МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Чикидова Александра Леонидовна

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ Г. МОСКВЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО ОКРУГА)

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Специальность 03.02.08 – экология

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 8
1.1 Строение и свойства полициклических ароматических 8
углеводородов 8
1.2 Источники поступления ПАУ в окружающую среду 11
1.3 Поведение полициклических ароматических углеводородов 16
в атмосфере 16
1.4 Накопление ПАУ в растениях 20
1.5 Аккумуляция и трансформация ПАУ в почве 24
1.6 Подходы к нормированию ПАУ 27
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ 31
2.1 Характеристика района исследований 31
2.2 Описание пробных площадок 34
2.3 Отбор и подготовка проб 36
2.4 Аналитические методы 38
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ 45
3.1 Застроенная территория 45
3.1.1 ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период 45
3.1.2 Содержание ПАУ в почвах 56
3.2 Национальный парк «Лосиный остров» 65
3.2.1 ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период 65
3.2.2 ПАУ в растительном опаде 74
3.2.3 Свойства почв 80
3.2.4 Содержание ПАУ в почвах 80
3.3 Анализ распределения ПАУ в городских экосистемах 90
ВЫВОДЫ 103
ПРИЛОЖЕНИЯ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы: Сосредоточение на небольших по площади городских территориях больших масс людей, разнообразных производств, обилия транспортных средств обусловили возникновение целого комплекса городских проблем, связанных с ухудшением экологической ситуации, недостатком имеющихся природных ресурсов. В результате поступления техногенных химических веществ в городскую среду в зонах наиболее интенсивного техногенного воздействия формируется неблагоприятная экологическая обстановка, представляющая опасность для здоровья населения и состояния природных элементов городских экосистем (Хомич и др., 2013).

В крупных промышленных городах с хорошо развитой инфраструктурой особенно остро стоит проблема загрязнения окружающей среды супертоксикантами, к которым относится класс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ, полиарены). Непрерывное увеличение числа городских жителей вызывает повышенное внимание к вопросу контроля содержания ПАУ в компонентах природно-городских систем. Выявлена связь между содержанием полиаренов в окружающей среде и ростом онкологических и ряда других заболеваний населения (Slezakova et al., 2013; Хлебопрос и др., 2012), поэтому особую важность представляет изучение поведения ПАУ в местах с высокой плотностью населения.

В экосистемах городов основной вклад в общее содержание ПАУ (до 90%) вносят выхлопные газы автотранспорта (Канило и др., 2011). Преимущественным путем распространения полиаренов является аэральный. Перенос ПАУ в составе аэрозольных частиц и выпадение вместе с атмосферными осадками приводит к их накоплению в различных природных средах.

В городских условиях при проведении мониторинга распределения и накопления в природных объектах органических загрязнителей возникают закономерные сложности, обусловленные постоянной сменой интенсивности и характера техногенной нагрузки, варьированием размера и конфигурации зон негативного влияния, изменением режимов функционирования фитоценозов и почв в результате перепланировки городской территории.

В г. Москве изучается концентрация ПАУ в почвах. В работе Е.А. Белинской и соавторов определено содержание 10 приоритетных ПАУ в почвах на 35 площадках отбора на территории г. Москвы. Содержание и профильное распределение 16 приоритетных ПАУ определено также на 20 площадках в парково-рекреационных зонах г. Москвы (Агапкина и др., 2009). ГПБУ «Мосэкомониторинг» проводит определение бензо(а)пирена почвах и приво-дит усредненные данные по административным округам (Доклад о состоянии окружающей среды…, 2012-2014). На территории Восточного административного округа Е.М. Никифорова и Н.Е Кошелева (2011) определяли содержание 17 ПАУ в 26 образцах верхних почвенных горизонтов, используя метод низкотемпературной спектрофлуориметрии. Известно, что уровень загрязнения почв углеводородами заметно колеблется; наблюдается чередование участков с загрязненными и незагрязненными почвами (Экологические функции…, 2004; Тимощук 2011). Кроме того, в городских условиях мониторинг накопления и распределения в природных объектах органических загрязнителей связан со сложностями, обусловленными постоянной сменой интенсивности и характера техногенной нагрузки, варьированием размера и конфигурации зон негативного влияния, изменением режимов функционирования фитоценозов и почв в результате перепланировки городской территории. Отсутствуют данные по поступлению ПАУ с твердыми аэральными выпадениями на поверхность почв, рас-положенных в пределах разных функциональных зон, и по сезонным изменениям их содержания в почвах. Поэтому весьма актуальным представляется проведение сезонных исследований поведения комплекса приоритетных ПАУ в сопряженной системе «воздух-растения-почва». Все эти аспекты определяют необходимость комплексного и динамического подхода к изучению величин депонирования токсикантов в урбоэкосистемах.

