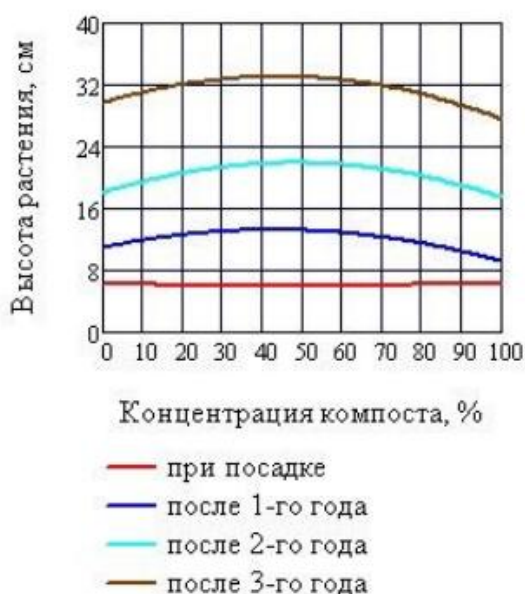


Рисунок 7 – Зависимость высоты клёна от концентрации компоста из ДРО

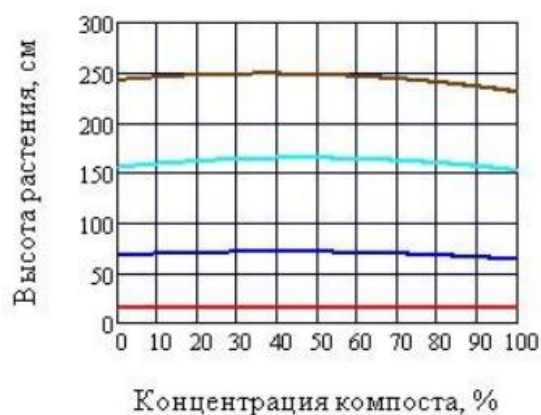
Рисунок 8 – Зависимость диаметра корневой шейки клёна от концентрации компоста из ДРО

Исходя из полученных данных были посчитаны статистические показатели и сделаны следующие выводы: по высоте в первый год при объемной концентрации компоста из ДРО $K = 43 \%$, во второй год – при $K = 48 \%$, в третий год – при $K = 44 \%$; по диаметру в первый год соответственно при $K = 41 \%$, во второй год – при $K = 41 \%$, в третий год – при $K = 42 \%$.

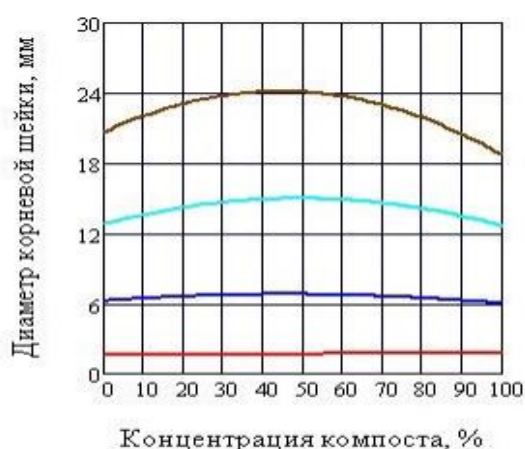
После третьего года выращивания высота растения при $K = 40 \%$ была на $11,3 \%$ больше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на $10,3 \%$. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте. Здесь после третьего года выращивания высота растения при $K = 100 \%$ была на $7,1 \%$ меньше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на $8,9\%$.

4.5 Анализ и статистическая обработка результатов показателей тополя

На основании полученных биометрических показателей тополя белого (ЗКС) в зависимости от объемной концентрации компоста из ДРО и срока выращивания растения (рисунки 9, 10) были посчитаны статистические показатели и сделаны выводы: по высоте в первый год при объемной концентрации компоста из ДРО $K = 41 \%$, во второй год – при $K = 46 \%$, в третий год – при $K = 37 \%$; по диаметру в первый год соответственно при $K = 46 \%$, во второй год – при $K = 49 \%$, в третий год – при $K = 45 \%$.



