

На правах рукописи

Кузнецов Василий Андреевич

**ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПАРКОВО-РЕКРЕАЦИОННЫХ
ЛАНДШАФТОВ МОСКВЫ**

Специальность 03.02.13-почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва-2015

Работа выполнена на кафедре общего почвоведения факультета почвоведения
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Научный руководитель: Рыжова Ирина Михайловна
доктор биологических наук,
профессор кафедры общего почвоведения
факультета почвоведения
МГУ имени М.В.Ломоносова

Официальные оппоненты: Минин Александр Андреевич
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН»

Лысиков Андрей Борисович
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории лесной геоботаники и лесного почвоведения ФГБУ
науки «Институт лесоведения Российской академии наук».

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет -
Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева (ФГБОУ ВО РГАУ -
МСХА имени К.А.Тимирязева).

Защита состоится «06» октября 2015 г., в 15:30 в аудитории М-2 на заседании
Диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ имени М.В.Ломоносова на факультете
почвоведения по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, факультет
почвоведения МГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке МГУ имени
М.В.Ломоносова и на сайте факультета почвоведения <http://soil.msu.ru/uchenyj-sovet>

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании
диссертационного совета или прислать отзыв на автореферат в двух экземплярах,
заверенный печатью, по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Ученый совет. Факс: (495) 939-29-47

Ученый секретарь
диссертационного совета



Никифорова А.С.

Актуальность работы. В настоящее время урбанизация стала явлением глобального масштаба. На долю городских жителей приходится больше половины населения планеты. Городская среда отрицательно влияет на экосистемы, оказавшиеся в черте городов и пригородах. Лесные насаждения выполняют множество защитных и рекреационных функций, поэтому проблема их сохранения является важнейшей для обеспечения устойчивого развития городов. С ростом городов усиливается рекреационное воздействие, вызывающее негативные изменения состояния лесопарков и пригородных лесов, которые важно обнаружить на ранних этапах. В этих условиях особое значение приобретает комплексная качественная и особенно количественная информация о состоянии лесных экосистем и их компонентов при разной рекреационной нагрузке, необходимая для прогнозирования динамики рекреационных лесов и выбора оптимального управления.

Цель работы: количественная характеристика зависимости состояния компонентов лесных экосистем от уровня рекреационного воздействия на примере лесопарков Москвы.

Задачи исследования:

1. Характеристика изменений состояния растительности в зависимости от уровня рекреационного воздействия.
2. Характеристика свойств почв дорожно-тропиночной сети.
3. Количественная характеристика зависимости изменений почвенных свойств от степени рекреационной нагрузки.
4. Оценка состояния почвенной мезофауны на разных стадиях рекреационной дигрессии.
5. Количественная оценка различий состояния почв на разных стадиях рекреационной дигрессии на основе результатов дискриминантного анализа.

Научная новизна. На примере лесопарков Москвы впервые были проведены комплексные исследования состояния лесных экосистем при разной рекреационной нагрузке, что позволило количественно охарактеризовать зависимость физико-химических и биологических свойств почв, а также показателей состояния растительного покрова и сообщества мезопедобионтов от уровня рекреационного воздействия. На основе результатов дискриминантного анализа впервые установлено, что наиболее чувствительными и надежными индикаторами изменения состояния почв под действием рекреации являются показатели, характеризующие структуру почв. Показано, что для характеристики изменений состояния почв под влиянием рекреации больше подходит разбиение на три, а не на пять стадий дигрессии.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании отклика хвойно-широколиственных и широколиственных экосистем на легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах на рекреационное воздействие и выборе оптимального управления лесопарками Москвы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2010-2015), Международной научной конференции «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред» (Москва, 2013), V Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием «Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов» (Пушино, 2013), на XVII Всероссийской научной конференции «Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2014), Всероссийской научной конференции «Научные основы устойчивого

управления лесами» (Москва, 2014) и на заседании кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова (Москва, 2015).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 170 страницах, содержит 53 рисунка, 22 таблицы; состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы, включающего 332 источника (из них 92 на иностранном языке) и 2 приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю д.б.н. И.М.Рыжовой за руководство исследованиями, всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах работы; к.б.н. Г.В.Стома - за советы и консультации, к.б.н. В.М.Телесиной - за помощь в составлении геоботанических описаний; д.б.н. А.Л.Степанову и д.б.н. Н.А.Манучаровой - за помощь в проведении микробиологических исследований; к.б.н. А.А.Рахлеевой - за помощь в изучении почвенной мезофауны, а также всем сотрудникам кафедры общего почвоведения за внимание и помощь в работе.

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Изучению рекреационных лесов посвящены многочисленные исследования (Казанская и др., 1977; Карпачевский, 1977, 1981; Полякова и др., 1981, 1983; Соколов, 1983; Куйбышев, 1987; Хайретдинов, Канашова, 2002; Рысин и др., 2003, 2006, 2012; Киселева и др., 2003, 2006, 2008; Таран и др., 2004; Бурова, Феклистов, 2007; Грюнталь, 2004; Лыников, 2008, 2011; Мартыненко и др., 2008; Прокофьева и др., 2008, 2010; Рахлеева и др., 2008, 2009; Alessa, Earnhart, 2000; Andres-Abellan et al., 2003; Cole et al., 2003, 2004; Malmivaara-Lamsa, 2008; Hamberg, 2009; Cakir et al., 2010; Rusterholz et al., 2011; Mariella, Norman, 2012).

Большое значение для формирования благоприятных экологических условий в городах имеют лесопарки. Они являются ценнейшим рекреационным ресурсом, так как их среда благоприятна для отдыха и укрепления здоровья человека. В тоже время рекреация относится к одному из основных негативных антропогенных факторов, влияющих на городские и пригородные лесные экосистемы. Наиболее сильное отрицательное воздействие на состояние лесопарков оказывает бездорожная рекреация со свободным перемещением отдыхающих по территории (Дробышев, 2000; Рожков, 2001; Рысин и др., 1983, 1990; Киселева, 2008; Sun, Liddle, 1993; Thurston, Reader, 2001; Cole, 2004a, 2004b, 2013; Torn et al., 2009; Wimpey, Marion, 2010; Liu, 2013).

Методы определения рекреационной нагрузки представлены в отраслевом стандарте «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы» (ОСТ 56-100-95). В связи с трудностями практического использования регистрационно-измерительного метода, основанного на определении количества посетителей и времени их пребывания, большее распространение получили методы оценки рекреационной нагрузки в зависимости от того, какая доля от общей площади изучаемого участка вытоптана до минерального горизонта. В соответствии с этой долей по Отраслевому стандарту выделяется пять уровней рекреационной нагрузки, каждому из которых ставится в соответствие стадия рекреационной дигрессии, характеризующая этап рекреационной изменчивости биогеоценоза. Подход, основанный на выделении стадий дигрессии (СД), получил широкое распространение в рекреационном лесоведении, начиная с работ Р.А.Карпиносковой (1967). Наиболее широко используется пятистадийная схема (ОСТ 56-100-95; Казанская и др., 1977; Рысин и др., 2003). В литературе также представлены работы, в которых для характеристики рекреационных изменений используются, как более, так и менее детальные схемы. При

определении стадий дигрессии основное внимание уделяется изменениям растительности и, как правило, не рассматриваются, либо мало учитываются почвенные характеристики. В настоящее время нет единой точки зрения по вопросу о том, какая рекреационная нагрузка является критической для леса (Казанская и др., 1977; Карпачевский, 1981; Полякова и др., 1983; Соколов, 1983; Куйбышев, 1987; Орловский, 1988; Сериков, Карташова, 2003; Рысин и др., 1987, 2003, 2006; Бурова, Феклистов, 2007; Мозолевская и др., 2007). Трудности получения однозначного ответа на этот вопрос с одной стороны, вероятно, обусловлены различной устойчивостью разных типов леса к одинаковой рекреационной нагрузке, а с другой, недостатком данных для определения количественной зависимости показателей состояния не только растительности, но и почв от уровня рекреационной нагрузки. Поэтому большой интерес вызывают комплексные исследования, направленные на получение данных, характеризующих зависимость количественных показателей состояния растительности и почв от рекреационного воздействия.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Характеристика объектов исследований

В качестве объектов исследований были выбраны лесные экосистемы двух крупнейших лесопарков Москвы: Национального парка «Лосиный остров» и Природно-исторического парка «Битцевский лес». Изучаемые парки являются ядрами архитектурно-планировочной структуры города, связаны с его различными функциональными зонами и непосредственно прилегают к жилым кварталам (Почва, город, экология 1997; Мозолевская, 2004).

В «*Лосином острове*» изучался елово-липовый лес на легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах. Пробные площади были заложены в наиболее используемых для рекреации 52-54 кварталах. В «*Битцевском лесу*» исследования проводились в обособленном лесном массиве усадьбы Узкое (квартал 7) (рис.1). Изучаемые экосистемы представлены дубово-липовым лесом на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах.

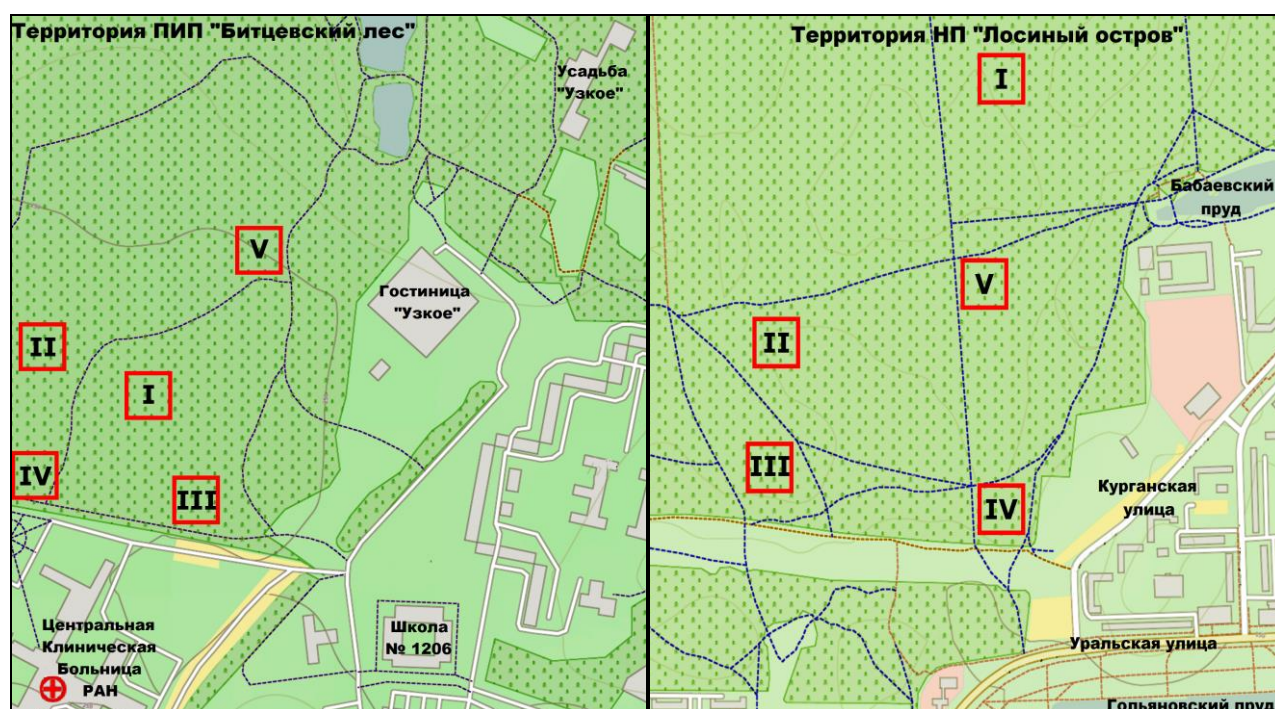


Рис.1. Схема расположения пробных площадей.

