

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Демина София Альфредовна

«Анализ воздействия урбанизации на экологическое состояние почв и древесной растительности на примере рекреационных зон с разной историей землепользования в ТиНАО г. Москвы»

1.5.15. Экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2023

Диссертация подготовлена в Департаменте Ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем Аграрно-технологического института ФГАО ВО РУДН.

Научный руководитель – *Васенев Вячеслав Иванович, кандидат биологических наук, PhD*

Официальные оппоненты – *Климанова Оксана Александровна, доктор географических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», доцент кафедры физической географии мира и геоэкологии*

Горбов Сергей Николаевич, доктор биологических наук, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, профессор кафедры ботаники

Мосина Людмила Владимировна, доктор биологических наук, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет МСХА им. К. А. Тимирязева, профессор кафедры экологии

Защита диссертации состоится «03» октября 2023 г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.015.3 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, ГСП–1, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ, факультет почвоведения, ауд. М-2.

E-mail: paramonovata@my.msu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/015.3/2573>

Автореферат разослан «29» августа 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Т. А. Парамонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Зеленая инфраструктура – неотъемлемый компонент современного города, определяющий экологическое состояние и устойчивость городских экосистем (Климанова и др., 2018; Andersson et al., 2014; Liu and Russo, 2021). Городские зеленые насаждения обеспечивают наиболее важные экосистемные услуги: формирование микроклимата, депонирование углерода, поддержание водного баланса, очищение атмосферного воздуха, сохранение биоразнообразия (Manuel et al., 2021; Zhang et al., 2019). Генеральные планы и стратегии устойчивого развития городских территорий традиционно уделяют большое внимание рекреационным зонам (Bush et al., 2021; Davies and Laforteza, 2017), которые могут заметно отличаться по размеру, форме, состоянию растительности, почвам, выполняемым экологическим функциям и экосистемным услугам (Bell et al., 2007; Klimanova and Ilarionova 2020; Klimanova et al., 2018), а также истории землепользования. Чаще всего в процессе урбанизации рекреационные зоны создаются на месте бывших сельскохозяйственных (СХ) и лесных территорий. Для территории ТиНАО г. Москвы (Новой Москвы) преобразование лесных и бывших СХ земель становятся основными альтернативными сценариями для развития рекреационных зон (Demina et al., 2018). История землепользования в сочетании с функциональным зонированием и антропогенной нагрузкой определяет различия состояния зеленых насаждений и неоднородность почвенно-экологических условий (Мартыненко и др., 2008; Парамонова и др., 2010; Попутников, 2011), при этом существующая нормативная база (Постановление Правительства Москвы от 27 июля 2004 г. № 514-ПП; Постановление Правительства Москвы от 10 сентября 2002 года N 743-ПП) и сложившаяся практика содержания зеленых территорий не полностью учитывает эту неоднородность.

Цель работы: проанализировать воздействия урбанизации на экологическое состояние почв и деревьев на примере рекреационных зон с разной историей землепользования в ТиНАО г. Москвы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Провести пространственный анализ и типизацию рекреационных зон Новой Москвы на основе данных дистанционного зондирования и открытых ГИС источников.
2. Проанализировать изменения землепользования в границах Новой Москвы на основе спутниковых снимков 2000, 2010, 2019 годов.

3. Оценить видовое разнообразие и состояние древесной растительности для десяти рекреационных зон с различной историей землепользования.

4. Оценить пространственную неоднородность физико-химических и микробиологических свойств почв рекреационных зон с учетом их функционального зонирования.

5. Оценить влияние истории землепользования на состояние древесных насаждений и почв, а также их взаимосвязи для разработки рекомендаций по планированию, содержанию и развитию рекреационных зон Новой Москвы.

Объект и предмет исследования. Объектами исследования являлись почвы и зеленые насаждения десяти рекреационных зон Новой Москвы, созданных или реконструированных после 2012 г. Предметом исследования стали химические и микробиологические свойства почв, видовое разнообразие, возрастная структура и состояние зеленых насаждений рекреационных зон.

Методология и методы исследования. Методологическую основу составили исследования отечественных и зарубежных ученых в области урбанизации (Briassoulis, 2000; Xie, Niculescu, 2021; Waldhoff et al., 2017; Liu et al., 2016; Vasenev et al., 2018; Dallimer et al., 2011; Tratalos et al., 2007), анализа состояния зеленой инфраструктуры (Климанова и др., 2018; Andersson et al., 2014; Стома и Романова, 2019; Liu and Russo, 2021) и оценки экосистемных услуг (Семенюк и др., 2021; Klimanova and Illarionova 2020; Klimanova et al., 2018; Gallet, 2011; M'ikiugu et al., 2011; Душкова и Кириллов, 2016), экологического нормирования и оценки качества городских почв (Яковлев и др., 2015; Цветнов и др., 2016; Макаров и др., 2017). Методическую основу составили подходы дистанционного зондирования (Глазунов и др., 2018; Grybas et al., 2020; Шихов, 2020), полевые и лабораторные методы анализа почв (Воробьева, 1998; Шеин и др., 2001; Ananyeva et al., 2008) и древесных растений (Алексеев, 1989; Чистякова, 1989). Достоверность результатов обеспечена представительной выборкой (98 точек обследования почв и более 5 000 деревьев), использованием современного оборудования, методов полевого и лабораторного анализа, дистанционного зондирования, статистической и геостатистической обработкой и анализом данных с использованием специализированного программного обеспечения STATISTICA 8 и R Studio.

Научная новизна. Впервые для Новой Москвы – наиболее крупного проекта современной урбанизации в России, – на основании дешифрирования спутниковых снимков

за 2000, 2010 и 2019 гг. и анализа генеральных планов выявлены основные закономерности изменений типов поверхности и функционального использования рекреационных зон. Проанализировано влияние истории землепользования и современного функционального зонирования на неоднородность состояния зеленых насаждений и почв. Показано, что в парках, созданных на месте бывших сельскохозяйственных земель, среднее состояние растительности лучше, чем в лесопарках, за исключением старовозрастных деревьев. Для бывших СХ-объектов также характерны более благоприятные агрохимические свойства почв: нейтральная реакция среды, оптимальное содержание органического вещества и элементов питания.

Научная и практическая значимость. Полученные данные дополняют результаты экологического мониторинга городских почв и зеленых насаждений в Новой Москве. Результаты работы могут быть использованы для обоснования нового дифференцированного подхода к нормированию экологического состояния почв рекреационных зон и для поддержки принятия решений по планированию, созданию и содержанию зеленых насаждений рекреационных зон с различной историей землепользования.

Положения, выносимые на защиту

1) На новых урбанизированных территориях ТиНАО г. Москва созданы или реорганизованы 66 рекреационных зон общей площадью до 800 га, развитие большей части из которых шло по одному из альтернативных сценариев: лесопарки на месте бывших лесных земель или парки на месте бывших сельскохозяйственных (СХ) угодий.

2) Основная стратегия развития лесопарков – сохранение экосистемы, а парков на месте СХ-угодий – преобразование и создание нового объекта зеленой инфраструктуры. В результате древесная растительность лесопарков более однородная и старовозрастная, свойства почв близки к естественным. В парках на месте СХ-объектов преобладают антропогенно преобразованные почвы с высоким содержанием $C_{орг}$ и нейтральной реакцией среды, древесная растительность более разнообразна, а доля старовозрастных деревьев в 7 раз ниже, чем в лесопарках.

3) История землепользования оказывает значимое воздействие на базовые агрохимические свойства почвы (pH и $C_{орг}$), которое проявляется как для поверхностных горизонтов, так и для подстилающих. Функциональное зонирование определяет внутреннюю неоднородность содержания фосфора, калия и некоторых тяжелых металлов,

при этом разница между зонами является статистически значимой только для поверхностных горизонтов и уменьшается с глубиной.