— при посадке
— после 1-го года
— после 2-го года
— после 3-го года



— при посадке
— после 1-го года
— после 2-го года
— после 3-го года

Рисунок 9 – Зависимость высоты тополя от концентрации компоста из ДРО

Рисунок 10 – Зависимость диаметра корневой шейки тополя от концентрации компоста из ДРО

После третьего года выращивания высота растения при $K = 40 \%$ была на $2,6 \%$ больше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на $16,8 \%$. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте. Здесь после третьего года выращивания высота растения при $K = 100 \%$ была на $4,8 \%$ меньше, чем в контроле; диаметр при этой же концентрации – на $9,3\%$.

4.6 Сравнительный анализ скорости роста древесных растений по высоте и диаметру на компосте

Анализируя скорость роста древесных растений, можно констатировать, что чётко прослеживается зависимость скорости роста от объёмной концентрации компоста из ДРО в почве. Особенно сильное влияние компост из ДРО оказывает на рост тополя, клёна, берёзы и дуба, меньшее – на рост каштана. При использовании чистого компоста скорость роста растений по диаметру корневой шейки ниже, чем в контроле, по-видимому, чрезмерная концентрация компоста из ДРО угнетает древесные растения. Экспериментальными исследованиями установлено, что скорость роста древесных растений по высоте и диаметру ствола у корневой шейки при выращивании его на компосте и торфе при 33 % их содержании практически одинакова. Оптимальная концентрация, необходимая для быстрого роста деревьев по диаметру корневой шейки, находится в пределах от 30 до 60 %.

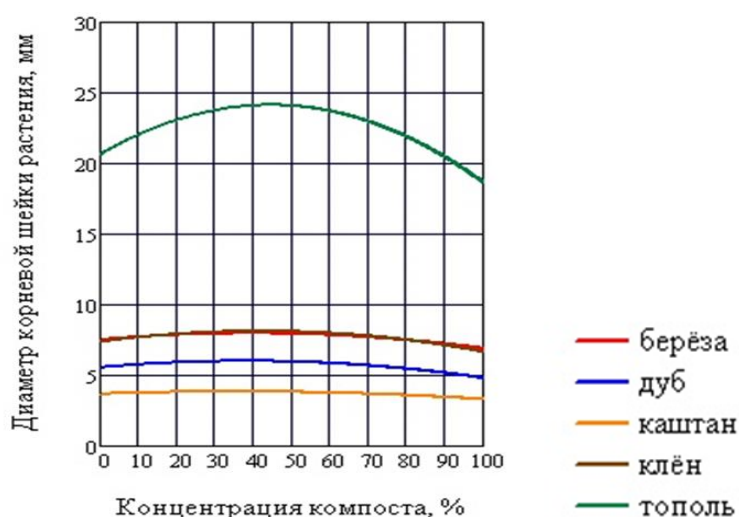


Рисунок 11 – Зависимость диаметра корневой шейки берёзы, дуба, каштана, клёна и тополя от концентрации компоста из ДРО

Получены зависимости массы высушенных корней древесных растений (m , г) от срока выращивания (Золотаревский, Котов, Прокопович, 2017) растений (t , лет). Эти зависимости представлены только для концентрации компоста из ДРО, равной 33 % (таблица 3).

Таблица 3 – Уравнения регрессии

№ п/п	Порода	Уравнение регрессии
1	Берёза	$m = 1,84 + 2,83 t$
2	Дуб	$m = 0,15 + 0,47t$
3	Каштан	$m = 1,44 + 6,11t$
4	Клён	$m = 0,56 + 0,58 t$
5	Тополь	$m = 1,57 + 3,21t$

При анализе уравнений регрессии, представленных в таблице, методом их дифференцирования получены значения средних в течение трёх лет скоростей (V , г/год) изменения массы корневой системы растений. В заданном диапазоне изменения фактора времени наибольшую скорость наращивания массы корневой системы (Золотаревский, Котов, Прокопович, 2017) имел каштан ($V = 6,11$ г/год), за ним почти с двукратным отставанием следует тополь ($V = 3,21$ г/год), потом – берёза ($V = 2,83$ г/год), на последних местах – клён ($V = 0,58$ г/год) и дуб ($V = 0,47$ г/год).