Примечание: Римскими цифрами обозначены стадии дигрессии

Полевые исследования проводились в 2011-2013 годах. В изучаемых лесопарках было заложено по пять пробных площадей размером 25×25м, соответствующих каждому из пяти уровней рекреационной нагрузки, определенной по доле вытоптанной площади, характеризующих разные стадии рекреационной дигрессии (ОСТ 56-100-95; Рекомендации по оценке..., 2000). Все пробные площади закладывались в сходных геоморфологических условиях на автономных элементах рельефа. На рис. 2 приведены карты-схемы пробных площадей, с указанием расположения дорожно-тропиночной сети.

Рекреация влияет на все компоненты леса (Полякова и др., 1983; Соколов, 1983; Рысин и др., 2003; Бурова, Феклисов, 2007; Sun, Liddle, 1993; Cole, 1995, 2004). В настоящей работе исследовалась зависимость состояния растительного покрова, почвенных свойств и состояния комплекса мезопедобионтов от уровня рекреационной нагрузки.



Рис.2. Карты - схемы пробных площадей

2.2. Методы исследований

Методы изучения растительного покрова

Древесный ярус. На каждой пробной площади сделано геоботаническое описание всех ярусов леса по традиционным методикам (Куликова, 2006). Для характеристики состояния деревьев использовался комплекс показателей, предложенных Е.Г.Мозолевской (2004): состояние ассимиляционного аппарата, количество отпада, повреждение стволов, их форма, конфигурация кроны (асимметричность, суховершинность, сомкнутость). В результате было определено количество деревьев следующих категорий: в хорошем, удовлетворительном и неудовлетворительном состоянии (усыхающие и сухостойные деревья), и количество стволов с оголенными корнями. Дополнительно определялся показатель стабильности развития липы мелколистной (*Tilia cordata*) по методике В.М.Захарова и Ф.Т.Чубинишвили (2001), которая позволяет по величине флуктуирующей асимметрии листовых пластинок, на основании 5 морфометрических промеров оценить качество окружающей среды. Для характеристики условий среды на каждой из стадий дигрессии промерялось по 500 листовых пластинок.

Травяной ярус. В современных экологических исследованиях для характеристики

травяного яруса широко используются эколого-ценотические группы видов растений, сходных по отношению к совокупности экологических факторов. В работе были использованы эколого-ценотические группы, предложенные А.А.Ниценко (1969), классифицирующее все разнообразие видов в 4 группы: 1) лесные 2) лесо-луговые, 3) луговые, 4) сорно-рудеральные. Эти группы выделяются в большинстве работ, посвященных рекреационным лесам (Бурова, Феклистов, 2007; Рысин и др., 2006).

Для характеристики сходства видового состава травяных сообществ на разных стадиях дигрессии вычислялись широко используемые в биогеоценологии индексы общности Жаккара и Сьеренсена-Чекановского (География и мониторинг биоразнообразия, 2002).

Ухудшающееся состояние лесной растительности при рекреации приводит к изменению радиационного режима, одним из показателей которого является освещенность леса, которая определялась фотоэлектрическим люксметром Ю-117 на уровне поверхности почвы и на высоте 1.5 м в 36-ти кратной повторности на каждой пробной площади.

Методы изучения почв

Рекреация способствует разрастанию тропиной сети и формированию особой структуры почвенного покрова, состоящей из чередования тропинок с прилегающими к ним притропинными зонами и территориями вне тропинок.

По литературным данным в наибольшей степени в результате рекреации изменяются свойства почв дорожно-тропинной сети (Серебряноборское опытное лесничество..., 2010; Крутов и др., 2010; Байчибаева и др., 2011; Лысков и др., 2008, 2011; Kuss, Hall, 1991; Zhongdong, 2010). При изучении зависимости изменений почвенных свойств от уровня рекреационного воздействия важно учитывать различия в пространственной неоднородности пробных площадей на разных стадиях дигрессии, а также различную степень изменения почвенных свойств на тропинках, в притропинных зонах и на участках вне тропинок. Поэтому на каждой пробной площади отбирались образцы подстилки и почв на тропинках, в притропинных зонах (на удалении 20, 50 и 100 см) и вне зоны прямого влияния тропинок. Степень выраженности тропинок оценивалась по классификации М.С.Шапочкина (2003), в которой в зависимости от ширины (до 50, 50-70, и более 70 см), глубины уплотнения (до 5, 5-10 и более 10 см) и проективного покрытия трав (10-20, 5-10 и менее 5%) они подразделяются на слабо-, средне- и хорошо-выраженные.

В лесных экосистемах на участках вне зоны прямого влияния тропинок показатели состояния подстилки и свойства почв характеризуются высокой внутрибиогеоценозной пространственной изменчивостью, обусловленной влиянием деревьев-эдификаторов, создающих мощные фитогенные поля (Карпачевский, 1977). Для ее учета образцы отбирались методом заложения трансект (по 3 на каждой пробной площади) по прямой линии от ствола одного дерева до ствола другого: у ствола, в середине проекции кроны и в междокровном пространстве (окне).

Подстилка отбирались рамкой 25x25 см. Определялись ее тип (по классификации Л.Г.Богатырева (1990), мощность, запасы и фракционный состав (доля измельченной (<1 см), активной (листья) и пассивной (ветки, кора, хвоя) фракций)), влажность и кислотность (подстилка: вода 1:25).

Почвы. Так как предыдущими исследованиями установлено, что влияние рекреационного воздействия на почвенные свойства ослабляется с глубиной и проявляется в основном до глубины 0-20 см (Кузнецов, Стома, 2013), образцы почв отбирались из верхнего минерального слоя 0-5 см и из слоев 5-10 и 10-20 см.

Определение почвенных свойств (рНвод, содержание органического углерода (Сорг),

твердость, плотность и агрегатный состав) проводилось по общепринятым в почвоведении методикам (Вадюнина, Корчагина, 1986; Полевые и лабораторные методы..., 2001; Теория и практика..., 2006). Электропроводность почв определялась в пасте с соотношением почва-вода 1:1 на приборе Cond-315i (Janzen, 1993; Soil Survey Division Staff, 1993). Свойства талой воды (рН, электропроводность и мутность) анализировались по ГОСТ 3351-74 и ГОСТ Р 51232-98. Для характеристики биологической активности почв определялось субстрат-индуцированное и базальное дыхание (Anderson, Domish, 1979; Ананьева и др., 2003).

Методы изучения мезопедобионтов

Учет численности, биомассы и группового состава почвенных беспозвоночных проводился в 3-кратной повторности методом ручной разборки монолитов площадью 1/16 м², вырезанных послойно: подстилка, 0-10, 10-20 см (Гиляров, 1975). Классификация почвенных беспозвоночных на отдельные систематические группы и классы проводилась согласно представлениям, изложенным в работе В.А.Догеля (1981). В связи с задачами исследования мы ограничились рассмотрением лишь классов мезопедобионтов.

Разнообразие и степень доминирования почвенной мезофауны оценивалось индексами неоднородности Шеннона-Уивера и Симпсона (География и мониторинг..., 2002).

Статистический анализ результатов проводился в пакете STATISTICA 6.0. Выбранный уровень значимости 0.05. При изучении зависимости изменений почвенных свойств от уровня рекреационной нагрузки анализировались послойные выборки, при составлении которых учитывалась доля площади тропинок, притропиночных зон и территории вне прямого влияния тропинок на каждой из стадий дигрессии.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА КОМПОНЕНТЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

3.1. Изменение состояния растительности в зависимости от уровня рекреационной нагрузки

Древесный ярус. Рекреация оказывает разностороннее влияние на состояние древостоя. Данные, характеризующие зависимость количественных показателей состояния древостоя от уровня рекреационной нагрузки, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели состояния древостоя на разных стадиях рекреационной дигрессии

Объект	«Лосиный остров»					«Битцевский лес»				
Стадии дигрессии	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Сомкнутость крон, %	70-75	65-70	30-35	25-30	20-25	75-80	60-65	50-55	40-45	30-35
Категории состояния деревьев, определенные по методике Мозолева (2007)										
1. Хорошее	26/93	14/56	11/44	8/38	4/18	24/88	24/78	19/66	11/42	6/24
2. Удовлетворительное	2/7	6/24	7/28	7/29	8/36	3/12	3/11	5/17	9/35	8/32
3. Неудовлетворительное:	0/0	5/20	7/28	8/33	10/46	0/0	3/11	5/17	6/24	11/44
3.1. Количество усыхающих деревьев	0/0	4/16	4/16	5/15	5/24	0/0	2/7	3/10	4/15	9/36
3.2. Количество сухих деревьев	0/0	1/4	3/12	3/15	5/24	0/0	1/4	2/7	2/8	2/8
4. Количество деревьев с оголенными корнями	0/0	0/0	1/4	3/13	11/50	0/0	0/0	0/0	1/4	4/16
Показатель стабильности развития (ПСР) липы мелколистной, определенный по методике Захарова, Чубинишвили (2001)										
ПСР Среднее значение (n=500)	0,030	0,035	0,039	0,042	0,049	0,028	0,031	0,034	0,041	0,045

Примечание: числитель - кол-во деревьев/100м², знаменатель – доля, %

С ростом рекреационной нагрузки в 4-5 раз снижается доля деревьев в хорошем состоянии, а в неудовлетворительном состоянии, напротив, возрастает до 44-46%. Чувствительность к рекреационному воздействию зависит от видового состава древостоя. В хвойно-широколиственном лесу доля деревьев в хорошем состоянии снижается вдвое при переходе к III стадии дигрессии, а в широколиственном лесу только к IV. Уже на II стадии дигрессии в «Лосином острове» доля деревьев в неудовлетворительном состоянии в два раза выше, чем в «Битцевском лесу», что связано с меньшей устойчивостью к рекреационной нагрузке хвойных пород по сравнению с лиственными (Казанская и др., 1977; Леса Москвы, 2001; Абатуров, 2003; Рысин и др., 2003, 2006; Бурова, Феклистов, 2007; Обыденников, 2007; Савельева, 2007; Киселева, Ломов, 2010; Серебряноборское опытное лесничество..., 2010).

Под влиянием рекреации происходит оголение и повреждение корней деревьев. Хвойные породы, имея поверхностную корневую систему, страдают наиболее сильно. Деревья с оголенными корнями появляются в елово-липовом лесу на III стадии дигрессии, а в дубово-липовом - на IV, а их доля на V стадии составляет, соответственно, 50 и 16%.

Об ухудшении условий среды при возрастании рекреационной нагрузки свидетельствует увеличение показателя стабильности развития (ПСР) липы мелколистной, основанного на определении флуктуирующей асимметрии листовой пластинки (табл.1). Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о статистической значимости различия средних значений ПСР ($\alpha=0.05$) на всех стадиях дигрессии.

С ростом рекреационной нагрузки сомкнутость крон деревьев снижается с 70-80% до 30%, что приводит к изменениям условий освещенности (рис 3). На V стадии дигрессии по сравнению с I относительная освещенность на уровне почвы (в % по отношению к открытой поверхности) возрастает, соответственно, в «Лосином острове» и «Битцевском лесу» в 32 и 37 раз. Ее изменение оказывает большое влияние на другие ярусы растительного покрова.

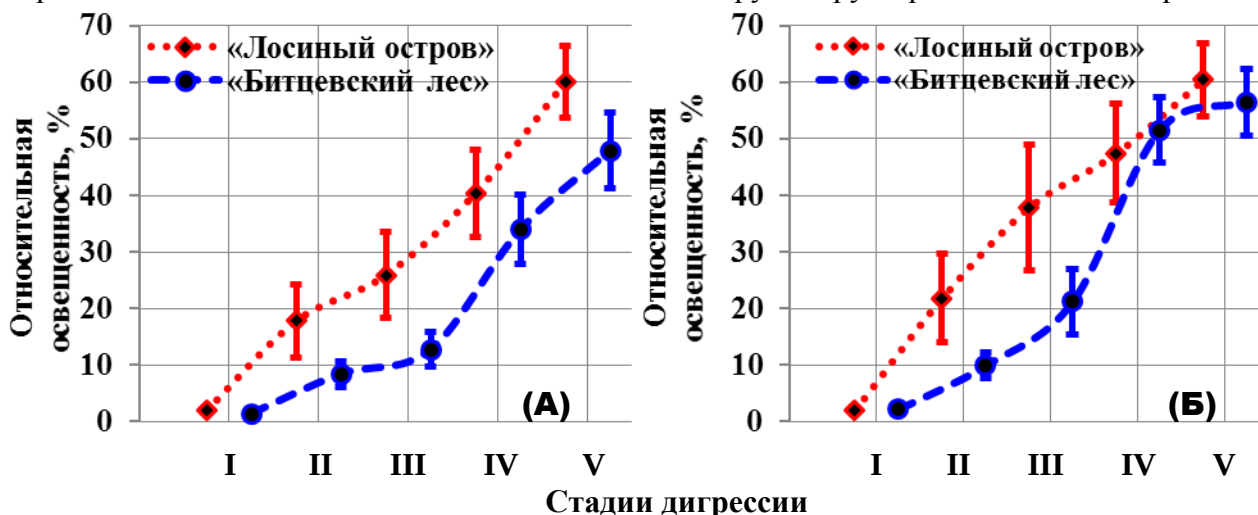


Рис.3. Зависимость относительной освещенности от уровня рекреационной нагрузки на уровне «почвы» (А) и на высоте 1,5 м (Б).