Личный вклад автора. Автор изучил и обобщил литературные и нормативные данные, связанные с темой диссертационного исследования. Проанализировал карты и спутниковые снимки, провел их обработку. Диссертант выполнил все полевые измерения, произвел отбор почвенных образцов и их лабораторные исследования, изучил состояние древесной растительности, выполнил анализ данных, статистическую обработку, обобщение, интерпретацию полученных данных, подготовил публикации, написал диссертацию. В работе [1] вклад автора составил 0,4 печатных листа (п.л.) из 0,65 п.л., в работе [2] 0,18 п.л. из 0,44 п.л., в работе [3] 0,24 п.л. из 0,52 п.л., в работе [4] 0,28 п.л. из 0,83 п.л., в работе [5] 0,5 п.л. из 0,61 п.л.,

Публикации по теме диссертационной работы. Всего у автора опубликовано 5 работ по теме диссертации, из них 4 работы в рекомендованных источниках.

Объем и структура диссертации. Диссертация включает введение, обзор литературы (главы 1.1–1.4), описание объектов и методов исследования (2.1–2.3), результаты и их обсуждение (Главы 3–7), заключение, выводы, список литературы. Диссертация изложена на 205 страницах, содержит 34 таблицы и 104 рисунка. Список литературы включает 166 источников, из них 54 – отечественных и 112 – иностранных.

Апробация работы Основные положения работы были представлены на российских и международных конференциях: XXI, XXII, XXIII Докучаевские молодежные чтения (Санкт-Петербург, 2017, 2019, 2020 гг.); 9-й международный конгресс SUITMA (Москва, Россия, 2017), EGU (Вена, Австрия, 2018, 2020, 2021 гг.); Smart and sustainable cities (Москва, Россия, 2018 г.); Wageningen Soil Conference (Вагенинген, Нидерланды, 2019 г.); SGEM Vienna Green Conference (Онлайн, 2020).

Благодарность. Работа выполнена при поддержке проекта РУДН «Аспирант полного дня» (программа «5-100») и гранта РФФИ (№ 19–34–90133).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Роль рекреационных зон в устойчивом развитии городов

При разнообразии взглядов на городскую зеленую инфраструктуру (ЗИ) различных научных школ и профессиональных сообществ, ЗИ можно определить как совокупность природных ландшафтов и озелененных территорий, обладающей связностью и обеспечивающих экологическую устойчивость городской среды (M'ikiugu et al., 2011;

Душкова и Кириллов, 2016; Климанова и др., 2016), ключевые экосистемные услуги (ЭУ), определяющие совокупность природных ресурсов в городе (Перман, Ма, 2006; Бондаренко 2015). Устойчивое развитие городской ЗИ подразумевает рациональное использование растительных и почвенных ресурсов для обеспечения необходимых ЭУ. Рациональное использование городских почв определено законом г. Москвы «О городских почвах» от 04.07.2007 г., №31 как экономически, экологически и социально обоснованное использование почв без снижения плодородия, а также способности выполнять ими экологические функции и ЭУ. К ключевым ЭУ зеленых насаждений и почв рекреационных зон (РЗ) относятся формирование микроклимата, депонирование углерода, поддержание водного баланса, очищение атмосферного воздуха, сохранение биоразнообразия (Теев, 2011; Manuel et al., 2021; Zhang et al., 2019), реализация которых определяется их состоянием, во многом зависящем от истории землепользования (ИЗ), функционального устройства и особенностями содержания и ухода за рекреационными зонами.

Современная тенденция устойчивого развития городов и запрос на комфортную городскую среду приводит к появлению новых рекреационных зон с различной ИЗ: бывшие лесные, сельскохозяйственные или промышленные территории (Кузнецов и др., 2018; Lemoine-Rodríguez et al., 2019; Czortek and Pielech 2020). Фактор ИЗ влияет на состояние растительности, физические, химические и микробиологические свойства почв зеленых насаждений РЗ, что особенно заметно для одного из крупнейших современных проектов урбанизации – Новой Москвы (Кулачкова и Коваленко, 2021; Demina et. al., 2018). Таким образом, анализ состояния почв и древесной растительности рекреационных зон с разной ИЗ для Новой Москвы актуален.

ГЛАВА 2. Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются почвы и зеленые насаждения 10 рекреационных зоны Новой Москвы (НМ) (таблица 1), расположенной в центральной части Восточно-Европейской равнины. Климат умеренно-континентальный со среднегодовой температурой 4–5 °С. Рельеф равнинный, глубоко расчлененный, высота от 125 до 240 м (Макарова и Григорьева 2018). Растительный покров включает как отдельные участки с сохранившимися естественными насаждениями, так и искусственные насаждения интродуцированных видов и декоративных форм (Kiseleva et al., 2020). Почвы представлены дерново-слабо- и среднеподзолистыми разной степени оглеения, аллювиальными луговыми кислыми, торфянисто- и торфяно-подзолистыми оглеенными, а также смытыми и намытыми почвами

оврагов, балок, пойм малых рек и прилегающих склонов. Ландшафтное разнообразие НМ включает более сорока видов урочищ, при этом основная часть территории располагается на плоских и пологоволнистых водноледниковых равнинах, плоских озёрно-водноледниковых равнинах и моренных равнинах (Рис. 1).

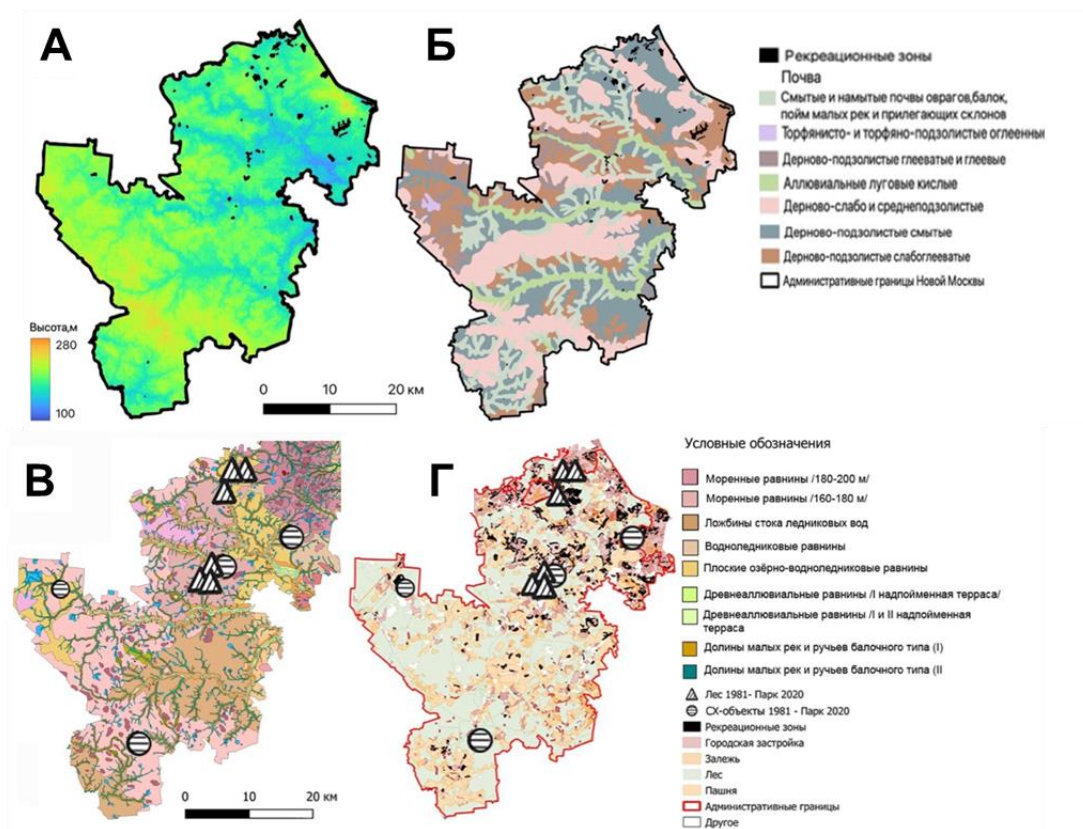


Рисунок 1. Рекреационные зоны и объекты исследования на картах рельефа (А), почв (Б), ландшафтов (В) и землепользования (Г) НМ