Цель исследования:

Изучение техногенных потоков и уровней содержания полициклических ароматических углеводородов в экосистемах г. Москвы, расположенных в зонах разного функционального назначения.

Задачи исследования:

1. Определить состав и величины поступления ПАУ с твердыми аэральными выпадениями на поверхность городских почв, расположенных в пределах разных функциональных зон городской территории.
2. Определить состав и содержание ПАУ в верхнем слое почв, расположенных в пределах разных функциональных зон городской территории.
3. Оценить особенности распределения и накопления ПАУ в городских природных комплексах в зависимости от степени антропогенной нагрузки.

Научная новизна: На основании мониторинговых исследований впервые оценены величины поступления и содержания 11 ПАУ для городских природных комплексов, расположенных в пределах г. Москвы в зонах с разной техногенной нагрузкой.

Показано, что твердые аэральные выпадения являются более надежным индикатором актуальной техногенной нагрузки по сравнению с почвенным покровом.

Оценен вклад техногенных аэральных выпадений в аккумуляцию ПАУ в верхних почвенных слоях.

Показано, что в условиях мегаполиса уровень поступления ПАУ мало различается для основной части городской территории, за исключением зон с наиболее интенсивным влиянием автотранспорта.

Практическая значимость: Работа имеет практическую значимость для организаций, занимающихся контролем объектов окружающей среды. Результаты работы могут применяться в мониторинговых исследованиях, в хозяйственной деятельности по уходу за почвами на стадии их эксплуатации, при инженерно-экологических изысканиях в градостроительной деятельности. Результаты работы также могут быть учтены при проектировании городских территорий.

Апробация работы: Основные положения диссертационной работы были доложены на научных конференциях: XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2011» (Москва, 2011), XIX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012» (Москва, 2012), Всероссийская научная конференция «Геохимия ландшафтов и география почв» (к 100-летию М.А. Глазовской) (Москва, 2012), Международная конференция «Экологические проблемы антропогенной трансформации городской среды» (Пермь, 2013), «Международная конференции Современные проблемы загрязнения почв» (Москва, 2013), XVII Докучаевские молодежные чтения «Новые вехи в развитии почвоведения: современные технологии как средства познания» (Санкт-Петербург, 2014). Материалы исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ.

Публикации Результаты исследования отражены в 8 публикациях, в том числе в 2 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части и выводов. Работа включает 141 страницу машинописного текста, в т.ч. 26 рисунка и 21 таблиц. Библиографический список содержит 133 наименований работ российских и зарубежных авторов.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.б.н. Макарову М.И, особую благодарность к.б.н. Завгородней Ю.А. за помощь в работе и организации исследования, обсуждении полученных результатов. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам кафедры химии почв, кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ и лично к.б.н. В.В. Демину, Р.А. Стрелецкому за помощь в организации исследования, проведении анализов и обсуждение результатов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Строение и свойства полициклических ароматических углеводородов

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой высокомолекулярные органические соединения, основным элементом структуры которых является бензольное кольцо (табл. 1).

Таблица 1. Канцерогенность и структура некоторых ПАУ

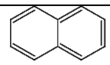
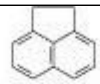
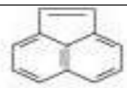
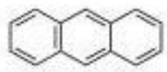
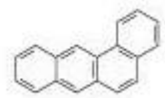
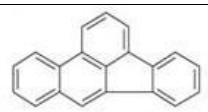
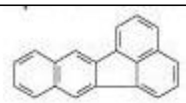
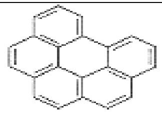
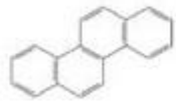
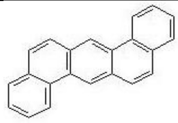
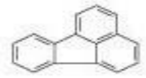
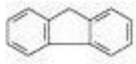
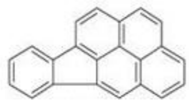
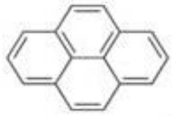
Название ПАУ	**Классификация МАИР***	**Структура ПАУ**	**Молекулярный вес**
Нафталин	2B		128,2
Аценафтен	3		154.2
Аценафтилен	Еще не оценено		152.2
Антрацен	3		178.2
Бензо(а)антрацен	2B		228.2
Бензо(б)флуорантен	2B		252.3
Бензо(к)флуорантен	2B		252.3
Бензо(g,h,i)перилен	3		276.3