Подлесок. Состояние подлеска служит важным показателем нарушенности леса под влиянием рекреации (Полякова и др., 1983; Соколов, 1983). В изучаемых лесопарках обилие подлеска мало изменяется на первых четырех стадиях дигрессии, резко уменьшаясь в 3-4 раза на V стадии. Изменения в видовом разнообразии проявляются при более слабой рекреационной нагрузке. На I стадии отмечены различные теневыносливые виды, характерные для мало нарушенных участков, а также лещина обыкновенная. Однако уже на II стадии неустойчивые виды исчезают, в то время как компактные кусты лещины

обыкновенной, способные выдерживать большую нагрузку, разрастаются, образуя отдельные скученные группы подростка. На III и IV стадиях происходит внедрение опушечных видов: смородины черной и малины. На V стадии дигрессии остаются лишь единичные особи лещины обыкновенной.

Подрост деревьев. В изучаемых лесопарках на трех первых стадиях дигрессии в подросте доминируют: дуб черешчатый; липа мелколистная; клен остролистный. В «Битцевском лесу» эти виды сохраняются до V стадии дигрессии, на которой дополнительно появляется типичный представитель опушек и светлых полей - ясень обыкновенный. В «Лосином острове» к V стадии в подросте остается только клен остролистный.

На I и II стадиях дигрессии количество подростка составляет примерно 10 экз./100м². С ростом освещенности на III и IV стадиях оно увеличивается почти вдвое. При максимальной рекреационной нагрузке на V стадии в результате механического повреждения и уплотнения почв количество подростка снижается до 2-6 экз./100м². При слабой рекреационной нагрузке все особи подростка характеризуются высокими морфометрическими показателями: высотой до 5 м и диаметром ствола 3-5 см. С усилением рекреационного воздействия они ухудшаются. В «Лосином острове» на третьей, а в «Битцевском лесу» на четвертой стадии дигрессии доля низкорослого молодого подростка (высотой < 50 см) составляет более 50%. На пятой стадии высота стволов уменьшается до 0.3-0.5 м, а их диаметр - до 0.5 см.

Всходы. Количество всходов деревьев определялось в начале и середине вегетационного сезона (рис. 4).

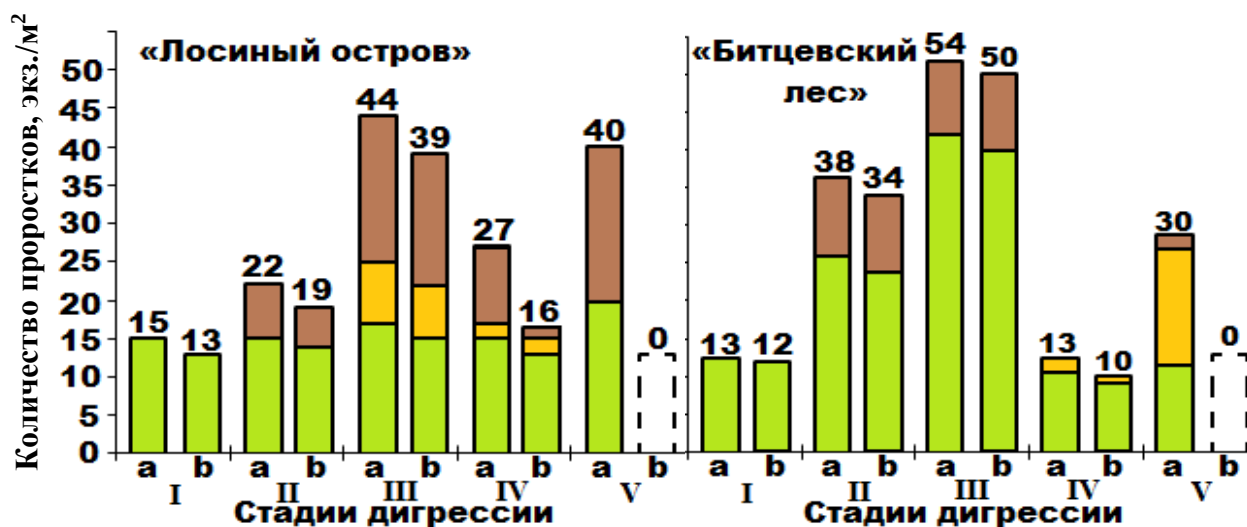


Рис.4. Количество всходов деревьев на различных стадиях дигрессии.

■ - Клен остролистный; ■ - Дуб черешчатый; ■ - Липа сердцевидная;

a-начало вегетационного периода (май), **b** – середина вегетационного периода (конец июля).

Обилие всходов обычно приурочено к освещенным участкам, лишенным растительного покрова и подстилки (Полякова и др., 1983; Рысин и др., 2006; Горбунов, Цветков, 2009). Третья и четвертая стадия дигрессии характеризуются оптимальными условиями для появления и развития всходов, что приводит к увеличению их видового разнообразия и обилия (в 2-4 раза относительно I стадии). С дальнейшим увеличением рекреационной нагрузки обилие и видовое разнообразие всходов снижается: они механически повреждаются, часть из них гибнет, не успевая перейти в категорию подростка. На V стадии дигрессии в начале вегетационного сезона (май) количество всходов составляет 30-40 экз./100м², а к концу июля они полностью исчезают.

Травяной ярус. В изучаемых лесопарках по отношению к экологическим условиям выделены 4 эколого-ценотические группы трав (табл.2). При слабой рекреационной нагрузке (I, II СД) отмечено 9-11 видов травянистых растений, относящихся в основном к лесной эколого-ценотической группе. При средней нагрузке вследствие увеличения разнообразия условий местообитания видовое разнообразие возрастает за счет внедрения лесолуговых, луговых и сорных видов. Максимальное количество видов (23) в изучаемых парках одинаково и отмечается, когда освещенность на уровне почвы достигает 25% относительно открытой поверхности. В «Лосином острове» это происходит на III стадии дигрессии, а в «Битцевском парке» на IV. Дальнейшее увеличение рекреационной нагрузки приводит к снижению видового разнообразия. С ростом освещенности и увеличением уплотнения почвы под действием рекреации в травяном ярусе начинают доминировать светолюбивые, устойчивые к вытаптыванию и механическим повреждениям виды. На первых стадиях у большинства видов отмечены фенологические фазы цветения или отцветания, а на III и IV стадиях дигрессии только вегетация.

Таблица 2. Эколого-ценотические группы трав на участках различных стадий дигрессии

Объект		«Лосиный остров»					«Битцевский лес»				
Стадии дигрессии		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Эколого-ценотические группы	лесные	8/89	9/82	10/43	7/58	4/45	10/91	9/90	13/93	8/35	5/46
	лесолуговые	1/11	2/18	3/14	3/25	2/22	1/9	0	1/7	5/22	2/18
	луговые	0	0	0	0	1/11	0	0	0	4/17	1/9
	сорные	0	0	10/43	2/17	2/22	0	1/10	0	6/26	3/27
Всего, видов /100м²		9	11	23	12	9	11	10	14	23	11

Примечание: числитель - кол-во видов/100м², знаменатель – доля, %

Показатели сходства видового состава травяных сообществ на разных стадиях дигрессии (коэффициент флористического сходства Жаккара и коэффициент общности видового состава Сьеренсена-Чекановского) свидетельствуют о резком уменьшении степени сходства при переходе к стадии дигрессии, характеризующейся максимальным видовым разнообразием. В елово-широколиственном лесу по сравнению с широколиственным видовой состав травяного яруса на разных стадиях дигрессии различается сильнее.

Моховой ярус. В изучаемых лесопарках моховой покров встречается фрагментарно. При переходе от I к III стадии дигрессии площадь мохового покрова «очагово» увеличивается с 3-5 до 7-10%, а затем в результате усиления воздействия на IV и V стадиях мхи из-за их низкой устойчивости к рекреации исчезают, что согласуется с литературными данными (Полякова и др., 1983; Рысина, Рысин, 1987; Рысин и др., 2003, 2006).

3.2. Изменение свойств почв в зависимости от уровня рекреационной нагрузки

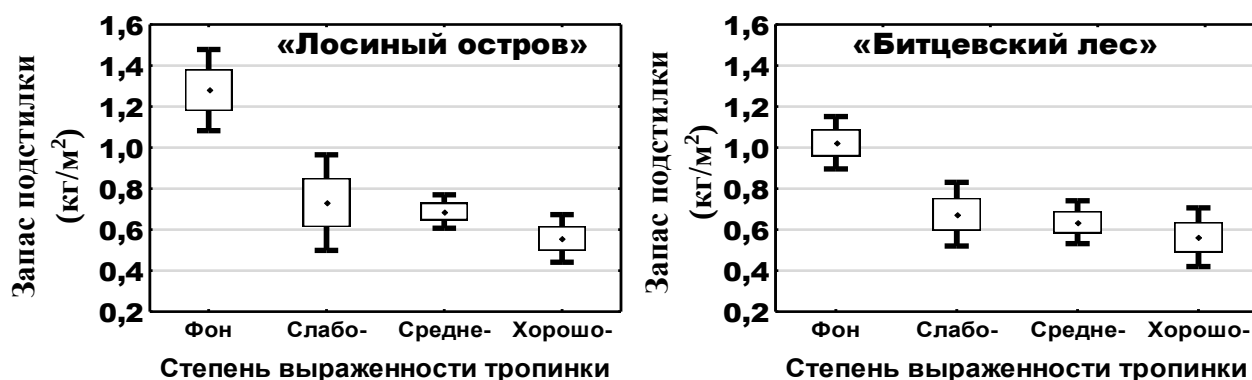
Почвы рекреационных лесов в зависимости от местоположения испытывают разное рекреационное воздействие. Максимальная нагрузка приходится на почвы дорожно-тропиночной сети. Она ослабевает по мере удаления от тропинок.

3.2.1. Почвы дорожно-тропиночной сети

Рассмотрим, как изменяются свойства почв тропинок разных типов, соответствующих классификации М.С.Шапочкина (2003). На изучаемой территории встречаются тропинки следующих трех типов: слабо-, средне- и хорошо выраженные. В качестве фона выбраны участки вне зоны прямого влияния тропинок на пробных площадях I стадии дигрессии.

Среди почвенных горизонтов подстилка первой принимает на себя рекреационный «удар». При вытаптывании она уплотняется, перетирается и измельчается. Измельченная подстилка выдувается ветром и легко смывается водами поверхностного стока. Крупная фракция перемещается пешеходами, в результате чего вдоль тропинок образуются «валики» подстилки. Изменения запасов и фракционного состава подстилки характеризует рис.5. Различия запасов подстилки на тропинках разного типа статистически незначимы. Увеличение доли измельченной фракции в составе подстилки и ухудшение водно-физических свойств почв дорожно-тропиночной сети приводит к статистически достоверному увеличению влажности подстилки.

В результате поступления антигололедных реагентов снижается кислотность подстилки. В «Битцевском лесу» и «Лосином острове» увеличение pH подстилки на хорошо выраженных тропинках по сравнению с фоном составляет соответственно 0.4 и 0.6 единиц.