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Название парка	ИЗ	Год осн. /рек.	S, га	Ландшафт	Почвы	Высота, м	Тип РЗ
Рассказовка	Лес	2017	27	Плоская озёрно-водноледниковая равнина	Дерново-слабо и среднеподзолистые	180-190	Лесопарк (ООЗТ)
Ульяновский лесопарк	Лес	-	22.2	Моренные равнины /180-200 м/, моренные равнины, плоские озёрно-водноледниковые равнины	Дерново-слабо и среднеподзолистые	180-190	Лесопарк (ООЗТ)
3-го мкр Московского	Лес	1935 /2017	16.8	Плоские озёрно-водноледниковые равнины	Дерново-подзолистые смытые	194	Лесопарк (ООЗТ)
Троицкая роща	Лес	2008 /2011	15.0	Моренные равнины	Смытые и намывные почвы оврагов, балок пойм малых рек и прилегающих склонов, Дерново-слабо и среднеподзолистые с преобладанием последних	190-200	Лесопарк
Сквера г. Троицка	Лес	- /2016	4.7	Моренные равнины	Смытыми и намывными почвами оврагов, балок пойм малых рек и прилегающих склонов, дерново-слабо и среднеподзолистые с преобладанием последних	195-205	Лесопарк
Усадьба Троицкая	Лес	- /2016	2.9	Ложбины стока ледниковых вод, древнеаллювиальные равнины	Смытыми и намывными почвами оврагов, балок пойм малых рек и прилегающих склонов, дерново-слабо и среднеподзолистые с преобладанием последних	170-175	Лесопарк
Южное Бутово	СХ	2018	18.6	Долины малых рек и ручьев, водноледниковые равнины	Дерново-подзолистые смытые	165-170	многофункциональный парк
Сосны	СХ	2013	15.1	Плоские озёрно-водноледниковые равнины, долины малых рек и ручьев	Дерново-подзолистые смытые, дерново-подзолистые слабogleеватые.	185-200	многофункциональный парк
Парк п.Роговского	СХ	2017	2.3	Долины малых рек и ручьев, ложбины стока ледниковых вод	Смытых и намывных почвах оврагов, балок, пойм малых рек и прилегающих склонов.	180-190	Парк Исторический
Заречье	СХ	2014	5.1	Древнеаллювиальные равнины	Аллювиальные луговые кислые и смытые и намывные почвы оврагов, балок, пойм малых рек и прилегающих склонов	153-158	многофункциональный парк

ООЗТ- Особо охраняемы зеленые территории

Методы. Анализ динамики изменения территории НМ на основе картографической информации открытого доступа и данных дистанционного зондирования. Изменение землепользования (ЗП) в Новой Москве за период 1981 – 2017 было проанализировано наложением оцифрованной топографической карты М 1:100 000 (1981) и цифровая карта OpenStreetMap (2017) по 4 основным типам: пашни, луга, леса и городские территории. Динамика типов поверхности объектов исследования была проанализирована на основании полуавтоматической классификации мультиспектральных снимков со спутников Landsat 7, 5 и 8 (30 м, Level-2A, атмосферная коррекция) за 2000, 2010 и 2019 гг. соответственно по следующим типам: 1) застроенные территории; 2) лесные массивы; 3) сельскохозяйственные угодья; 4) водные объекты; 5) открытые почвы (без растительного покрова). Оценка точности классификации производилась путем создания матрицы ошибок (confusion matrix). Пространственный анализ проводили с использованием открытого ПО QGIS 2.14. Полученные результаты использовались для оценки изменения ключевых ЭУ.

Оценка состояния древесных насаждений. Оценка производилась на пробных площадках парков в радиусе 20 м от точки отбора почвенных образцов ($S \approx 0.13$ га). Определялся биологический возраст (онтогенез) по методике А.А. Чистяковой (1989). Оценка жизненного состояния проводилась по 6 бальной шкале В.А. Алексева (1989) и Постановление Правительства Москвы от 30 сентября 2003 г. N 822-ПП. Видовое разнообразие определяли по индексам разнообразия и разности Шеннона (Shannon, 1948).

Полевое обследование почв и анализ физико-химических свойств. В каждом парке, с учетом функционального зонирования, были выбраны 9–10 точек на которых проводили бурение до глубины 50 см для описания профиля и отбора образцов методом конверта. Фоном служили лесные и бывшие сельскохозяйственные территории (не старше пяти лет), расположенные вблизи парков с соответствующей ИЗ. Кислотность водной суспензии 1: 2.5 (pH_{H_2O}) определяли по ГОСТ 26423–85. Плотность почвы была проанализирована весовым методом (Шейн и др, 2007). Содержание органического углерода (Сорг) - бихроматным окислением с последующим титриметрическим анализом (Воробьева, 1998). Содержание калия (К) и фосфора (Р) определяли по ГОСТ Р 54650–2011. Валовое содержание металлов определяли с использованием портативного рентген-флуоресцентного анализатора (РФА) Vanta C (Olympus, США).

Анализ микробиологических свойств. Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) определяли по регистрации начального максимального выделения CO_2 из обогащенной

глюкозой почвы (Anderson, Domsch, 1978) в газовой фазе флакона методом газовой хроматографии (Кристалл 2000). Углерод микробной биомассы $C_{\text{мик}}$ (мкг С г⁻¹) определяли по формуле: $\text{СИД} \times 40.04 + 0.37$ (Anderson, Domsch, 1978). *Базальное дыхание* (БД) почвы измеряли в образце почвы, инкубированном 24 ч при 22°C (ISO 16072:2002, Ananyeva et al., 2008) с добавлением в почву дистиллированной воды (0.1 мл г⁻¹). Микробный метаболический коэффициент $q\text{CO}_2$ определяли по отношению БД / $C_{\text{мик}}$.

Статистическая обработка. Данные анализировали с использованием инструментов описательной статистики (проверка нормальности распределения, оценки среднего, ошибки среднего и доверительных интервалов). Значимость различий средних значений показателей почв между отдельными парками (n=10) проверяли с использованием однофакторного дисперсионного анализа, а между парками с разной историей землепользования (n=2) - по t-критерию Стьюдента для независимых групп. Взаимосвязи между свойствами почв и параметрами состояния зеленых насаждений сначала анализировали по методу главных компонент (РСА) с дальнейшей проверкой выявленных зависимостей на основе регрессионного анализа. Статистическую обработку и анализ данных проводили в Statistica 8.0 и R studio.

ГЛАВА 3. Дистанционный анализ пространственного распределения и динамики типов поверхности рекреационных зон Новой Москвы

Анализ изменений территории НМ на основе топографических карт. В 1981 г. на территории преобладали леса (835 км², 55% общей площади), более 30% занимали залежи и луга, а доля земель населенных пунктов не превышала 5%. Урбанизация НМ с 1981 по 2017 г. привела к трехкратному увеличению площади застройки (с 63 км² до 193 км²). До 70% урбанизации происходило в пределах 30 км от МКАД преимущественно на бывших лугах и пахотных землях, которые потеряли соответственно 87 и 18 % территории по сравнению с 1981 г. Лесные массивы меньше пострадали от урбанизации: 71 км² (9 %) лесов было утрачено в результате развития городской инфраструктуры (транспорт, застройка и т.д.) (Vasenev et al., 2019). Таким образом, урбанизация стала основным направлением изменения ЗП Новой Москвы за последние 35 лет.