Таблица 1. Продолжение

Название ПАУ	Классификация МАИР*	Структура ПАУ	Молекулярный вес
Бензо(а)пирен	1		252.3
Хризен	2B		228.3
Дибенз(a,h)антрацен	2A		278.4
Флуорантен	3		202.3
Флуорен	3		166.2
Индено(123-c,d)пирен	2B		276.3
Фенантрен	3		178.2
Пирен	3		202.3

*Классификация Международного агентства по изучению рака (МАИР):

http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php

Категория 1: канцерогенные для человека.

Категория 2A: весьма вероятно канцерогенные для человека.

Категория 2B: вероятно канцерогенные для человека.

Категория 3: не классифицируемые как канцерогенные для человека.

Известны несколько сотен индивидуальных ПАУ, различающихся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения друг к другу. Соединение бензольных колец в орто-положении называют анеллированием, которое может быть линейным и ангулярным. Углеводороды, содержащие большое количество линейно конденсированных колец называются аценами. Углеводороды, содержащие 9,10-связь, аналогично фенантрену, называют фенами (Гречищева, 2000). Большинство полиаренов (за исключением ряда производных нафталина) представляют собой кристаллические соединения с высокой температурой плавления и кипения (Ровинский и др., 1988). ПАУ, содержащие два бензольных кольца и более, как правило, обладают высокой стабильностью в среде.

Из-за высокой гидрофобности ПАУ обладают относительно малой растворимостью и могут быстро адсорбироваться на почвенных частицах, в частности, на органическом веществе почвы (Tang et al., 2005). Некоторые ПАУ могут вызвать ряд негативных последствий, таких как иммунотоксичность, генотоксичность, и репродуктивная токсичность (Qiao et al., 2006). Многие ПАУ являются мутагенными. Доказано, что некоторые ПАУ с числом бензольных колец более 5 обладают канцерогенным эффектом, т.е. способствуют возникновению и развитию онкологических заболеваний. Достаточно изученным канцерогеном является бензо(а)пирен ($C_{20}H_{12}$) – соединение с пятью бензольными кольцами (табл. 1.). Особая опасность бензо(а)пирена заключается в том, что он, попадая в организм человека с пищей, водой и с вдыхаемым воздухом, способен накапливаться в организме, подобно радиоактивным веществам (Лебедева, 2007). Для него характерны гидрофобные свойства наряду с хорошей растворимостью в маслах, жирах, плазме человеческой крови. Попадая в живую клетку, бензо(а)пирен способен вызывать в ней необратимые изменения вплоть до образования злокачественных опухолей и возникновения мутаций (Белюченко, 2014).

Вследствие высокой канцерогенной и мутагенной активности ПАУ включены в перечень приоритетных загрязнителей окружающей среды, некоторых видов продуктов питания (Крылов и др., 2012). Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency, US EPA) определило 16 ПАУ как приоритетные загрязняющие вещества (Trapido, 1998): нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бензо(a)антрацен, бензо(k)флуорантен, бензо(b)флуорантен, бензо(a)пирен, индено(123-c,d)пирен, дибенз(a,h)антрацен, бензо(g,h,i)перилен. В России обязательному контролю подлежит бензо(а)пирен (Басова, Иванов, 2011).

Токсичность ПАУ сильно зависит от структуры, даже разные изомеры одного соединения могут быть как нетоксичными, так и исключительно токсичными. Так, бензо(а)пирен – сильный канцероген, а его структурный изомер бензо(е)пирен – не является канцерогеном (Нгандже, 2009). Международное агентство по изучению рака (МАИР) Всемирной организации здравоохранения оценило канцерогенность некоторых ПАУ на основе фактических данных для человека и опытных животных. Классификация МАИР для некоторых ПАУ приведена в таблице 1. Большинство ПАУ относятся к группе 2В (вероятно канцерогенные для человека) и группе 3 (не классифицируемые как канцерогенные для человека). Два полиарена особенно вредны для здоровья человека: дибенз(a,h)антрацен отнесен к группе 2А (весьма вероятно канцерогенные для человека), а бензо(а)пирен в 2012 году отнесен к группе 1 (канцерогенные для человека) (IARC classification of PAH, 2015).