Примечание (Здесь и далее): ■ - *среднее*; □ - *± стандартная ошибка*; ▮ - *± доверительный интервал (95%)*

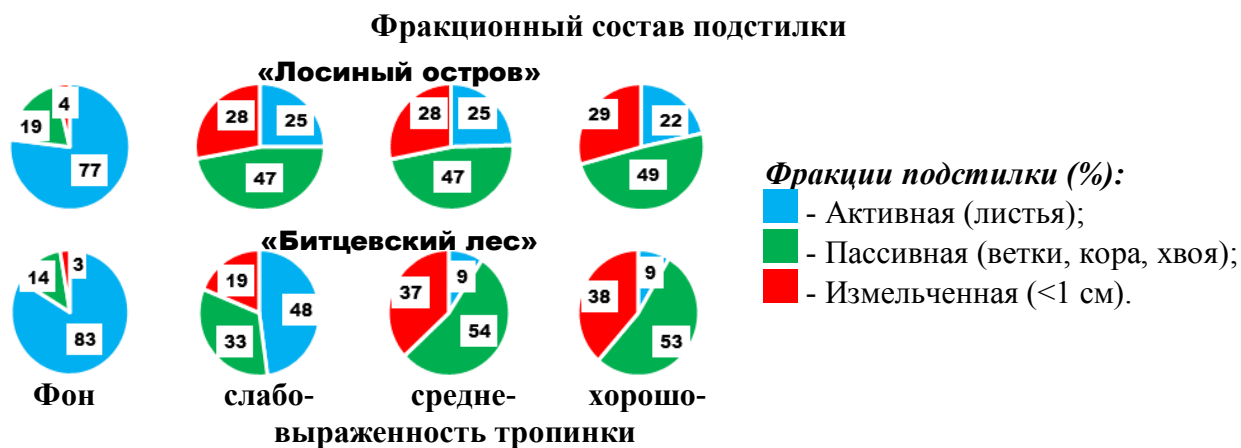


Рис.5. Свойства подстилки дорожно-тропиночной сети

Изменения физических свойств верхних минеральных слоев почв тропинок характеризует рис.6. Лучше всего их демонстрируют данные для слоя 0-5 см.

Плотность почв на тропинках всех типов превышает фоновую. Максимальное увеличение на 0.42-0.43 г/см³ отмечено на хорошо выраженных тропинках при влажности почв – 20-29%. Изменение плотности прослеживается до глубины 20 см.

Твердость почв на тропинках в 2-4 раза выше, чем на территории вне прямого влияния тропинок. Под влиянием рекреации ухудшается структура почв. По сравнению с фоном коэффициент структурности на хорошо выраженных тропинках снижается в 13 раз. При усилении рекреационной нагрузки изменяется водопрочность агрегатов. Доля водопрочных

агрегатов на хорошо выраженных тропинках снижается в 1.4 и 3.3 раза.

Уплотнение и ухудшение структуры почв дорожно-тропиночной сети приводит к изменению их водного режима, что отражается в появлении морфологических признаков оглеения в верхнем слое почв (рис.7).

Почвы дорожно-тропиночной сети характеризуются повышенным содержанием органического углерода за счет перетирания и втаптывания подстилки. Содержание органического углерода в слое почвы 0-5см в два раза выше по сравнению с фоном в «Лосином острове» на всех типах тропинок, а в «Битцевском лесу» только на средне-и хорошо выраженных. Зависимость содержания органического углерода в почве от типа тропинки прослеживается только до глубины 5 см.

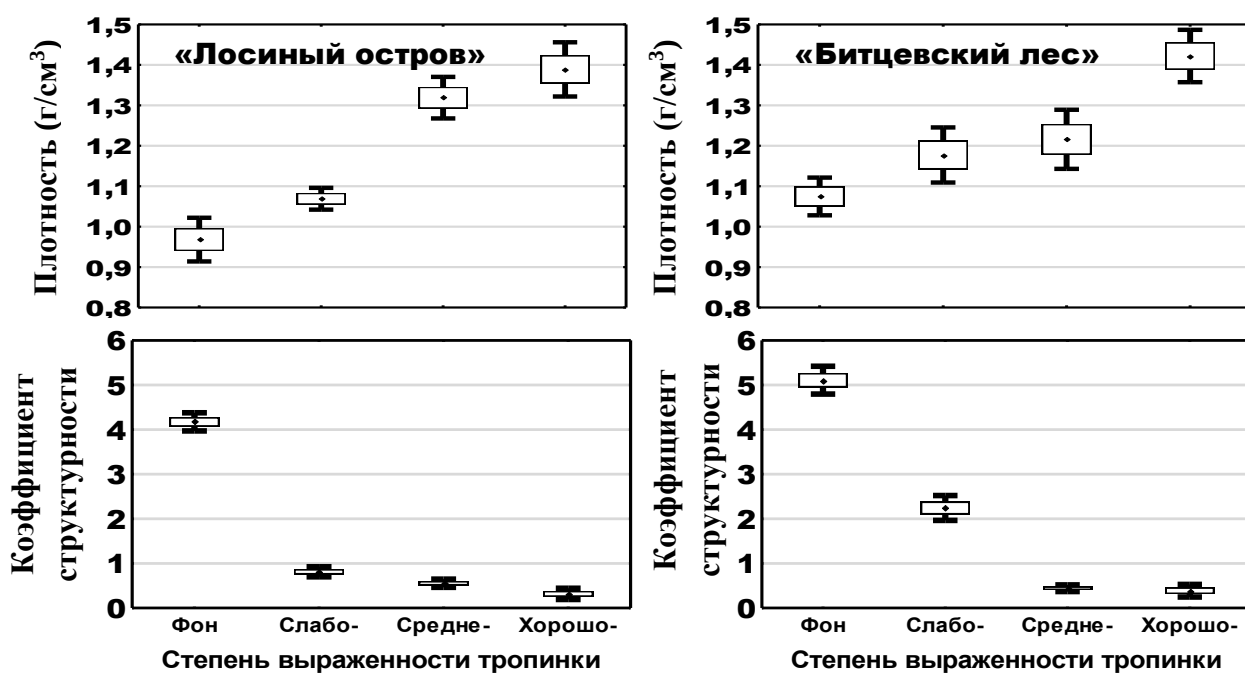


Рис.6. Физические свойства почв дорожно-тропиночной сети



Рис. 7. Морфологические признаки оглеения верхнего минерального слоя почв дорожно-тропиночной сети

Тропинки в городских лесопарках аккумулируют и перераспределяют поступающие в ландшафты продукты урботехногенеза (атмотехногенная пыль, антигололедные реагенты), что приводит к снижению кислотности и увеличению электропроводности почв (рис.8).

В «Битцевском лесу» снижение кислотности почв прослеживается на слабовыраженных тропинках до глубины только 10 см, а на более выраженных - до 20 см. В «Лосином острове» на глубине 5-20 см снижение кислотности отмечено только на хорошо выраженных тропинках.

Электропроводность почв тропиночной сети достигает максимальных значений 0.7-0.8 мСм/см на хорошо-выраженных тропинках. С увеличением степени выраженности тропинки дисперсия этого показателя возрастает: на средне-выраженных тропинках в 3-6 раз, а на хорошо выраженных в 8-12 раз.

Представленные данные о зависимости кислотности и электропроводности почв от степени выраженности тропинок хорошо согласуются с результатами изучения свойств талого снега. Снеговые талые воды на фоновых участках слабокислые (рН = 5.9). С увеличением ширины тропинки рН увеличивается с 5,9-6,0 до 6.6-7.0 на хорошо выраженных тропинках. Четко проявляется зависимость электропроводности талой воды от степени выраженности тропинки: на средне и хорошо выраженных она, соответственно, в 5, 8-12 раз выше фоновых значений. С увеличением ширины тропинок возрастает мутность талой воды.

По мере удаления от дорожно-тропиночной сети рекреационная нагрузка снижается. Ширина зоны прямого влияния тропинки определяется ее типом - для слабовыраженных тропинок она составляет 20 см, а для более выраженных – 50 см.

На основании полученных данных в пределах каждой пробной площади, характеризующей различные стадии дигрессии, можно выделить три различающиеся по почвенным свойствам зоны: дорожно-тропиночную, притропиночную и зону вне прямого влияния тропинок.

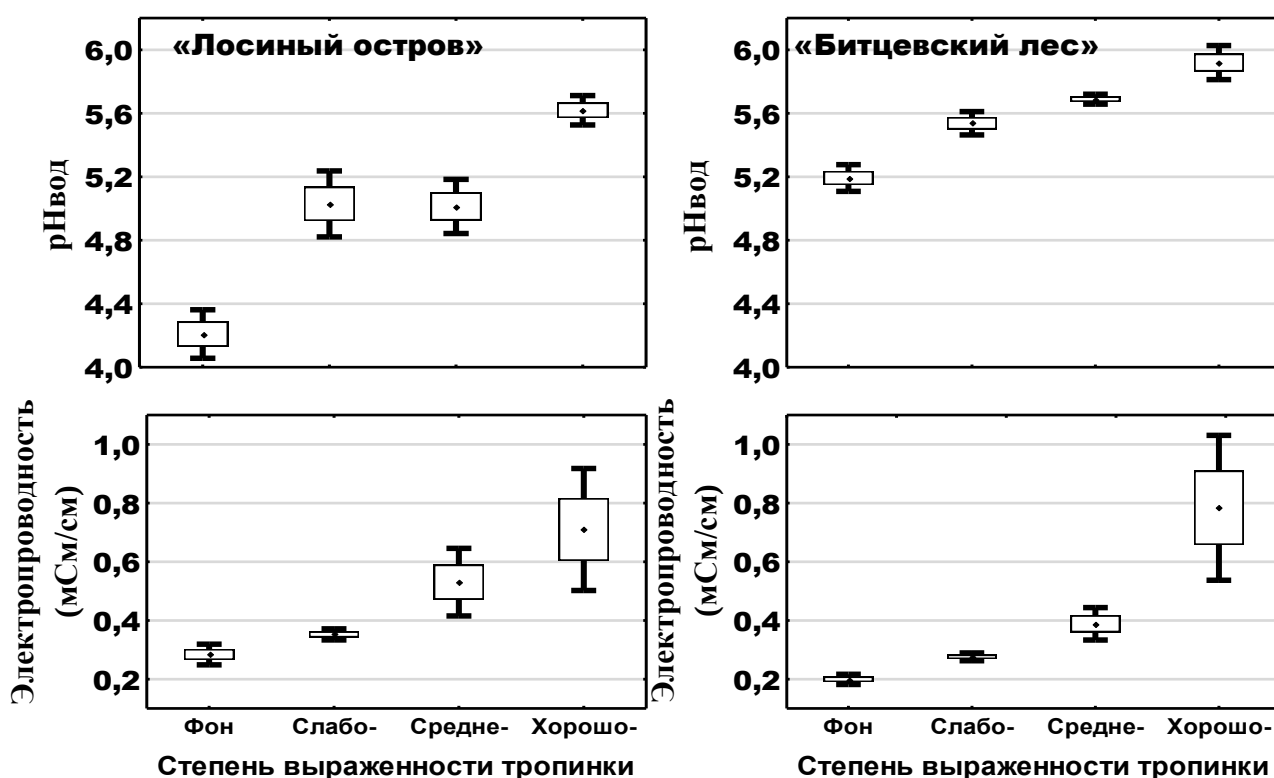


Рис.8. Кислотность и электропроводность (Ес) почв дорожно-тропиночной сети

3.2.2. Оценка изменений почвенных свойств по результатам статистического анализа послойных выборок

В связи с тем, что пробные площади представляют собой неоднородные по почвенным свойствам объекты, причем доля участия разнородных частей известна, при определении зависимости изменений свойств почв от уровня рекреационной нагрузки мы анализировали послойные выборки. При их составлении, учитывалась доля площадей тропинок, притропиночных зон и территории вне прямого влияния тропинок.

Свойства подстилки

По мере усиления рекреационной нагрузки изменяется количество и соотношение подгоризонтов подстилки. На I-II стадиях дигрессии по классификации Л.Г. Богатырева (1990) подстилка относится к типу гумифицированных, ее мощность составляет в среднем 2-4 см. На III стадии отмечается фрагментарность подстилки, а на IV стадии ее тип меняется на деструктивный. В этом случае она представлена только подгоризонтом листового опада мощностью <1 см. На V стадии дигрессии подстилка вдавливается и перемешивается с верхним минеральным слоем почвы.