Временная динамика изменения территории НМ за 2000, 2010 и 2019 гг. Анализ спутниковых снимков, подтвердил выявленные закономерности по общей динамике изменения ЗП, при этом позволил более детально проанализировать динамику типов поверхности (land cover) внутри периода. Таким образом, в 2010 г. отмечено увеличение

количества древесных насаждений на 1,3 км² по сравнению с 2000 г, а в 2019 г – уменьшение на 1,6 км² по сравнению с 2010 г. Доля древесных насаждений в общей структуре территории за период с 2000 по 2019 гг., уменьшилась на 3,8%. Основной рост запечатанных территорий приходится на период с 2010 по 2019 гг. – увеличение площади в 1,7 раз (3,3 км²), по сравнению с периодом с 2000 по 2010 гг. – 0,7 км², что объясняется началом масштабной застройки после присоединения новых территорий к Москве в 2012 г. Доля открытых почв и травяной растительности закономерно снижается – 3,9, 2,6, 1,4. км² и 3,1, 2,5, 2 км² в 2000, 2010, 2019 гг соответственно, что объясняется снижением площадей сельскохозяйственных территорий, переходящих либо в залежи, либо в застройку (Рис. 2А).

Пространственное распределение рекреационных зон НМ. Оцифровка градостроительной карты г. Москвы показала, что 96% от лесного массива в НМ, носят статус ООЗТ, при этом только 0,34% являются рекреационными зонами. К ООЗТ относятся 7 из 66 рекреационных зон, что составляет 30% от всей общей площади парков (796 га). Большая часть РЗ располагается на расстоянии до 30 км от МКАД (Рис. 2Б). Для комплексного исследования состояния почв и древесной растительности были отобраны 10 парков, сопоставимые по почвенно-ландшафтным условиям, но отличающиеся историей землепользования и действующим статусом: 6 лесопарков на месте бывших лесных земель (включая 3 ООЗТ) и 4 на месте бывших сельскохозяйственных угодий.

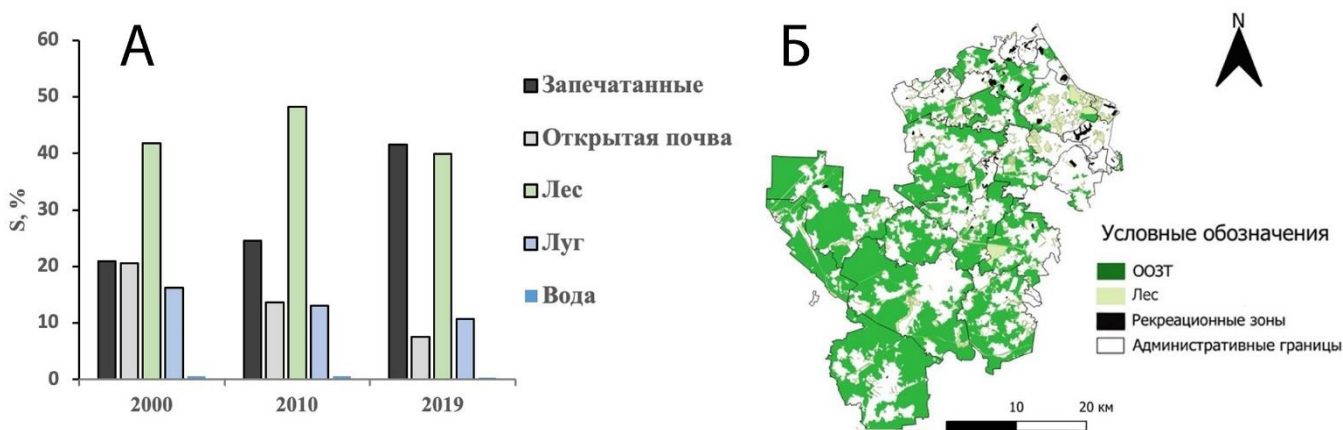


Рисунок 2. Динамика изменения типов поверхности (А) НМ в % за 2000 г., 2010 г., 2019 г. и распределение ООЗТ и рекреационных зон на территории НМ (Б)

Глава 4. Факторы внутренней неоднородности состояния почв и растительности

Пространственная неоднородность и временная динамика изменения территории выбранных рекреационных зон. Два пути развития РЗ отличались интенсивностью и характером изменения типов поверхности и, в первую очередь, динамикой запечатанности территории. С 2010 по 2019 годы количество запечатанных почв парков на месте бывших

СХ-объектов почти в три раза превышало показатели лесопарков (увеличение на 32% и 13% соответственно). Доля травяной растительности за этот же период в парках на месте СХ-объектов сокращалась, а в лесопарках – увеличивалась, что можно объяснить благоустройством и санитарными рубками деревьев на данных территориях (таблица 2).

Изменение ЭУ в парках с разной историей землепользования. Изменение структуры поверхности (запечатывание, динамика травяной и древесно-кустарниковой растительности) является индикатором для оценки потенциала обеспечения ЭУ и экономической оценки деградации земель (Бондаренко, 2016, Климанова и др., 2020). На основании литературных данных была разработана балльная экспертная оценка (Таблица 3). Значения по каждой ЭУ были проранжированы от -2 до +2, отражая соответственно максимальное снижение или увеличение потенциала по обеспечению ЭУ. В результате была получена оценка влияния изменения типов поверхности на ЭУ изученных рекреационных зон (таблица 4)

Таблица 2. Динамика изменения площадей поверхности территорий парков в 2000–2010 и 2010–2019 годах (%)

ЗП	Парк	Динамика изменения площадей поверхности, %							
		Запечатанные территории		Открытая почва (без растительного покрова)		Луг		Деревья	
		2000–2010	2010–2019	2000–2010	2010–2019	2000–2010	2010–2019	2000–2010	2010–2019
Лес	Рассказовка	+5.1	+2.5	-1	0	-1.9	+4.1	-2.2	-6.7
	Ульяновский лесопарк	+0.6	+1.8	-15.2	-0.3	+4.9	+6.4	+9.7	-7.9
	3-го мкр Московского	+7.6	+4.3	-2.2	0	-7.1	+26.6	+1.6	-31
	Троицкая роша	+11.3	+3.1	-13.1	0	0	+4.4	+2.5	-7.5
	Сквер г. Троицка	+7.8	+12.5	-42.2	-3.1	0	+17.2	+34.4	-26.6
	Усадьба Троицкая	+3.3	0	-7.1	0	0	+16.7	+3.8	-16.7
СХ	Южное Бутово	+3.8	+43.8	+35.1	-30.8	-41.3	-7.2	+6.3	-8.2
	Сосны	+1.1	+51.1	-11.2	+1.2	-8.5	-29.3	+18.1	-21.3
	Парк п.Роговского	+22.7	+50	0	0	-27.3	-40.9	+4.5	-9.1
	Заречье	-5.6	+31.5	-35.2	-5.6	+25.9	-7.4	+13	-18.5

Таблица 3. Бальная характеристика изменения экосистемных услуг при увеличении различных типов поверхности

	Микроклимат	Депонирование углерода	Качество воздуха	Биоразнообразие
Запечатанные территории	-2	-1	-1	-2
Открытая почва	0	-2	-2	-1
Луг	+1	+1	+1	+1
Деревья	+2	+2	+2	+2

Таблица 4. Изменение экосистемных услуг в период с 2000 по 2019 гг.