1.2 Источники поступления ПАУ в окружающую среду

Природные источники ПАУ разнообразны – это вулканические извержения, лесные пожары, организмы (Soren et al., 2001; Morillo et al., 2007).

В настоящее время на планете насчитывается около 850 действующих вулканов, извергающих ежегодно до 6 млрд. тонн вещества. Среди канцерогенных компонентов вулканических выбросов наибольший удельный вес имеют ПАУ. Содержание маркерного канцерогена этой группы – бенз(а)пирена составляет до 6 мкг/кг вещества. Это означает, что в биосферу Земли ежегодно поступает до 24 тонн одного только бенз(а)пирена с пеплом и до сотен тонн – с лавой (Глушков, 2003).

При этом вулканические источники полиаренов очень локальны, а лесными пожарами ежегодно повреждаются значительные площади, что рассматривается как один из глобальных факторов поступления ПАУ в окружающую среду (Максимова и др., 2013). В работе А.С. Цибарт рассмотрено содержание ПАУ в почвах Хакасского заповедника, которые были подвержены лесным и степным пожарам. Показано, что в почвах, после прохождения степных пожаров, преобладает нафталин и флуорен, а после лесных пожаров в почвах обнаруживаются более тяжелые углеводороды тетрафен и бензо(g,h,i)перилен. В публикации А.А. Дымова и соавторов по изучению влияния пожара на органическое вещество почвы показано, что лесные пожары являются одним из основных факторов, приводящих к увеличению концентраций ПАУ в почвах, преимущественно за счет двух-трехкольчатых углеводородов.

Биогенными источниками ПАУ являются растения, водоросли, фитопланктон и микроорганизмы (Morillo et al., 2007). Растения интенсивно синтезируют ПАУ в период активной вегетации (Ильницкий, 1979; Фроловская, Пиковский, 1982; Smith et al., 2000). После периода интенсивного роста синтез ПАУ растениями идет незначительно или прекращается. Образование биогенных ПАУ (например, 1-метил-7-изопропилфенантрена и 1,7-диметилфенантрена) происходит в результате превращения абиетиновой и пимаровой кислот – наиболее часто встречающихся в качестве компонентов смолы хвойных деревьев.

Предполагается, что перилен может образоваться из хиноновых пигментов, содержащихся в насекомых и грибах (Суздорф и др., 1994). Биогенное происхождение могут иметь фенантрены, хризены и другие углеводороды с ангулярным аннелированием бензольных колец (Акопова, 2002; Геннадиев и др., 2005).

Некоторое количество ПАУ образуется в результате диагенеза – медленного преобразования органического материала в биокосных системах (Габов и др., 2005; Morillo et al., 2007). Например, ПАУ образуются в результате биохимических процессов трансформации органического вещества почв (Никифорова, Кошелева, 2011). В частности установлено, что ПАУ входят в состав почвенных липидов (Kohl, Rice, 1999).

Поступление ПАУ в окружающую среду от природных источников хоть и приводят к ее загрязнению, но основной вклад в загрязнение вносят антропогенные источники. ПАУ характерны для многих источников техногенных выбросов и присутствуют в выхлопных газах транспортных средств, выбросах электростанций, химической и нефтяной промышленности (Trapido, 1998; Nasr et al., 2001; Wang et al., 2010).

Антропогенные источники ПАУ делят на петрогенные и пирогенные (Xing-hong et al., 2006). В случае петрогенного происхождения, в нефтяных разливах, преобладают ПАУ с двумя или тремя бензольными кольцами – нафталин и его гомологи, реже дифенил и его метилпроизводные, также фенантрены и его производные. Кроме того в нефти присутствуют гомологи пирена, перилена, флуорена, хризенов, бензфлуоренов.