Проведенный статистический анализ показал, что II и III стадии дигрессии характеризуются увеличением пространственной вариабельности запасов подстилки (дисперсия возрастает в 2-3 раза), поэтому некоторое их увеличение на этих стадиях статистически незначимо. Статистически значимое уменьшение запасов подстилки отмечено лишь на V стадии (рис.9).

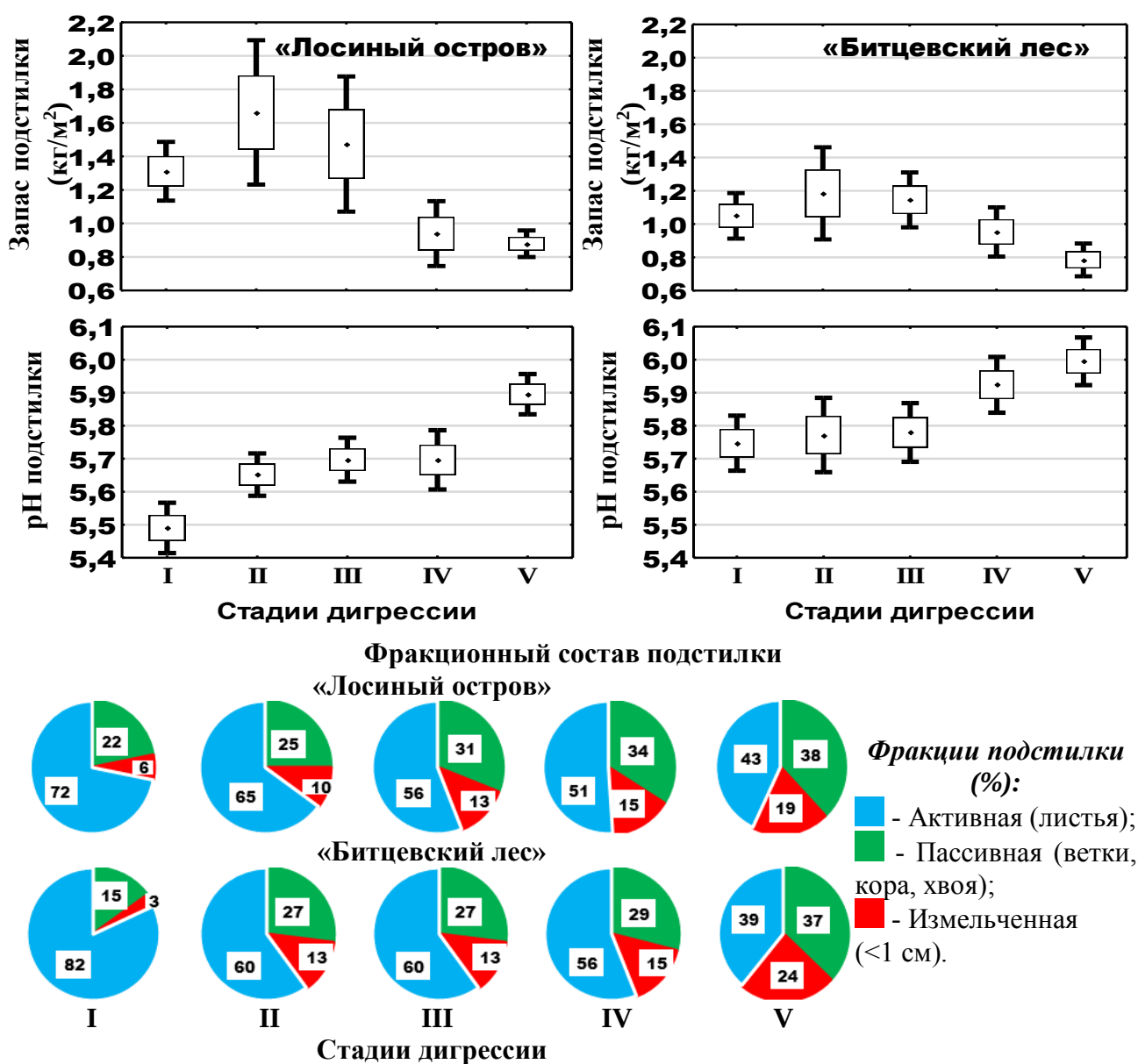


Рис. 9. Зависимость изменений свойств подстилки от уровня рекреационного воздействия

С возрастанием рекреационной нагрузки изменяется фракционный состав подстилки (рис.9). На первых четырех стадиях дигрессии в составе подстилки преобладает активная

фракция. По мере усиления нагрузки ее доля снижается с 72-82% до 39-43%. При вытаптывании в результате измельчения и перетирания подстилки значительно возрастает доля измельченной фракции. В елово-широколиственном лесу «Лосиног острова» она увеличивается в 3 раза, а в широколиственном «Битцевском лесу» - в 8 раз.

В результате поступления атмотехногенной пыли и антигололедных реагентов снижается кислотность подстилки. В хвойно-широколиственном лесу «Лосиног острова» рН увеличивается с 5.5 до 5.9, а в широколиственном «Битцевском лесу» - с 5.8 до 6.0.

Физические свойства почв

Плотность почв. По мере усиления рекреационной нагрузки плотность почв возрастает «Битцевском лесу» с 1.08 г/см³ до 1.29 г/см³, а «Лосином острове» с 0.97 г/см³ до 1.25 г/см³ (рис.10). Статистически значимое увеличение плотности почв в елово-липовом лесу «Лосиног острова» отмечено при меньшей рекреационной нагрузке на IV стадии, а в дубово-липовом «Битцевском лесу» на V стадии дигрессии.

Статистически значимые изменения плотности под влиянием рекреации прослеживаются до глубины 20 см, но амплитуда изменений с глубиной уменьшается. Это наиболее четко прослеживается в «Битцевском лесу», где диапазон изменений в слое 10-20 см в два раза ниже по сравнению с верхними слоями.

В дубово-липовом лесу «Битцевского лесопарка» даже на V стадии дигрессии плотность почв до глубины 20 см остается оптимальной для дуба и липы, но становится критической для лесных трав. В елово-липовом лесу «Лосиног острова» плотность почв, начиная с глубины 5 см, уже на IV стадии превышает верхнюю границу допустимых условий для произрастания даже липы, которая относится к наиболее устойчивым к переуплотнению почв древесным породам.

Твердость почв по литературным данным под влиянием рекреации изменяется заметнее, чем другие физические свойства (Пастернак, Бондарь, 1983; Бганцова, 1987 Лысиков и др., 2008, 2011; Лукьянова, Чижикина, 2009; Егоров, 2010; Байчибаева и др., 2011). Она сильно зависит от влажности почв, поэтому мы определяли ее в сухой и влажный периоды: в первый период (без атмосферных осадков – середина лета) влажность почв составляла 11-23 %, а во второй (с осадками в конце лета - начале осени) - 23-32 %.

По полученным данным твердость почв является чувствительным индикатором на рекреационную нагрузку, ее статистически значимое увеличение в сухой период отмечено уже на II стадии дигрессии (рис.10). К V стадии дигрессии твердость почв в «Битцевском лесу» и «Лосином острове» возрастает, соответственно, до 3.8 Мпа и 2.9 Мпа. В период с более высокой влажностью твердость почв в 1.5-2 раза ниже значений, полученных для соответствующих стадий в засушливый период. Характер зависимости твердости почв от уровня рекреационной нагрузки в оба периода остается неизменным, но диапазон изменений во влажный период больше. В сухой период твердость почв на I и V стадиях дигрессии различалась в 2-3 раза, а во влажный в 3-4.5 раза.

Структура почвы. Показатели, характеризующие структуру почвы, как и твердость, высокочувствительны к рекреационной нагрузке. Они статистически значимо изменяются при переходе уже ко второй стадии дигрессии (рис.10). На I стадии дигрессии почвы характеризуются как хорошо оструктуренные (коэффициент структурности >1.5, а сумма агрономически ценных агрегатов >60%). Ухудшение структуры до состояния «удовлетворительная» в более легких почвах «Лосиног острова» происходит на III стадии дигрессии, а в почвах более тяжелого гранулометрического состава «Битцевского леса» только при максимальной нагрузке (на V стадии дигрессии). В изучаемых лесопарках к V

стадии дигрессии коэффициент структурности снижается в 4-5 раз, сумма агрономически ценных агрегатов в 1.8-2 раза. Полученные данные согласуются с литературными (Карпачевский, 1981; Пастернак и др., 1983, 1987; Бурова, Феклистов, 2007; Mariella, Norman, 2012). По мере усиления рекреационного воздействия уменьшается водоустойчивость агрегатов. Если на I стадии дигрессии она избыточно высокая, то при переходе к V стадии: в почвах «Лосинового острова» - хорошая, а «Битцевского леса» - лишь удовлетворительная.

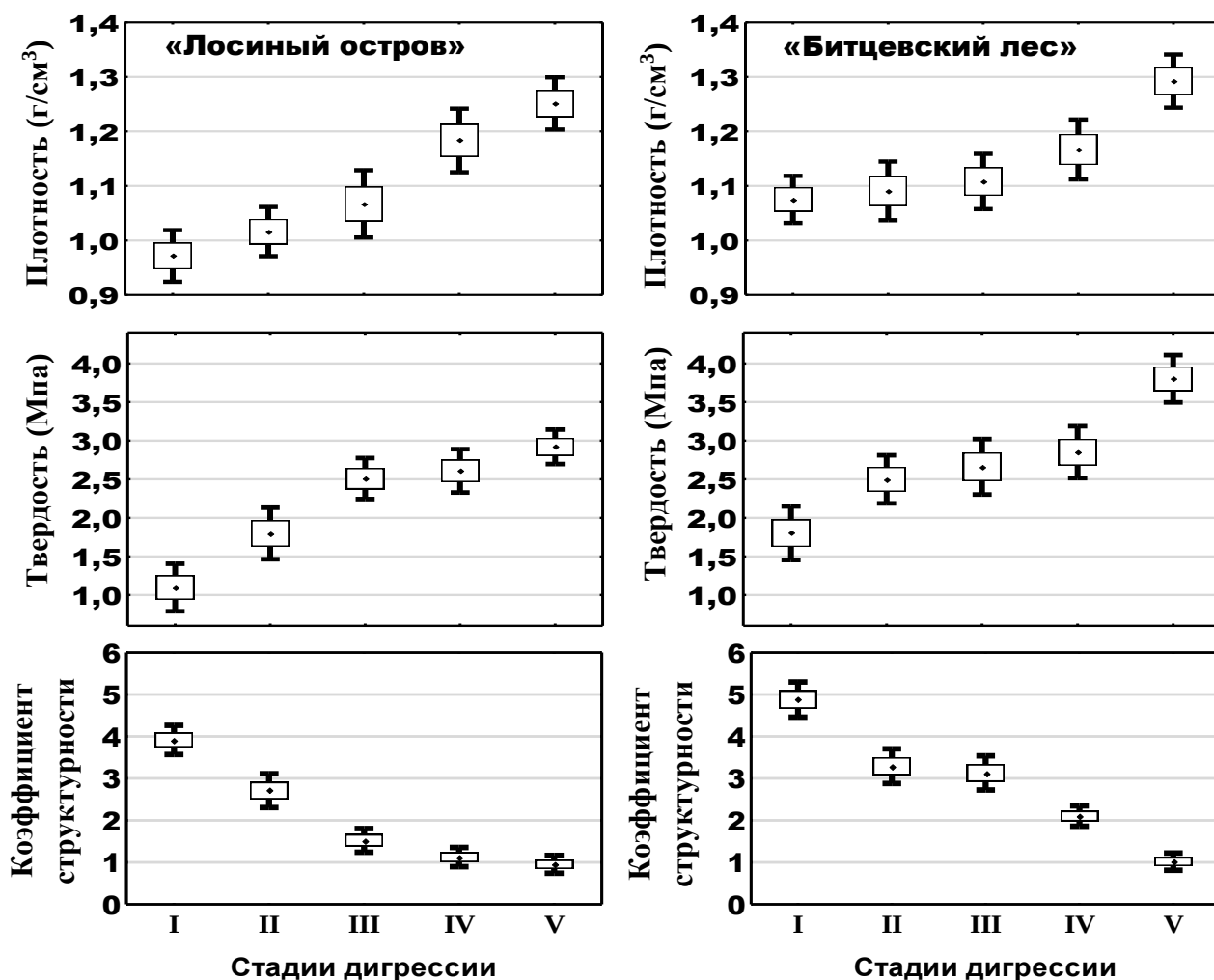


Рис.10. Зависимость изменения физических свойств почв от уровня рекреационной нагрузки

Химические свойства почв

Содержание органического углерода в почве по литературным данным под действием рекреации может, как увеличиваться (Савицкая, 1979; Амиров и др., 1982; Пастернак, Бондарь, 1983; Соколов, 1983; Щудря, 1985; Добрынин, 1990; Cole, 1982; Sun, Liddle, 1993a; Amrein et al., 2005), так и уменьшаться (Зеликов, 1964; Чиждова, 1977; Пастернак и др., 1987; Жевелева, Офицерова, 1985; Cole, Marion, 1988; Sun, Liddle, 1993; Stohlgren, Parsons, 1986; Zhevelev, Pariente, 2008; Muderrisoglu et al., 2010; Cakir et al., 2010).