4.7 Основные выводы и рекомендации производству

Установлена зависимость скорости роста древесных растений по высоте, диаметру корневой шейки и массе от объёмной концентрации компоста из ДРО в почве. Оптимальная концентрация компоста ДРО, необходимая растениям для ускоренного роста, меняется в зависимости от года выращивания.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ СУБСТРАТОВ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДРЕВЕСНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ГОРОДСКИХ ПОСАДКАХ

5.1 Фенологические наблюдения

Для проверки этих результатов в соответствии с правилами создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы были проведены опытные посадки в городе Ступино. Из 1600 саженцев клена остролистного в возрасте 10 лет, предоставленных для наших опытов ООО "Мосзеленстрой" и предназначенных к посадкам, нами произвольно были отобраны 50 штук, посадка которых проводилась с использованием компостов из ДРО. Остальные деревья были посажены работниками "Мосзеленстроя" с использованием компостов из торфа. Обследование опытных деревьев осенью того же года показало их 100 % приживаемость, в то время как приживаемость остальных составила 92%. Составлен маршрут наблюдений по проспекту Победы, вдоль которого было высажено в шахматном порядке, с интервалом 5 м, 25 растений на торфе и 25 растений с применением компоста из ДРО. Даты наступления фенологических (сезонных, морфологических) фаз заносили в таблицы, на основании которых построен феноспектр (рисунок 12).

Осенью 2014 года у растений, посаженных с применением компоста из ДРО начало пожелтения, полное пожелтение и опадание листьев наступило позже. Начиная с 2015 года прохождение фенофаз проходило в одинаковые сроки на всех вариантах опыта. Проверка состояния насаждений, проведенная в 2019 году, подтвердила 100% приживаемость растений.

Также велись наблюдения за физиологическим состоянием высаженных растений и фиксировались последствия воздействий естественных (неблагоприятные погодные условия, повреждение деревьев насекомыми и болезнями и пр.) и антропогенных факторов, влияющих на декоративность насаждений.