Зеле-польз.	Парк	Разница экосистемных услуг между 2000 и 2019 гг в баллах				
		Микроклимат	Депонирование углерода	Качество воздуха	Биоразнообразие	Всего
Лес	Рассказовка	-0.31	-0.21	-0.21	-0.30	-0.26
	Ульяновский лесопарк	0.10	0.43	0.43	0.26	0.31
	3-го мкр Московского	-0.63	-0.47	-0.47	-0.61	-0.54
	Троицкая роща	-0.34	0.06	0.06	-0.21	-0.11
	Сквера г. Троицка	-0.08	1.03	1.03	0.38	0.59
	Усадьба Троицкая	-0.16	0.02	0.02	-0.09	-0.05
СХ	Южное Бутово	-1.48	-1.09	-1.09	-1.52	-1.29
	Сосны	-1.48	-0.76	-0.76	-1.38	-1.10
	Парк п.Роговского	-2.23	-1.50	-1.50	-2.23	-1.86
	Заречье	-0.45	0.63	0.63	-0.04	0.19

В 3 из 10 парков наблюдается положительное влияние изменения ЗП на ЭУ. В Ульяновском лесопарке, несмотря на увеличения запечатанной площади территории, положительный эффект объясняется увеличением доли древесной растительности и снижением доли открытых почв. В сквере «Троицкая роща» негативное влияние показано только на микроклимат. Создание лесопарков сопряжено с менее значительными потерями ЭУ по сравнению с парками на месте СХ-угодий, где снижение более, чем на 1 балл отмечено для 3 из 4 рекреационных зон.

Анализ функционального зонирования рекреационных зон. Анализ динамики ЗП и соответствующих изменений ЭУ обеспечивает важную информацию для принятия решения по выбору одного из альтернативных сценариев развития РЗ в составе планов территориального развития. При этом для обеспечения мероприятий по содержанию и устойчивому развитию экосистем на уровне парков и лесопарков необходимо учитывать

внутреннюю неоднородность состояния почв и зеленых насаждений, которая определяется как историей землепользования, так и функциональным зонированием территории (Рис. 3).



Рисунок 3. Примеры схем функционального зонирования в парках с разной историей землепользования

На основании анализа схем функционального зонирования были выделены ключевые функциональные зоны (ФЗ), как универсальные для всех парков (зеленая, транзитная и спортивно-развлекательная зоны), так и уникальные (зона барбекю и прибрежная зона). Так транзитная и зеленая зона присутствуют во всех 10 парках, спортивно-развлекательная (Сп-р) в 9 из 10, прибрежная зона встречалась только в парках, образованных на месте бывших СХ-объектах, а зона барбекю только в 1 парке из 10. В связи с чем, для анализа влияния ФЗ на состояние почв и растений рекреационных зон с различной ИЗ сравнивали только универсальные ФЗ.

Глава 5. Состояние древесной растительности в исследуемых парках

В парках была проведена визуальная оценка 5157 дерева. Наихудшее состояние деревьев наблюдается в лесопарке Усадьбы Троицкое, что связано с доминированием старовозрастных деревьев (73% в категории g3). Наилучшее состояние деревьев (в среднем 1.5 балла) в парках «Сосны» и «Южное Бутово», образованных на месте бывших СХ-угодий и реконструированных в 2013 г. и 2018 г. При общем хорошем состоянии деревьев балл состояния в лесопарках был значимо (t-критерий, $p < 0,01$) выше (т. е. состояние было хуже), чем в парках на месте СХ-объектов (Рис. 4). Разница между ФЗ менее очевидна. Так, в старых лесопарках состояние деревьев в транзитной и спортивно-развлекательной зонах было хуже, чем в зеленой зоне, а в недавно реконструированных парках на месте СХ-объектов, наоборот, средний балл для транзитной зоны был на 0.5 ниже (состояние лучше), чем для других зон. Разные закономерности объясняются отличием в системе ухода,

сохранения и высадки древесных растений, когда при реконструкции особое внимание уделяется транзитным зонам как наиболее посещаемым и заметным.

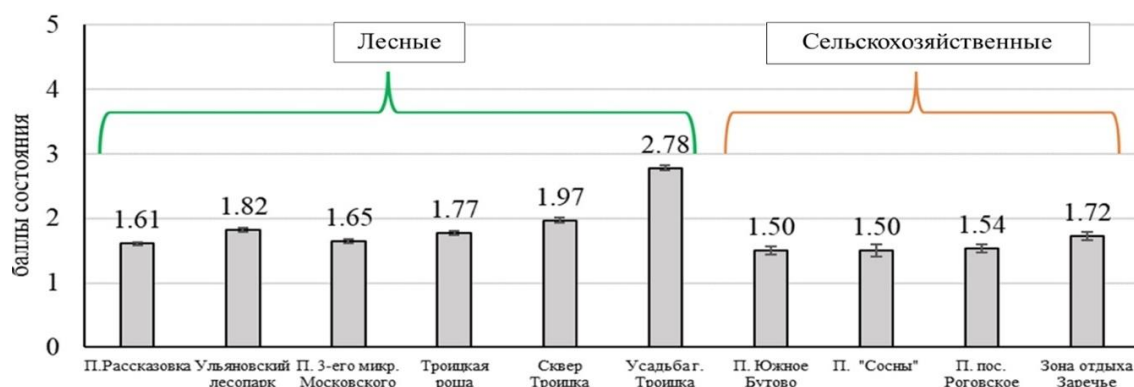


Рисунок 4. Состояние деревьев в парках и стандартная ошибка

Наибольшее число деревьев в возрасте g3 отмечено в Усадьбе г. Троицка, в то время как в парке поселении Роговское они отсутствуют полностью. В парках на месте СХ-угодий возрастные деревья (g3) встречаются в 7 раз реже, чем в лесопарках (Рис. 5). Это объясняется различием в уходе и содержанию: сохранение существующих насаждений или высадка новых. Косвенно этот вывод подтверждается и анализом индексов разнообразия Шеннона (H) и равенства Шеннона (Eh). По сравнению с парками на месте СХ-угодий древостой в лесопарках менее разнообразны ($H=2.74$ по сравнению с 3.11) и более однородны ($Eh = 0.86$ по сравнению с 0.72). Видовой состав лесопарков близок естественным лесам южного Подмосковья (Kiseleva, Stonozhenko, Korotkov, 2020), а в парках на месте СХ-угодий включает много декоративных видов, не произрастающих в естественных условиях.

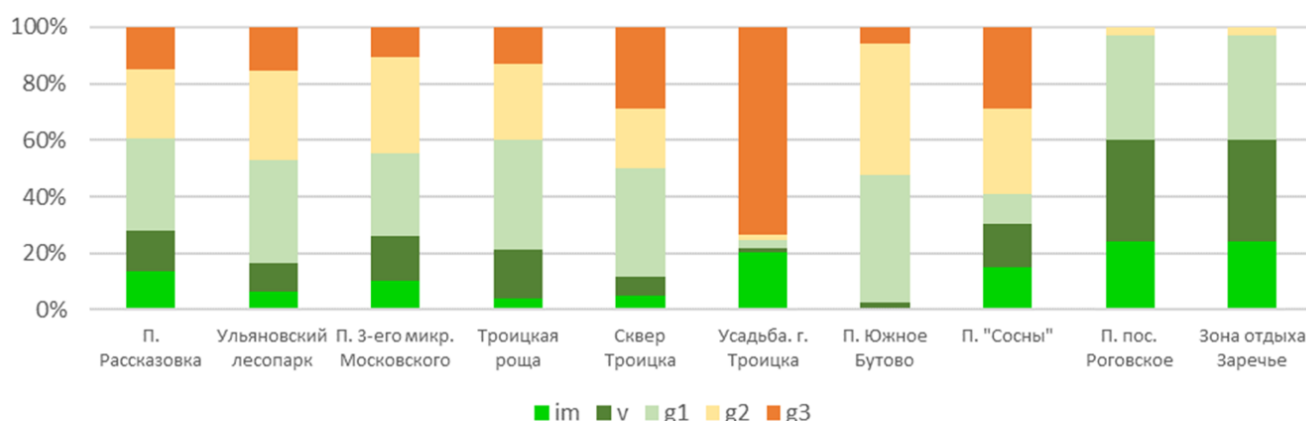


Рисунок 5. Распределение деревьев по возрастным состояниям.

Порядка 80% от всех изученных деревьев были лиственные породы. Средний балл состояния был несколько ниже (состояние лучше) для хвойных при более высокой дисперсии.