В почвах изучаемых лесопарков отмечено увеличение содержания органического углерода с возрастанием рекреационной нагрузки в слое 0-5см (Рис. 11). Статистически значимые изменения отмечены на III стадии дигрессии. На V стадии содержание органического углерода в почве достигает 2.9-3.3 %, а также увеличивается его пространственная вариабельность (коэффициент вариации возрастает в 1.5-2 раза). В более

глубоких слоях почвы увеличения содержания органического углерода под влиянием рекреации не прослеживается. Увеличение содержания органического вещества в почве при рекреации может быть обусловлено общим городским атмотехногенным загрязнением углеродсодержащими соединениями (поступление сажи), дополнительным локальным (остатки кострищ, корм для животных, различный мусор) и вдавливанием фрагментов опада и подстилки (Бганцова, 1987; Серебряноборское опытное лесничество..., 2010).

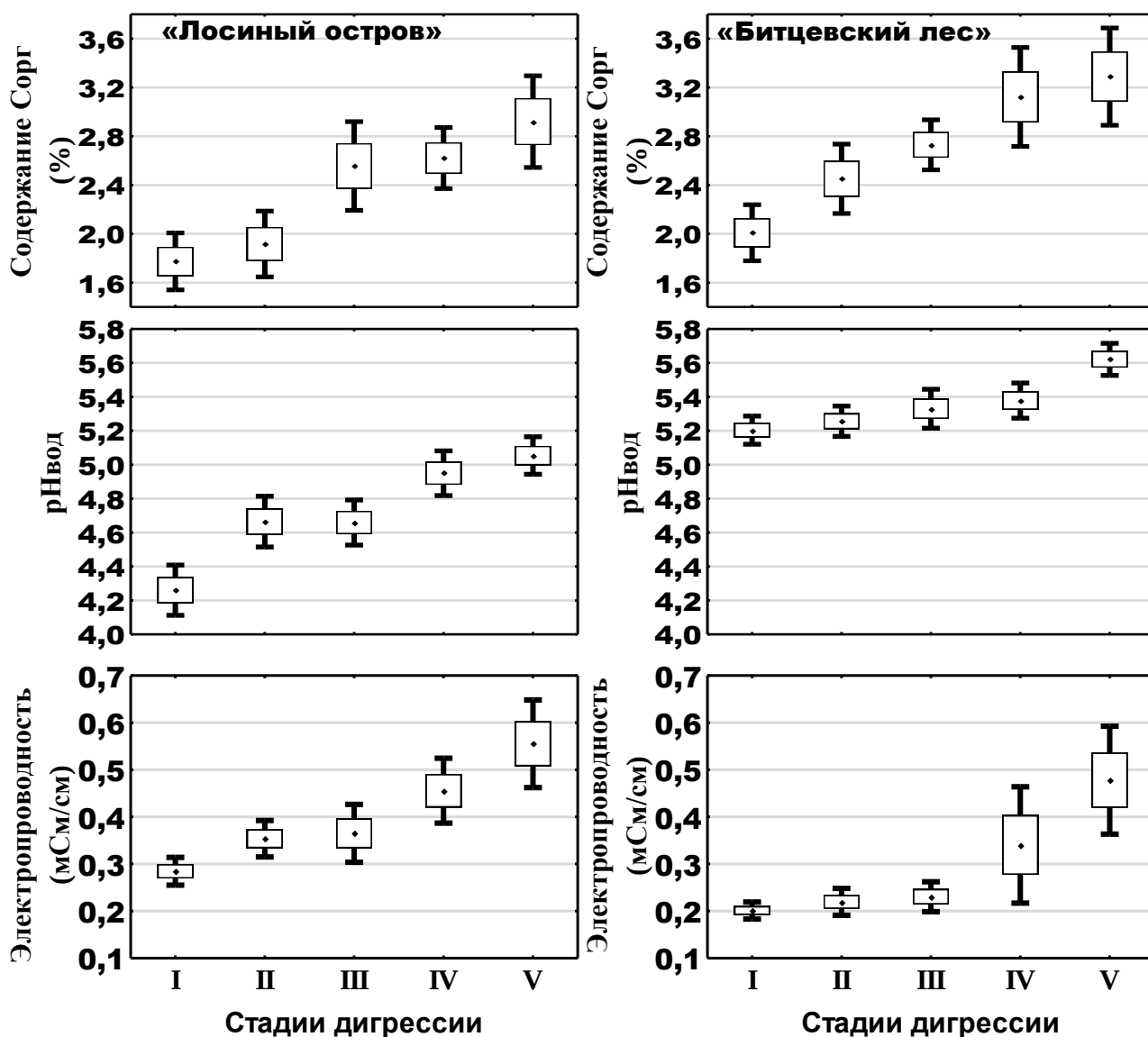


Рис.11. Зависимость изменения химических свойств почв от уровня рекреационной нагрузки

Реакция среды является важным показателем, характеризующим экологические условия и почвенные процессы. С увеличением рекреационной нагрузки кислотность почв снижается (рис.11). Дерново-подзолистые почвы хвойно-широколиственного леса «Лосиного острова» более кислые и статистически значимое увеличение рНвод в них происходит уже на II стадии дигрессии, еще один скачок значений рНвод отмечен при переходе к IV стадии дигрессии. В почве широколиственного «Битцевого леса» статистически значимое увеличение рН отмечено только на V стадии дигрессии. В «Лосином острове» под действием рекреационной нагрузки рНвод увеличивается на 0.8 единиц, а в «Битцевском лесу» только на 0.4 единицы. Под действием рекреации сглаживаются различия кислотности дерново-

подзолистых почв хвойно-широколиственного и широколиственного леса. Зависимость кислотности почв от рекреационного воздействия прослеживается до глубины 20 см. Однако диапазон изменений значений pHвод сужается. Уменьшение кислотности почв городских лесопарков связано с поступлением атмостехногенной пыли, антигололедных реагентов и загрязнением почв азотсодержащими экскрементами домашних животных и продуктами их распада (Malmivaara-Lämsä, 2008; Waltert et al., 2002; Killham 1994; Amrein et al., 2005).

Электропроводность почв зависит от количества поступающих загрязняющих веществ с атмосферными осадками, пылью и противогололедными реагентами, привносимыми на обуви посетителей, ветром и при снегоуборочных работах (Лубкова и др., 2003). По мере усиления рекреационной нагрузки отмечено статистически достоверное увеличение электропроводности почв «Лосинового острова» при переходе к IV, а «Битцевого леса» лишь к V стадии дигрессии (рис. 11). На V стадии дигрессии она увеличивается в 2-2,5 раза, а коэффициент вариации в 3-5 раз. Зависимость электропроводности почв от уровня рекреационной нагрузки ослабляется с глубиной. Статистически значимые изменения отмечаются: в «Лосином острове» до глубины 10 см и в «Битцевском лесу» - до 20 см.

Изменение биологических свойств почв

Показатели биологической активности изучаемых почв, представлены на рис.12.

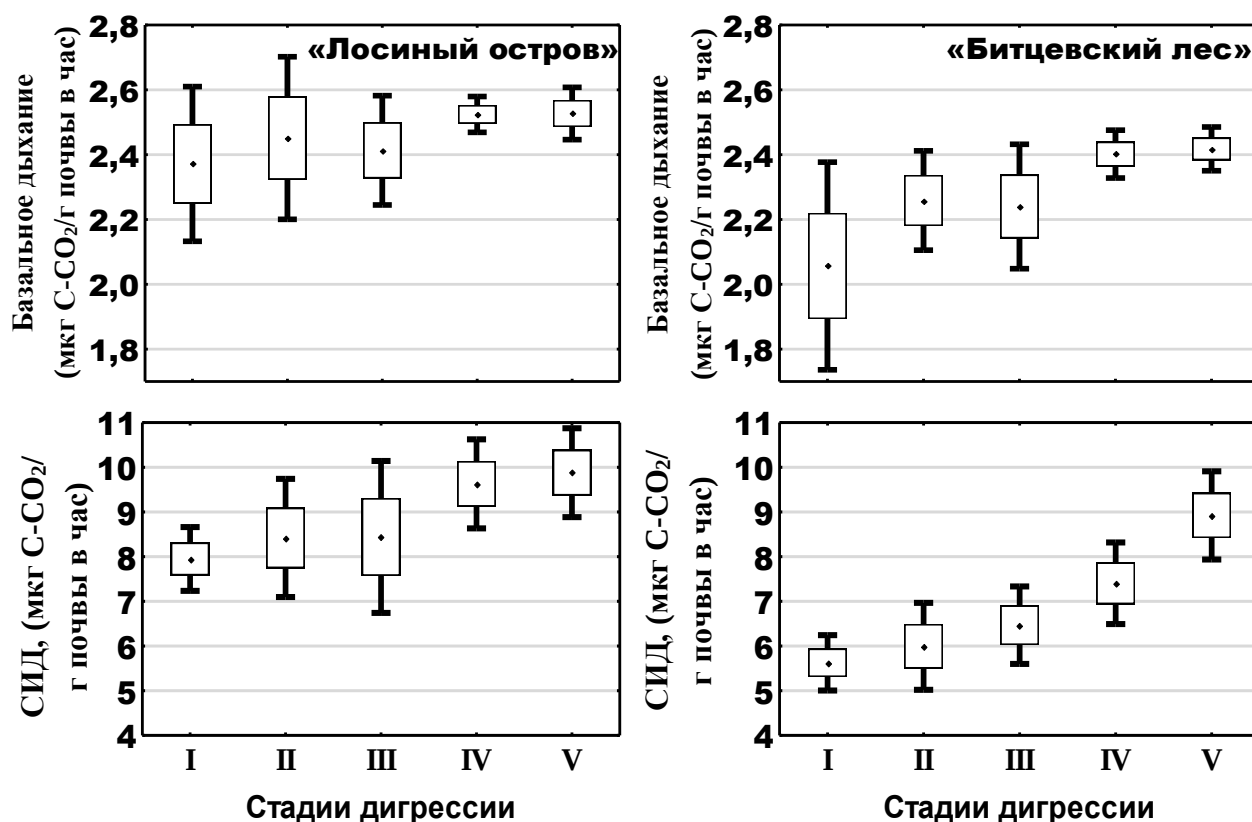


Рис.12. Зависимость изменения биологических свойств почв от уровня рекреационного воздействия.