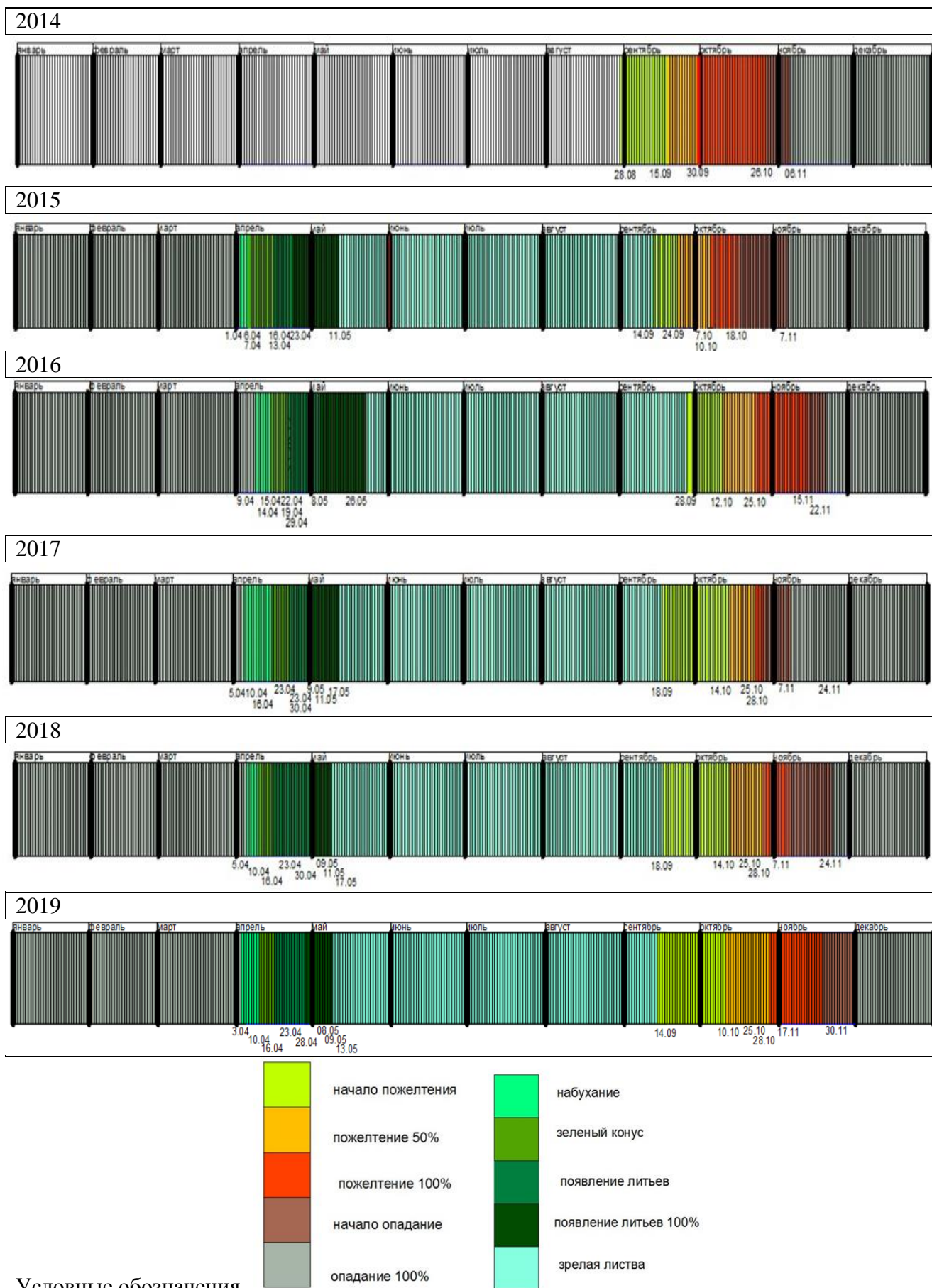


Рисунок 12 – Фенологический спектр посадок клена остролистного

Саженцы лиственных пород, высаженные с применением субстратов, содержащих компост из ДРО (33%) были менее повреждены морозобоинами, усохших ветвей не имели, выглядели более декоративно (таблица 4).

Таблица 4 – Физиологическое состояние деревьев

Среднее значение показателей устойчивости растений, %	1 год посадки	2 год	3 год	4 год	5 год
Клены, высаженные с применением компоста из торфа					
Среднее значение показателей устойчивости		94,8	96	95,2	99,2
Клены, высаженные с применением компоста из ДРО					
Среднее значение показателей устойчивости		86,8	94,4	95,6	95,6

Можно сделать вывод, что субстрат, содержащий 33% компоста из древесно-растительных остатков наиболее эффективно применять для посадки лиственных пород в городских условиях. Растения, посаженные с применением компостов из ДРО, имели биометрические показатели лучше, чем с применением компостов из торфа. Проведя мониторинг по состоянию растений можно констатировать, что деревья, высаженные с применением компостов из ДРО имели качественное состояние удовлетворительное, также, как и деревья, посаженные с применением компостов из торфа. Рекомендации к производству: компост из ДРО может применяться для посадок растений в городе.

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОСТОВ ИЗ ДРЕВЕСНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ДЛЯ ПОСАДОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

Анализ затрат на производство компостов из ДРО методом полевого компостирования, позволяет утверждать, что производство таких компостов экономически и экологически эффективно по сравнению с производством компостов из торфа. Метод полевого компостирования требует минимального количества вложений. Площадку возможно организовать на удобном удалении от мегаполиса, что позволит значительно сократить расходы на перевозки. Так как сырьем для получения компостов являются ДРО, получаемые в результате работ по уходу за насаждениями в мегаполисе, такой метод получения органических добавок является также экологически оправданным и эффективным. Представлены затраты на минимальное количество единиц техники, необходимой для производства компоста из ДРО (таблица 5).