Глава 6. Анализ свойств и экологического состояния почв

В лесопарках преобладают естественные дерново-слабо и среднеподзолистые почвы, иногда с признаками оглеения в нижних горизонтах. Признаки антропогенного воздействия заметны только в верхних горизонтах – для них характерны включения кирпича, стекла, угля, строительного и бытового мусора. На отдельных участках газонов сформировался насыпной горизонт RAT. В парках, созданных на месте СХ-угодий, до 80 % территории занимают газоны на рекреаземах и реплантоземах. Кроме формирования одного или нескольких насыпных горизонтов в профиле почв можно отметить и характерные признаки агрогенных изменений, таких как ровная граница погребенного старопахотного горизонта.

Физико-химические и микробиологические свойства почв изученных парков отличались высокой пространственной неоднородностью, что в значительной степени определялось ИЗ. Так для почв лесопарков была характерна слабокислая реакция среды, а для почв парков образованных на месте СХ-объектов – нейтральная. Наиболее высокие средние значения pH_{H_2O} показаны для почвы в парке Южное Бутово 7.8 ± 0.6 , а наименьшие средние значения - в Ульяновском лесопарке 5.1 ± 0.4 . Содержание $C_{орг}$ также было значимо (t-критерий, $p < 0.05$) выше для почв парков на месте СХ-объектов. По-видимому, это объясняется привнесением органических субстратов при создании газонов и проведении других работ по озеленению и благоустройству. При этом для более измененных и благоустроенных парков на месте СХ-объектов разница с фоновыми объектами была выше, чем для лесопарков.

Несмотря на значимые отличия между парками с разной ИЗ, неоднородность свойств почв внутри парков была высокой, например, коэффициент вариации (CV) $C_{орг}$ в парке «Южное Бутово» достигал 80%. При этом ФЗ оказывало значимое влияние не на кислотность и содержание органического вещества (определяемые в первую очередь историей землепользования), а на содержание фосфора, калия, отдельных тяжелых металлов, а также некоторых параметров микробиологической активности. Так, содержание фосфора в слое 0–10 см почв транзитной зоны лесопарков было значимо выше, чем в зеленой и спортивно-развлекательной, причем с глубиной разница снижалась и становилась незначимой в слое 30–50 см. Максимальное содержание калия в слое 0–10 см почвы спортивно-развлекательной зоны парков, постепенно снижающееся с глубиной, по-видимому, является следствием внесения удобрений (Рис. 6).

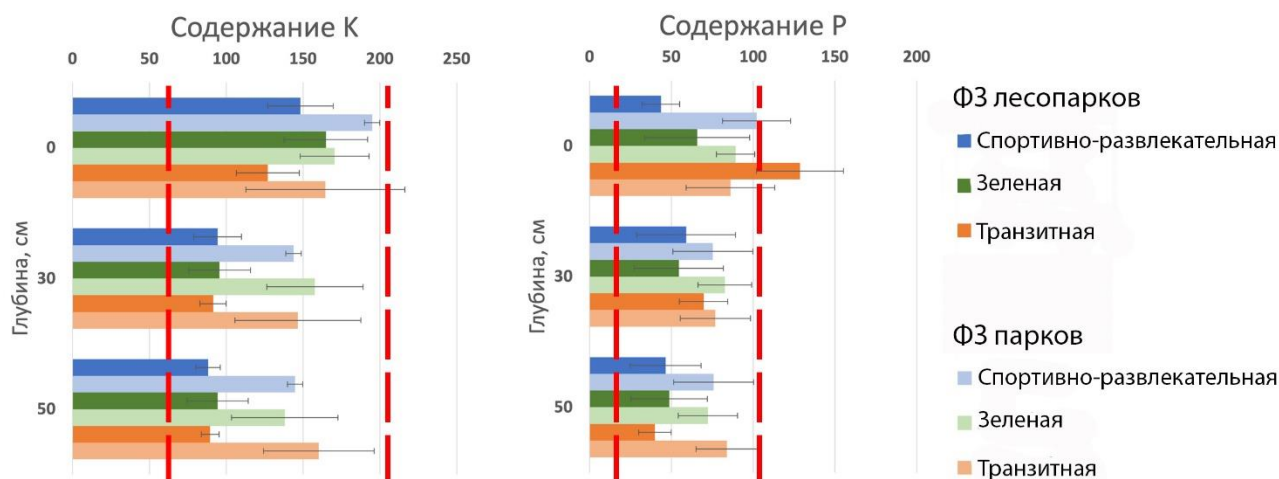
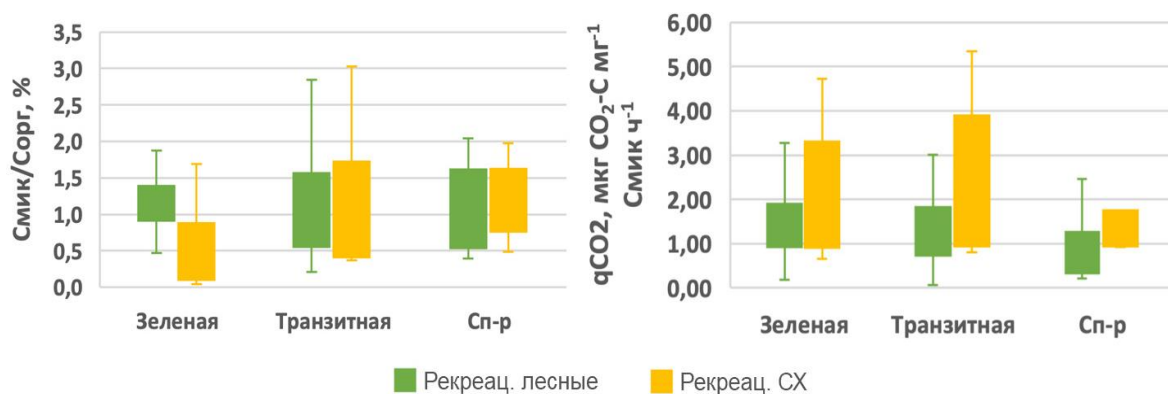


Рисунок 6. Содержание К и Р (средние значения, ошибка среднего и границы обеспеченности почвы с пересчетом $67 < K < 208$ мг/кг и $22 < P < 109$ мг/кг) в ФЗ парков с разной ИЗ

Содержание Ni, As и Pb в почвах транзитной зоны было значимо выше, чем в зеленой, однако превышения ОДК зафиксированы не были. Для транзитных зон характерен более высокий микробный метаболический коэффициент, что обычно трактуется как индикатор повышенной нагрузки (Ананьева и др., 2021). Характерно, что для лесопарков в среднем qCO_2 был ниже, чем для парков на месте СХ-объектов. Доля микробного углерода ($C_{мик}/C_{орг}$) в зеленых зонах лесопарков была значимо выше, чем в парках на месте СХ-объектов, для других ФЗ различия были статистически не значимы (Рис. 7).



Сп-р – спортивно-развлекательная зона

Рисунок 7. Показатели $C_{мик}/C_{орг}$ и qCO_2 для разных ФЗ с разной ИЗ

ГЛАВА 7. Сравнительный анализ состояния почв и древесных насаждений рекреационных зон с различной историей землепользования

Для анализа комплексного воздействия альтернативных сценариев развития РЗ на экосистему были изучены взаимосвязи между состоянием почв и древесных насаждений

рекреационных зон с различной ИЗ с учетом внутренней неоднородности и ФЗ. Сценарий образования лесопарков подразумевает в первую очередь сохранение экосистемы, близкой к исходному естественному состоянию. Сценарий создания или реорганизации парков на месте бывших СХ-объектов подразумевает трансформацию и создание новой экосистемы, чьи свойства и экосистемные услуги будут в большей степени соответствовать запросу посетителей, при этом акцент делается на рекреацию и эстетическое восприятие. В результате состояние деревьев в лесопарках хуже, чем в парках на месте СХ-объектов, причем в последних, состояние растений в транзитной зоне хуже, чем в других ФЗ.