Прослеживается только тенденция увеличения интенсивности базального дыхания при переходе к последним стадиям дигрессии, так как из-за очень высокой пространственной вариабельности этого показателя на I стадии дигрессии все различия средних значений статистически незначимы. С увеличением рекреационной нагрузки дисперсия базального дыхания снижается более чем в 3 раза. Субстрат-индуцированное дыхание статистически значимо возрастает в почвах «Битцевого леса» к IV, а в «Лосином острове» к V стадии

дигрессии. Увеличение биологической активности почв, по-видимому, является ответной реакцией микроорганизмов на изменение условий среды под действием рекреации. Возрастание биологической активности почв при рекреации связано с изменениями в групповом составе микроорганизмов, увеличением поступления растительных остатков, экскрементов домашних животных в почву, возрастанием содержания органического углерода и pH. Полученные результаты согласуются с литературными данными (Егорова, Лаврова, 1987; Лазарева, Морозова, 1987; Шугалей, 2009; Killham 1985; Liddle 1997; Hammitt, Cole 1998; Malmivaara-Lämsä, 2008).

3.3. Изменение состояния комплекса почвенных беспозвоночных в зависимости от уровня рекреационной нагрузки

Рекреации влияет не только на состояние растительного покрова и свойства почв, но и на состояние комплекса почвенных беспозвоночных. На тропинках мезопедобионты подвергаются прямому воздействию рекреации, которое выражается в основном в их механическом уничтожении, а на территории вне тропинок влияние опосредованно: через преобразование их экологических ниш (сокращение жизненного пространства и кормовой базы) (Захаров и др., 1989; Грюнталь, 2004; Cole, Fichtler, 1983; Marion, Cole, 1996; Liddle, 1997). Под влиянием рекреации изменяются численность, биомасса и групповой состав мезопедобионтов.

Состояние комплекса почвенных беспозвоночных на дорожно-тропиночной сети

Наибольшие изменения в сообществе мезопедобионтов отмечены на тропинках. Чем шире и лучше выражена тропинка, тем больше изменения на тропинке по сравнению с фоном (участок вне тропиночной сети на I стадии дигрессии) (рис.13).

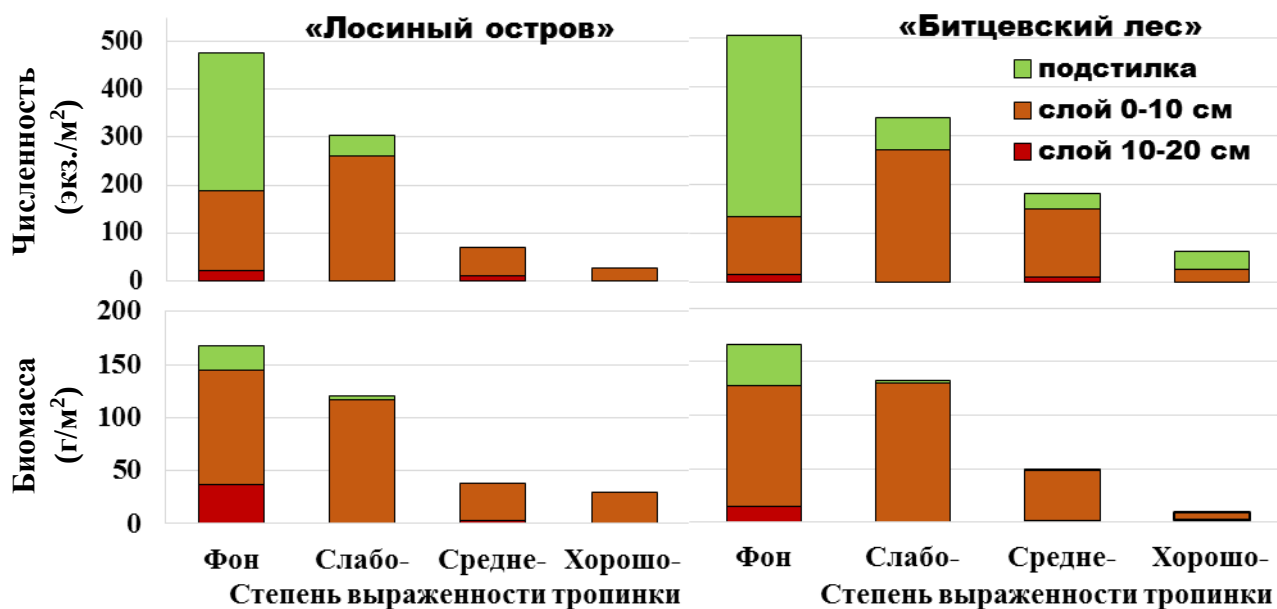


Рис.13. Численность [экз./м²] и биомасса мезопедобионтов [г/м²] (n=3) дорожно-тропиночной сети.

Ширина притропиночной зоны, в которой прослежено снижение численности и биомассы почвенной мезофауны, зависит от типа тропинки. Для слабовыраженных тропинок она составляет 20 см, средневывраженных - 50 см, а вдоль хорошо выраженных тропинок - увеличивается до 100 см.

В почвах дорожно-тропиночной сети снижается разнообразие мезофауны. На тропинках количество систематических групп уменьшается с 13-14 на фоновых участках до 1-4 на тропинках в «Лосином острове» и 3-8 групп в «Битцевском лесу». С увеличением выраженности тропинки уменьшается разнообразие мезопедобионтов, а преобразование в комплексе почвенной мезофауны тропинок связано в основном с увеличением долевого участия малощетинковых червей, что обусловлено их высокой адаптацией к меняющимся условиям среды (Грюнталь, 2004; Середюк, 2010). На тропинках в «Лосином острове» их доля достигает 86-100%, а в «Битцевском лесу» почвенные беспозвоночные более разнообразны: доля дождевых червей составляет 25-55%, многоножек - 16-24%, насекомых - 6-85%.

Зависимость состояния комплекса почвенных беспозвоночных от уровня рекреационной нагрузки

Принимая во внимание различия в состоянии почвенных беспозвоночных на тропинках и на территории вне тропинок, а также учитывая долю площади дорожно-тропиночной сети на разных стадиях дигрессии, для количественной характеристики зависимости численности и биомассы почвенных беспозвоночных от уровня рекреационной нагрузки анализировались послойные выборки. Полученные данные (рис.14) свидетельствуют о хорошо выраженной зависимости суммарной (в подстилке и минеральных слоях почвы) численности и биомассы мезопедобионтов от уровня рекреационной нагрузки. К V стадии дигрессии эти показатели снижаются в 2-2,5 раза. Это понижение вызвано, прежде всего, угнетением почвенных беспозвоночных подстилки: уже на III стадии дигрессии их численность и биомасса в подстилке уменьшается в 2 раза, а при максимальной рекреационной нагрузке (V стадия дигрессии) в «Лосином острове» и «Битцевском лесу», соответственно, в 4 и 6-7 раз.

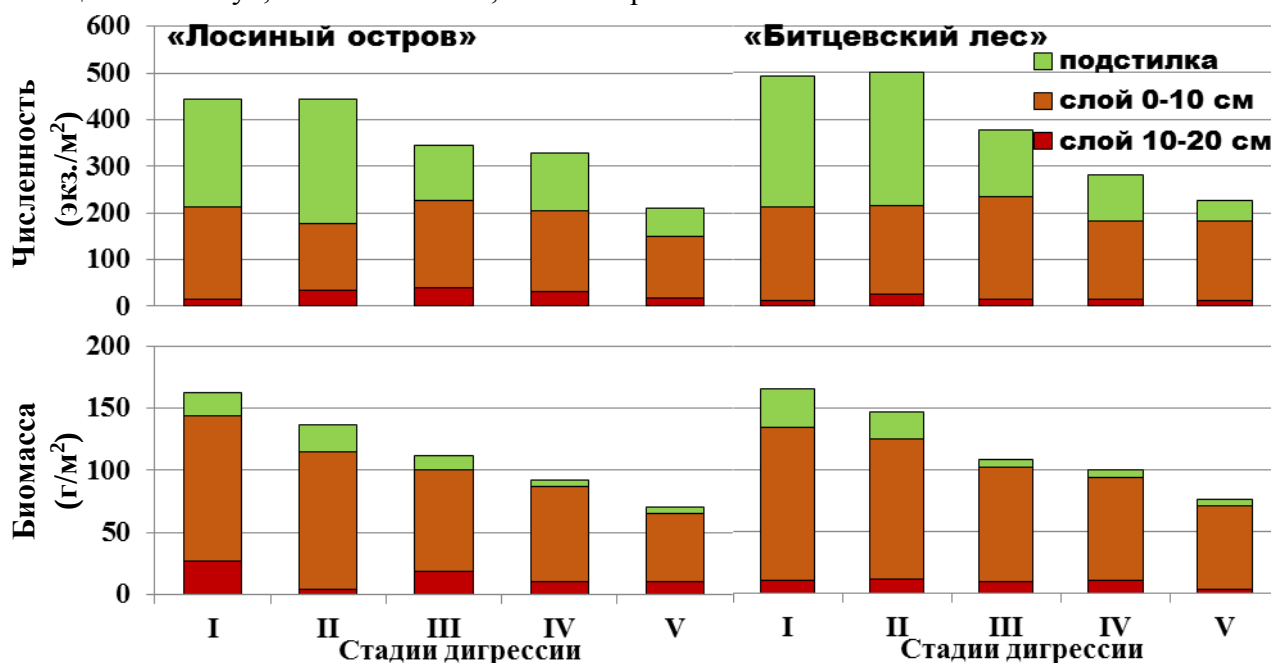


Рис.14. Зависимость численности [экз./м²] и биомассы [г/м²] (n=3) мезопедобионтов от уровня рекреационной нагрузки

Под влиянием рекреации изменяется разнообразие почвенных беспозвоночных. На изучаемых объектах обнаружены представители 6 классов мезопедобионтов, среди которых определены особи 18 систематических групп и представители всех типов питания. Вне

дорожно-тропиночной сети на I-III стадиях дигрессии встречаются 13-15 систематических групп беспозвоночных. По мере усиления рекреационной нагрузки (IV-V стадии дигрессии) их число изменяется. Наибольшие изменения отмечены в подстилке, где их число снижается с 10-12 до 4-5. За счет миграции в минеральных слоях почвы разнообразие, наоборот, увеличивается с 3 до 8-10 групп. По мере усиления рекреационной нагрузки меняется доленое участие различных классов мезопедобионтов. Увеличивается доля малощетинковых червей с 17-22 до 53-77 % и в 2-3 раза снижаются доли паукообразных, насекомых и многоножек.

Результаты оценки разнообразия комплекса мезопедобионтов исследуемых лесопарков по индексам Шеннона-Уивера и Симпсона представлены в таблице 3. Они свидетельствуют об уменьшении разнообразия по мере увеличения уровня рекреационной нагрузки.

Таблица 3. Разнообразие (индекс Шеннона) и доминирование (индекс Симпсона) комплекса почвенных беспозвоночных на участках разных стадий дигрессии.

Лесопарк	«Лосиный остров»					«Битцевский лес»				
Стадии дигрессии	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
индекс Шеннона-Уивера	2.2	2.33	2.07	1.67	1.74	2.17	2.26	2.28	1.98	0.99
индекс Симпсона	0.13	0.12	0.17	0.27	0.31	0.16	0.13	0.13	0.18	0.61

ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧИЙ (ДИСКРИМИНАЦИИ) МЕЖДУ СОСТОЯНИЕМ ПОЧВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДИГРЕССИИ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ИХ СВОЙСТВАХ

На основе полученных данных, характеризующих свойства почв на разных стадиях рекреационной дигрессии, нами был проведен пошаговый дискриминантный анализ, позволяющий определить, какие свойства различают (дискриминируют) изучаемые объекты и оценить их вклад в дискриминацию. Рассматривались свойства подстилки и верхнего минерального слоя (0-5 см), так как на них приходится наибольшая рекреационная нагрузка.

Результаты пошагового дискриминантного анализа (табл.4) свидетельствуют о статистической значимости дискриминации.

Дискриминационную способность моделей характеризует критерий Уилкса, который изменяется от 0 (полная дискриминация) до 1 (нет никакой дискриминации). Дискриминационная способность полученных моделей не очень высока. Статистика Уилкса лямбда составляет для моделей, характеризующих почвы «Лосинового острова» и «Битцевского леса», соответственно 0.20 и 0.17. Одиночный вклад каждой переменной в дискриминацию характеризует частный критерий Уилкса: чем меньше его значение, тем большую роль играет соответствующая переменная в дискриминации. Полученные результаты показали, что коэффициент структурности почв является ведущей переменной. Его вклад в дискриминацию проявляется сильнее в случае среднесуглинистых почв «Битцевского леса» (значение частной лямбды Уилкса составляет 0.367) по сравнению с легкосуглинистыми почвами «Лосинового острова» (частная лямбда Уилкса равна 0.560). Одиночные вклады остальных переменных малы (значения частной лямбды Уилкса для них > 0.8). Для дискриминации почв по стадиям рекреационной дигрессии имеет значение их совокупный вклад.