Таблица 5 – Затраты и амортизационные отчисления производства компостов из ДРО

Аренда и подготовка площадки (руб.)	Стоимость машин и оборудования	Заработная плата	Горюче-смазочные материалы	Амортизационные отчисления
260 400	20 452 343	518659,2	76387500	2057937,4

Рассчитаны прибыль и сроки окупаемости производства компостов из ДРО методом полевого компостирования.

Чистая прибыль (ЧП) будет составлять доход – расход:

$ЧП = 127\,159\,000 - 97\,100\,243 = 30058757 - (30058757 * 20\%) = 24\,047\,005$ (рублей).

Срок окупаемости по формуле: $ПСО = К/ЧП + А_m$, где ЧП – прибыль после компенсации всех производственных и финансовых затрат и выплаты налога; К – однократные первоначальные капиталовложения; A_m – амортизационные отчисления.

$ПСО = 108\,531\,402 / (24\,047\,005 + 2057937,4) = 4,15 \sim 4,2$ (года).

При бюджете 60–150 млн. рублей хорошей окупаемостью бизнеса считается минимум 4 года и максимум 7 лет, при условии, что имеется недвижимость и другие активы, составляющие не менее 30–50 % итоговой стоимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. При проведении работ по уходу за городскими зелеными насаждениями, а также рубок ухода в природных лесных массивах, относящихся к особо охраняемым зелёным территориям города Москвы, ежегодно образуется более 500 тыс. м³ древесно-растительных остатков. Наиболее экологически безопасным и экономически выгодным способом их утилизации является переработка в щепу.

2. Значительные объёмы ДРО, относительная простота технологии и скорость приготовления на их основе компоста (который может широко применяться в качестве органической составляющей для выращивания посадочного материала в питомниках, а также при создании зеленых насаждений) дают основания говорить о перспективности их промышленного использования.

3. Компост, получаемый на основе ДРО, соответствует нормативным требованиям. Согласно результатом агрохимического анализа, он характеризуется достаточно высоким содержанием питательных элементов (фосфор – 272 мг/кг, калий – 231 мг/кг) и органического вещества (около 51,5%) и имеет реакцию среды $pH=6,8$. Результаты химико-биологического анализа прокомпостированных древесно-растительных остатков свидетельствуют о том, что патогенных микроорганизмов в них нет, а содержание тяжелых металлов не превышает нормы.

4. Внесение компоста, изготовленного на основе ДРО, способствует лучшему росту посадочного материала древесных растений, выращиваемых в декоративных питомниках. При анализе уравнений регрессии, полученных на основании анализа данных наблюдений за растениями, получены экстремальные значения этих уравнений. Максимальный прирост растения происходил: по высоте в первый год при объёмном содержании ДРО $K=43\%$, во второй год – при $K=48\%$, в третий год – при $K=44\%$; по диаметру - в первый год соответственно при $K=41\%$, во второй год – при $K=41\%$, в третий год – при $K=42\%$. После третьего года выращивания высота растения при $K=40\%$ была на $11,3\%$ больше, чем в контроле; диаметр при этом же содержании – на $10,3\%$. Худшие результаты получены при выращивании в чистом компосте. Здесь после третьего года выращивания высота растения при $K=100\%$ была на $7,1\%$ меньше, чем в контроле; диаметр при этом же содержании ДРО – на $8,9\%$.

5. Использование компостов из древесно-растительных остатков в качестве органических добавок обеспечивает озеленительные организации растительной землёй гарантированного качества. Скорость роста лиственных пород по высоте и диаметру при выращивании их на компосте из древесно-растительных остатков и на компосте из торфа при 33% -м их содержании практически одинакова.