ИЗ оказывает определяющее воздействие на базовые агрохимические свойства почв – содержание органического вещества и реакцию среды. Сравнение РЗ с соответствующим фоном показывает закономерное увеличение pH_{H_2O} и содержания $C_{орг}$ в парках. Для pH_{H_2O} более значимые изменения относительно фона отмечены для лесопарков, в то время как создание парков на месте бывших СХ-угодий привело к более значимому росту $C_{орг}$ (Рис. 8). Свойств почв парков с разной ИЗ значимо (t-критерий, $p < 0.05$) различались не только для поверхностных, но и для подстиляющих горизонтов.

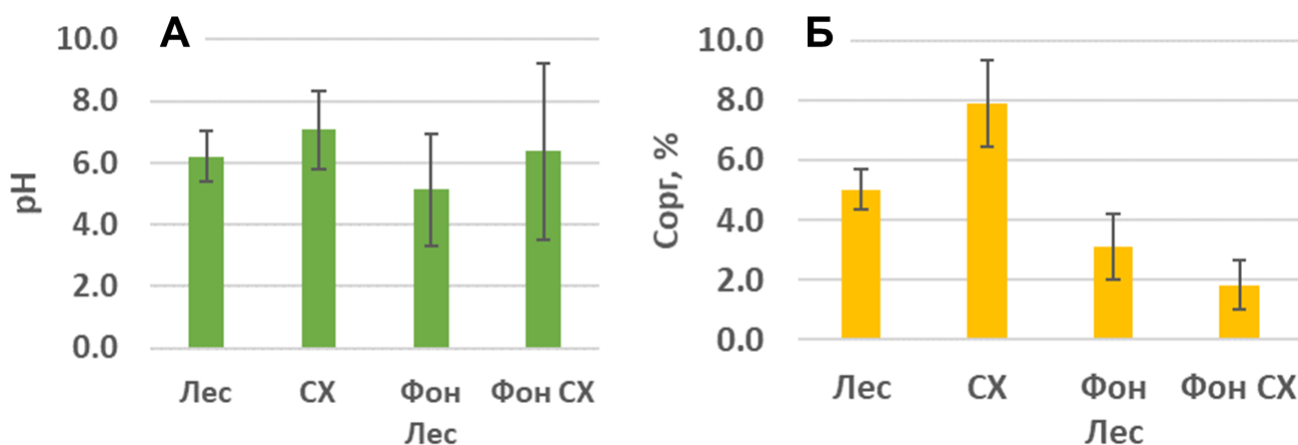


Рисунок 8. Усредненные значения pH_{H_2O} (А) и $C_{орг}$ (Б) в слое 0–10 см в парках с разной ИЗ в сравнении с фоновыми участками

Содержание Р и К в почвах парков определялось как ИЗ, так и функциональным зонированием территории. Почвы парков, образованных на месте СХ-объектов, содержали в среднем больше фосфора, чем почвы лесопарков и фонового леса, но меньше, чем почвы фонового СХ-объекта. Среднее содержание К в лесопарках было меньше, чем в парках образованных на месте СХ-объектов, при этом сравнение с фоном значимых отличий не выявило. Более высокое содержание Р отмечено в поверхностных горизонтах транзитных зон лесопарков по сравнению с другими зонами. Для них же отмечены более высокие

содержания ТМ, чем в зеленых зонах. При этом, если влияние ИЗ на pH_{H_2O} и содержание $C_{орг}$ наблюдалось по всему профилю, то влияние ФЗ на содержание Р и К – только в поверхностных горизонтах. Различия по валовому содержанию As ($p < 0.01$), Mn ($p < 0.01$) и Pb ($p < 0.05$) были показаны для слоя 0–10 см почв лесопарков в сравнении с фоновым лесным участком. В целом, в парках на месте СХ-объектов содержание As и Pb было выше, а Mn – ниже, чем в лесопарках (Табл. 5). Содержание $C_{мик}$ в почвах парков было выше, чем в соответствующих фоновых участках, при этом разница между парками на месте СХ-объектов и фоновым СХ участком была заметно выше, чем между лесопарком и соответствующим фоном. Доля микробного углерода ($C_{мик}/C_{орг}$) в почвах парков была меньше, чем в почвах фонов участков, причем более существенные отличия от фона показаны для парков на месте СХ-объектов.

Таблица 5. Сводная таблица содержания ТМ в почвах парков с разной историей землепользования в слоях 0–10, 10–30 и 30–50 см

Слой, см	As, мг/кг		Mn, мг/кг		Zn, мг/кг	
	Лес	СХ-объекты.	Лес	СХ-объекты.	Лес	СХ-объекты.
0-10	6.79±0.58	7.71±0.39	618.09± 84.72	412.73±20.33	67.32±0.48	72.79±11.74
10-30	9.12±3.42	7.14±0.75	519.41± 66.49	460.94±30.35	48.56±2.58	66.22±18.66
30-50	9.92±2.77	7.02±0.43	392.71± 45.73	452.65±45.43	46.46±2.32	55.26±6.44
	Ni, мг/кг		Cu, мг/кг		Pb, мг/кг	
	Лес	СХ-объекты.	Лес	СХ-объекты.	Лес	СХ-объекты.
0-10	24.41±2	24.87±0.89	11.98±2.4	18.6±5.27	20.23±1.78	17.09±1.74
10-30	24.56±1.27	25.61±1.72	11.29±2.5	14.04±2.98	16.7±2.81	12.55±1.75
30-50	29.05±4.48	26.17±2.16	12.04±0.86	11.75±0.68	14.27±3.28	11.23±1.02

Анализ взаимосвязей состояния почв и деревьев. Анализ главных компонент (химические и микробиологические свойства, состояние деревьев - переменные, а ИЗ – группирующий фактор) в состав главной компоненты, определившей от 24 до 29% общей дисперсии вошли микробиологические свойства (БД и СИД, для слоя 0–10 см) и концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, As). Микробиологические свойства почв тесно коррелировали с содержанием биофильных элементов (С и Р). Содержание тяжелых металлов и qCO_2 коррелировали с баллом состояния зеленых насаждений, т. е. более ослабленному состоянию зеленых насаждений соответствовало более угнетенное состояние почвенного микробиома. Для почвенных слоев 10–30 и 30–50 см балл состояния деревьев также коррелировал с концентрацией тяжелых металлов, но зависимость была слабее, чем для слоя 0–10 см. Локации лесопарков и парков на месте СХ-объектов выделяются в отдельные кластеры, что больше заметно в нижних горизонтах, чем в поверхностных.

Разброс точек (общая дисперсия свойств почв) для лесопарков выше, чем для парков на месте СХ-объектов. Это можно объяснить тем, что для более естественных экосистем лесопарков сохраняется исходная неоднородность почвенного покрова, в то время как антропогенные изменения в процессе создания парков на месте СХ-объектов приводят к гомогенизации

ПОЧВ.