Другой важной задачей дискриминантного анализа является классификация. Полученные модели позволяют построить классификационные функции, предназначенные

для определения того, к какой совокупности наиболее вероятно может быть отнесен каждый объект. Классификация действует лучшим образом для выборки, по которой была получена дискриминирующая функция (обучающая выборка), чем для независимой выборки. Поэтому степень дискриминации (качество классификации) оценивают по независимой выборке.

Таблица 4. Результаты пошагового дискриминантного анализа данных
«Лосиный остров»

Критерий (лямбда) Уилкса: 0.20. F (28.491) =9.88. p <0.0000

Переменные в модели	Критерий Уилкса	Частный критерий Уилкса	F - критерий	P -уровень значимости	Толерантность
Коэффициент структурности	0.356	0.560	26.616	0.000000	0.633
pH подстилки	0.233	0.857	5.637	0.000314	0.415
Запасы подстилки	0.217	0.918	3.027	0.019859	0.739
pH почвы	0.227	0.879	4.670	0.001455	0.389
Твердость почвы	0.222	0.898	3.838	0.005476	0.321
Плотность почвы	0.218	0.916	3.088	0.018015	0.367
Содержание Сорг в почве	0.211	0.9460	1.926	0.109535	0.573

Переменные вне модели: электропроводность почв (Ес)

«Битцевский лес»

Критерий (лямбда) Уилкса: 0.17. F (24.430) =11.74. p <0.0000

Переменные в модели	Критерий Уилкса	Частный критерий Уилкса	F- критерий	P-уровень значимости	Толерантность
Коэффициент структурности	0.469	0.367	52.863	0.000000	0.521
Твердость почвы	0.203	0.849	5.454	0.000447	0.267
Плотность почвы	0.192	0.894	3.619	0.007971	0.472
Запасы подстилки	0.185	0.929	2.323	0.060275	0.660
Содержание Сорг в почве	0.205	0.837	5.975	0.000199	0.298
Ес почвы	0.198	0.870	4.574	0.001771	0.316

Переменные вне модели: pH подстилки; pH почвы

Примечание: **Переменные вне модели** – переменные неиспользуемые в предсказании их принадлежности к той или иной совокупности. **Толерантность**-статистика, показывающая степень избыточности переменной, вводимой на каждом шаге в модель. Чем ближе эта статистика к единице, тем обоснованнее ввод новой переменной.

Мы попытались оценить качество классификации почв, подверженных рекреационному воздействию, в основе которой лежит выделение V стадий дигрессии, соответствующих разным уровням рекреационной нагрузки (табл.5).

Таблица 5. Оценка качества классификации почв (пять стадий дигрессии)

Стадии дигрессии		1	2	3	4	5	всего
Процент правильной классификации	«Лосиный остров» (обучающая выборка)	83.3	63.6	54.2	41.4	75.9	64.6
	«Битцевский лес» (независимая выборка)	58.8	85.7	0.0	12.9	61.9	43.6

Полученные результаты указывают на то, что пятистадийная схема является неудачной для характеристики изменений почвенных свойств в зависимости от уровня рекреационной нагрузки. Так как при проверке по независимой выборке доля правильной классификации <50%. Объясняется это тем, что при разработке этой схемы принимались во внимания только доля вытаптанной площади и, главным образом, изменения состояния растительности. Почвы по сравнению с растительностью более инерционный компонент биогеоценоза. Кроме того, свойства лесных почв характеризуются высокой внутрибиогеоценозной пространственной вариабельностью (Карпачевский, 1977, 2009; Дмитриев и др., 1999), поэтому изменения в результате рекреации должны быть достаточно существенными, чтобы их можно было обнаружить.

Рассмотрим, как повлияет на качество классификации переход к трехстадийной схеме (табл. 6). Для этого объединим данные, характеризующие свойства почв II и III стадий в один массив. Теперь он будет характеризовать вторую стадию дигрессии. Третью стадию будут представлять сгруппированные данные IV и V стадий.

Таблица 6. Оценка качества классификации почв (три стадий дигрессии)

Стадии дигрессии		1	2	3	всего
Процент правильной классификации	«Лосиный остров» (обучающая выборка)	88.3	74.7	66.6	72.8
	«Битцевский лес» (независимая выборка)	82.4	74.4	74.0	75.2

Они демонстрируют заметное улучшение качества классификации. Таким образом, для характеристики изменений свойств лесных почв под влиянием рекреационной нагрузки подходит трехстадийная схема.

ВЫВОДЫ

1. В изучаемых лесопарках города Москвы («Битцевский лес» и «Лосиный остров») зависимость показателей состояния растительности, почв и мезофауны от уровня рекреационного воздействия имеет однотипный характер. Некоторые различия природных условий (характер растительности, гранулометрический состав почв) проявляются в степени изменений показателей состояния рекреационных лесов.

2. Рекреация оказывает влияние на все ярусы растительного покрова. К V стадии дигрессии в 4-5 раз снижается доля деревьев в хорошем состоянии. Чувствительность к рекреационному воздействию зависит от видового состава древостоя. В дубово-липовом лесу «Битцевского парка» больше половины деревьев находятся в хорошем состоянии до IV стадии дигрессии, а в елово-липовом лесу «Лосиног острова» уже на III стадии на их долю приходится только 44%. Это связано с меньшей устойчивостью к рекреации хвойных пород, чем лиственных.

3. Высокочувствительным индикатором изменения условий среды при рекреации является интегральный показатель стабильности развития липы мелколистной. Статистически значимые различия средних значений этого показателя обнаружены на всех стадиях дигрессии.

4. В результате ухудшения состояния древостоя сомкнутость крон деревьев снижается с 70-80% до 30%, что приводит к увеличению освещенности. К пятой стадии дигрессии освещенность (по отношению к открытой поверхности) увеличивается более чем в

30 раз. Изменение освещенности оказывает большое влияние на количество подроста и видовое разнообразие трав.

5. Под влиянием рекреации изменяется видовой состав травяного яруса. Анализ сходства видового состава травяных сообществ на разных стадиях дигрессии показал, что резкое уменьшение мер сходства происходит при переходе к стадии, характеризующейся максимальным видовым разнообразием (23 вида). В елово-широколиственном лесу («Лосиный остров») это III, а в широколиственном («Битцевский парк») IV стадия дигрессии.

6. Наибольшие изменения отмечены в почвах дорожно-тропиночной сети. Их степень зависит от вида тропинки, увеличиваясь в ряду от слабо к хорошо выраженным тропинкам.

7. В изучаемых лесопарках с усилением рекреационного воздействия изменяется тип подстилок. На первых двух стадиях дигрессии они гумифицированные, на более поздних стадиях – деструктивные. Уменьшение запасов подстилки сопровождается увеличением их пространственной вариабельности. В результате измельчения и перетирания подстилки при вытаптывании в ее фракционном составе значительно возрастает доля измельченной фракции в елово-широколиственном лесу «Лосиного острова» в 3, а в широколиственном «Битцевском лесу» в 8 раз.

8. В верхнем минеральном слое (0-5 см) изучаемых дерново-подзолистых почв с увеличением рекреационного воздействия статистически значимо увеличиваются плотность, твердость, содержание органического углерода, pH и электропроводность, а коэффициент структурности, водопрочность агрегатов и сумма агрономически ценных агрегатов уменьшаются. Величина изменений снижается с глубиной.

9. Под влиянием рекреации прослежены преобразования в комплексе мезопедобионтов. Их численность и биомасса к V стадии дигрессии снижаются в 2-2,5 раза. Это уменьшение связано, прежде всего, с угнетением почвенных беспозвоночных подстилки: уже на третьей стадии дигрессии их численность и биомасса в подстилке уменьшается в 2 раза, а при максимальной нагрузке в 4-7 раз. По мере усиления рекреационной нагрузки снижается разнообразие почвенных беспозвоночных, а в их составе увеличивается доля малощетинковых червей.

10. Результаты пошагового дискриминантного анализа на основе полученных данных, характеризующих свойства почв на разных стадиях рекреационной дигрессии, свидетельствуют о статистической значимости дискриминации. Они показали, что наибольший вклад в дискриминацию вносит коэффициент структурности почв. Одиночные вклады остальных переменных малы. Для дискриминации почв по стадиям рекреационной дигрессии имеет значение только их совокупный вклад.

11. Для характеристики изменений свойств лесных почв под влиянием рекреационной нагрузки подходит трехстадийная схема. В этом случае доля правильной классификации для независимых данных составляет 75%.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Кузнецов В.А., Стома Г.В. Влияние рекреации на лесные городские ландшафты (на примере национального парка «Лосиный остров» г.Москвы) // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. Москва. 2013. № 3. С. 27-33.

2. Кузнецов В.А., Стома Г.В., Бодров К.С. Состояние сообщества мезопедобионтов в московских лесопарках как индикатор рекреационной нагрузки и формирования импактных зон вдоль тропинок // Вестник Московского университета. Серия 17.

Почвоведение. Москва. 2014. № 1. С. 44-52.

3. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Телеснина В.М., Стома Г.В. Количественная оценка влияния рекреации на растительность, подстилку и плотность почв лесопарков Москвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. Москва. 2015. № 1. С. 21-29.

4. Кузнецов В.А. Оценка связи состояния древесной растительности и почв городских экосистем (на примере национального парка «Лосиный остров») // XVII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. «Ломоносов-2010». Почвоведение. Тезисы докладов. МАКС Пресс. Москва, 2010. С. 57-58.

5. Кузнецов В.А. Вклад тропиной сети в изменение свойств почв национального парка «Лосиный остров» // XVIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2011». Почвоведение. Тезисы докладов. Макс Пресс. Москва, 2011. С. 146-147.

6. Кузнецов В.А. Роль тропинок в рекреационных нагрузках на урбанизированных территориях // XIX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2012». Почвоведение. Тезисы докладов. МАКС Пресс. Москва, 2012. С. 137-138.

7. Кузнецов В.А., Стома Г.В. Состояние мезопедобионтов в городских лесопарках как индикатор рекреационной нагрузки // Международная конференция "Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред. Тезисы докладов. БИНОМ. Лаборатория знаний. Москва, 2013. С. 114-114.

8. Кузнецов В.А. Изменение свойств дерново-подзолистых почв под воздействием рекреации // XX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. «Ломоносов-2013». Почвоведение. Тезисы докладов. МАКС Пресс. Москва, 2013. С. 202-204.

9. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Влияние рекреации на свойства дерново подзолистых почв лесопарков Москвы // Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов. Сборник материалов V Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием памяти проф. Л.О.Карпачевского и А.С.Владыченского. ИФХиБПП РАН. Пущино, 2013. С. 173-175.

10. Кузнецов В.А. Зависимость состояния лесной подстилки от рекреационной нагрузки // XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. «Ломоносов-2014». Почвоведение. Тезисы докладов. МАКС Пресс. Москва, 2014. С. 101-102.

11. Кузнецов В.А., Рыжова И.М. Влияние рекреации на почвы и растительность лесопарков Москвы // Материалы XVII Докучаевских молодежных чтений «Новые вехи в развитии почвоведения: современные технологии как средства познания». Санкт Петербург, 2014. С. 303-304.

12. Кузнецов В.А., Рыжова И.М. Количественная оценка влияния рекреации на свойства дерново-подзолистых почв лесопарков Москвы // Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы Всероссийской научной конференции. ЦЭПЛ РАН. Москва, 2014. С. 170-172.

13. Кузнецов В.А. Зависимость свойств дерново-подзолистых почв лесопарков г. Москвы от уровня рекреационной нагрузки // XXII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. «Ломоносов-2015». Почвоведение. МАКС Пресс. Москва, 2015. С. 114-115.