6. Выявлена зависимость скорости роста древесных растений по высоте и диаметру от объёмного содержания древесно-растительных остатков в почве. При использовании чистого компоста скорость роста растений по высоте и диаметру оказалась ниже, чем в контроле. Оптимальное содержание ДРО, необходимое для быстрого роста деревьев по высоте и диаметру, находится в пределах от 41 до 48% .

7. Стоимость 1 м^3 растительной земли с добавкой компоста из древесно-растительных остатков на $10-15\%$ ниже стоимости 1 м^3 растительной земли с добавкой торфокомпоста.

Разработанные автором рекомендации по посадке лиственных пород в условиях города с применением компостов из древесно-растительных остатков прошли успешную апробацию на объектах озеленения города Москвы.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ

1. При выращивании саженцев лиственных пород с закрытой и открытой корневой системой рекомендовано применять компосты из ДРО не менее 33% от объема субстрата.

2. Для высаживания саженцев лиственных пород в городских условиях рекомендовано добавлять в посадочную яму не менее 33% от объема компосты из ДРО.

3. Результаты диссертационных исследований дадут возможность широко применять компосты из ДРО для приготовления почвенных субстратов для посадки саженцев лиственных пород в питомниках и использовать такие субстраты в городских посадках лиственных пород, что значительно повысит декоративные свойства саженцев лиственных пород и позволит экономить средства при посадке. Применение этих компостов предоставит возможность также использовать порубочные остатки как ценную органическую добавку.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Прокопович И.И. О перспективах применения растительной земли на основе компостов из древесно-растительных остатков в городском озеленении / **И.И. Прокопович**, А.А. Золотаревский // Лесной вестник. – 2015. – Т. 19. – №5. – С. 132-136.

2. Прокопович И.И. Использование почвогрунтов на основе компостов из древесно-растительных остатков при посадке лиственных пород в городских условиях / **И.И. Прокопович**, А.А. Золотаревский // Лесохозяйственная информация: электрон. сетевой журн. – 2016. – № 4. – С. 102-108.

3. Прокопович И.И. Оптимизация содержания компостов из древесно-растительных остатков в почве при выращивании сеянцев клена остролистного. / **И. И. Прокопович**, А. А. Золотаревский, А. А. Котов // Лесохозяйственная информация: электрон. сетевой журн. – 2017. – № 2. – С. 57-54.

Публикации в других изданиях:

4. Прокопович И.И. Фенологические наблюдения за посадками клена остролистного (*Ácer platanoides* L), высаженного в городских условиях с применением компоста из древесно-растительных остатков / **И.И. Прокопович** // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 3 (168). – С. 41-45.

5. Прокопович И.И. Использование древесно-растительных компостов при посадке лиственных культур в условиях города / **И.И. Прокопович** // Сборник научных статей докторантов и аспирантов Московского государственного университета леса. – 2013. – Вып. 364. – С. 50-54.

6. Прокопович И.И. Методика и планирование вегетивно-полевого эксперимента / **И.И. Прокопович**, А.А. Золотаревский, В.В. Курамшин // Вопросы ландшафтной архитектуры. – 2014. – Вып. 369. – С. 51-56.

7. Прокопович И.И. Оптимизация содержания компостов из древесно-растительных остатков в почвенных субстратах при выращивании лиственных пород / **И.И. Прокопович**, А.А. Золотаревский // Городская среда: экологические и социальные аспекты: научно-практическая конференции; ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». – Ижевск, 2017. – С. 283-287.

8. Прокопович И.И. Использование растительной земли на основе компостов из древесно-растительных остатков при посадках лиственных культур в городских условиях. / **И.И. Прокопович**, А.А. Золотаревский // МФ МГТУ им. Баумана. Тезисы докладов. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. – С. 25-27.

9. Прокопович И.И. Агрэкономическая эффективность применения компостов из древесно-растительных остатков в городских посадках / **И.И. Прокопович** // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона; РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева. – М., 2020. – С. 189-194.

10. Прокопович И.И. Влияние социально культурных и экономических факторов на садово-парковое строительство / **И.И. Прокопович** // Перспективы развития садоводства и садово-паркового строительства. – М., 2022. – С. 305-309.