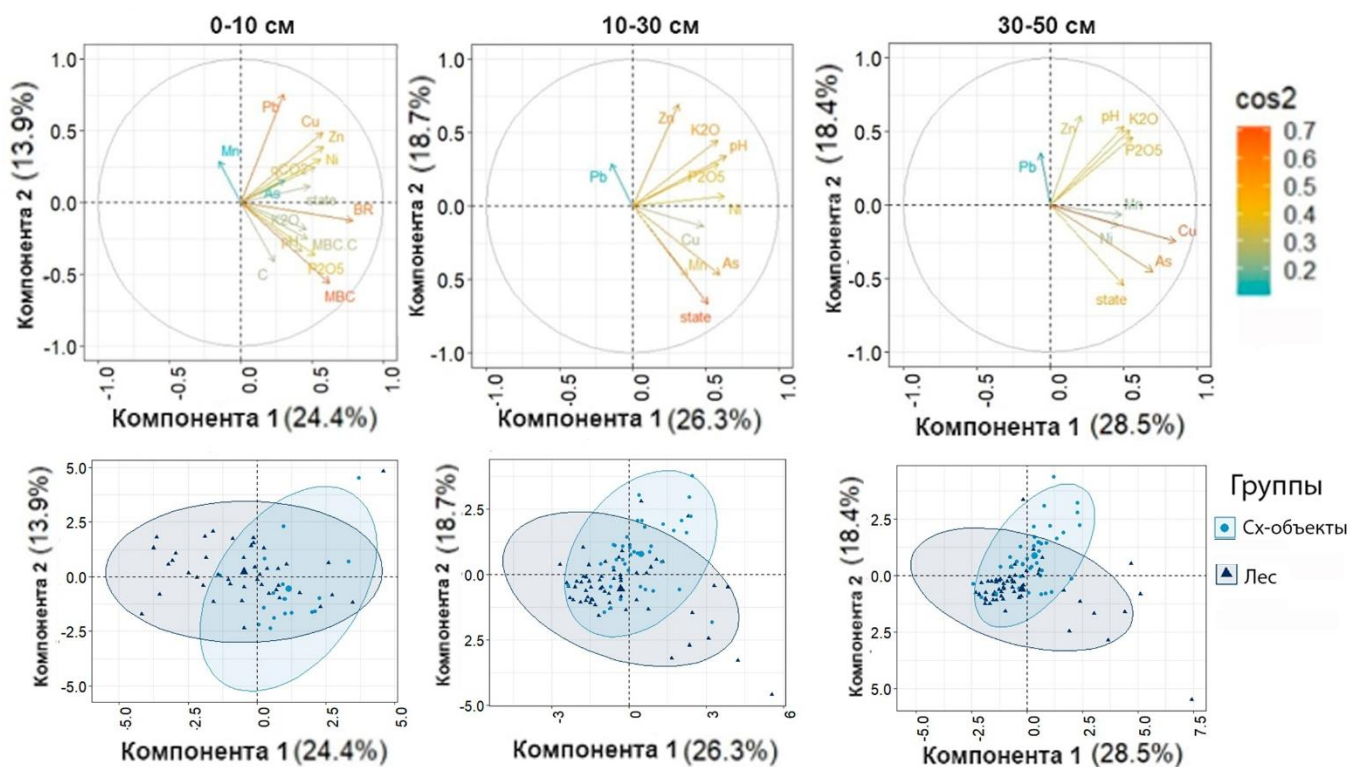


Рисунок 11. Анализ главных компонент для балльного состояния древесных насаждений, химических и микробиологических свойств почв

Заключение

Анализ состояния зеленых насаждений и почв парков НМ показал, что развитие РЗ идет по двум принципиально отличающимся сценариям, определяемым ИЗ. Преобразование лесных участков в лесопарки сопряжено с менее значительными трансформациями растительности и почв, в то время как более высокий уровень благоустройства парков на месте СХ земель способствует созданию новых антропогенных экосистем. Принципиальную разницу в состоянии зеленых насаждений и свойств почв рекреационных зон с разной ИЗ необходимо учитывать при разработке рекомендаций по созданию, содержанию, уходу и устойчивому развитию рекреационных зон НМ.

Выводы

1. Урбанизация Новой Москвы в 2000–2019 годах привела к трехкратному увеличению застроенных (запечатанных) территорий и параллельному развитию РЗ на

месте бывших лесных и сельскохозяйственных территорий. На 2022 год в Новой Москве создано или реорганизовано 66 крупных (более 2 га) рекреационных зон, 70% из которых расположены в пределах 30 км от границ Москвы до 2012 г.

2. Преобразование лесных и сельскохозяйственных территорий в рекреационные зоны меняет структуру поверхности (запечатывание, высадка древесно-кустарниковой растительности и газонов), что оказывает воздействие на ключевых экосистемные услуги. Создание лесопарков сопряжено с менее значительными изменениями экосистемных услуг по сравнению с парками на месте сельскохозяйственных угодий, где снижение более, чем на 1 балл отмечено для 3 из 4 рекреационных зон.

3. Видовое разнообразие древесных насаждений в лесопарках значимо выше, а состояние – значимо хуже ($p < 0.05$), чем в парках на месте СХ объектов. Среди последних, состояние древесных насаждений в транзитной зоне (1.3 балла) выше, чем в других функциональных зонах.

4. В почвах парков значения рН и содержания $C_{орг}$ были значимо выше, чем в соответствующих фоновых участках, а в парках, образованных на месте бывших СХ-объектов, выше, чем в лесопарках. Статистически достоверная разница показана как для поверхностных, так и для подстилающих горизонтов. При этом доля микробного углерода ($C_{мик}/C_{орг}$) в почвах фоновых объектов (0–10 см) была значимо выше, чем в почвах парков.

5. Функциональное зонирование определило пространственную внутреннюю неоднородность содержания фосфора, калия и некоторых тяжелых металлов в почвах парков. Максимальное содержание фосфора показано для транзитной зоны, а калия – для спортивно-развлекательной. Содержание Ni, As и Pb в почвах транзитной зоны были значимо выше, чем в зеленой, но не превышало нормативных значений. Влияние функционального зонирования на свойства почвы было значимым для поверхностного горизонта и снижалось с глубиной.

6. Анализ главных компонент показал взаимосвязь состояния древесных насаждений с микробиологической активностью и содержанием некоторых тяжелых металлов (As, Cu, Ni) и микробным метаболическим коэффициентом.

7. При разработке подходов к созданию и администрированию РЗ, важным параметром является знание об истории землепользования, которая оказывает влияние на состав растительного сообщества, его состояния, а также почвенные характеристики и взаимосвязь между ними.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Научные публикации в журналах Scopus, WoS, RSCI

1. **Demina S.**, Vasenev V., Ivashchenko K., Ananyeva N., Plyushchikov V., Hajiaghayeva R., Dovletyarova E. Microbial properties of urban soils with different land-use history in New Moscow // *Soil Science*. 2018. Vol 183, No 4, P 132 – 140. DOI 10.1097/SS.0000000000000240
2. Vasenev V.I., Yaroslavtsev A.I., Vasenev I.I., **Demina S.A.**, Dovletyarova E.A. // Land-use change in New Moscow: First outcomes after five years of urbanization. *Geography, Environment, Sustainability*, 2019, Vol.12, No 4, p. 24-34 DOI-10.24057/2071-9388-2019-89
3. Makhinya K., **Demina S.**, Pavlova M., Istomina I., Terekhin A. The influence of soil quality on trees' health in urban forest // In: Vasenev V., Dovletyarova E., Valentini R., Cheng Z., Calfapietra C., Inostroza L., Leuchher M. (eds) *Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure*. SSC 2020. Springer Geography. Springer, Cham. 2021. P 9-20. DOI 10.1007/978-3-030-75285-9_2
4. Ivashchenko, K.; Lepore, E.; Vasenev, V.; Ananyeva, N.; **Demina, S.**; Khabibullina, F.; Vaseneva, I.; Selezneva, A.; Dolgikh, A.; Sushko, S.; et al. Assessing Soil-like Materials for Ecosystem Services Provided by Constructed Technosols. *Land* 2021, 10,1185. DOI 10.3390/land10111185

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

5. **Демина С. А.**, Васенев В.И., Махиня К.И., Ромзайкина О.Н., Истомина И. И., Павлова М. Е., Довлетярова Э. А. Комплексный анализ почв и зеленых насаждений в парках Новой Москвы, образованных на месте бывших сельскохозяйственных территорий и леса // *Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022 Т. 17 № 3 С. 331–349. DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-331-349

С остальными публикациями автора можно ознакомиться на странице портала ИСТИНА: https://istina.msu.ru/profile/Sofiya_Demina/