ПАУ с 4-мя и более бензольными кольцами имеют пирогенное происхождение и образуются при неполном сгорании органического материала (при сжигании угля или кокса, домашнем отоплении печей, вместе с выхлопными газами и т.д). В зависимости от вида топлива и условий горения количество и состав ПАУ, образующихся в любом процессе сгорания, различается. При низких и умеренных температурах сжигания образуются, в основном, ПАУ с низкой молекулярной массой, в то время как высокие температуры приводят к образованию ПАУ с высокой молекулярной массой (Morillo et al., 2007). Например, повышенные концентрации бенз(а)пирена, по-видимому, возникают в результате высокой температуры горения (Baek et al., 1991). Глобальная эмиссия бенз(а)пирена ежегодно составляет около 5000 т, из них 61% приходится на сжигание угля, 20% - на производство кокса, 8% - на открытое сжигание леса и сельскохозяйственных культур, 4% - на сжигание древесины, 1% – на выбросы транспорта, 0,09% – на сжигание нефти и 0,06% - на сжигание газа (Майстренко и др., 1996).

Антропогенные источники ПАУ можно разделить на стационарные и мобильные. Стационарные охватывают все разнообразие процессов сжигания топлива, включая отопление жилых помещений, промышленную деятельность (например, производство алюминия и переработка кокса), производство электроэнергии. Вблизи стационарных источников возможно формирование высокой концентрации ПАУ в атмосфере (Запевалов и др., 1996).

Особенно велик вклад тепловых станций, работающих на угле и мазуте, в процессе сжигания которых образуется сажа (агломераты углеродных частиц), на поверхности частиц которой формируются твёрдые формы ПАУ (Ершов, Парасич, 2006). Установлены высокие концентрации ПАУ в выбросах при сжигании древесины: среднее содержание суммы 4-х индикаторных (Республика Беларусь) ПАУ (бензо(а)пирена, бензо(k)флуорантена, бензо(b)флуорантена, индено(1,2,3-c,d)пирена) при сжигании березовых дров составляет 1076 мг/кг, сосновых – 550 мг/кг (Хомич и др., 2004).

В мобильную категорию крупный вклад вносит автотранспорт за счет сжигания автомобильных бензинов и дизельного топлива (Baek et al., 1991). Один автомобиль при движении выбрасывает в среднем 1 мкг ПАУ в минуту. Концентрация полиаренов в выхлопных газах зависит от состояния и режима работы двигателя – наибольшее количество выделяется при запуске и остановке двигателя (Лим, 2010).

В выхлопных газах автомобильных двигателей присутствуют до 150 ПАУ и их замещенных гомологов. При этом пирена и флуорена содержится в десятки раз больше, чем бенз(а)пирена, который является индикатором загрязнения окружающей среды ПАУ. Для легковых автомобилей это соотношение достигает 25, а для дизельных грузовиков – 50. О значительном вкладе автомобильного транспорта в общее загрязнение воздуха свидетельствуют и относительно высокие концентрации коронена и бензо(ghi)перилена. Особенно наглядно эта связь прослеживается в местах с высоким уровнем автомобильного движения и небольшим числом промышленных предприятий. В городах с интенсивным автомобильным движением присутствуют и другие характерные ПАУ: хризен, циклопента(cd)пирен, бензнафтотиофен. Присутствие последнего характерно для стран, в которых используют автомобильное топливо с высоким содержанием серы (Майстренко, Клюев, 2004). Также в выхлопных газах автомобилей содержатся нафталин, фенантрен, антрацен, хризен (Медведева, 2013).

Источником выделения полиаренов могут быть также органические вяжущие материалы, используемые при строительстве дорожного покрытия. В шинах автомобилей ПАУ содержатся по причине использования при производстве резины газовой сажи, которая придает резине необходимые свойства по стойкости к истиранию, прочности, жесткости, твердости. По имеющимся оценкам каждые 100 г стершихся шин содержат до 1,2 мг бенз(а)пирена (Пшенин, 2008).

1.3 Поведение полициклических ароматических углеводородов в атмосфере

В атмосферном воздухе ПАУ находятся в газообразном состоянии или в виде аэрозолей, адсорбируясь на частицах пыли разного состава (Кырова и др., 2006).

Распределение ПАУ в атмосфере в системе «газ - твердая частица» зависит от нескольких факторов, таких как: давление насыщенных паров ПАУ; количество пыли, способной адсорбировать ПАУ; свойство адсорбирующей поверхности; концентрация и реакционная способность ПАУ; температура окружающей среды (Кырова и др., 2006; Baek, 1991). При повышении температуры окружающего воздуха низкомолекулярные ПАУ (фенантрен, флуорантен, пирен и хризен) частично или полностью переходят из твердой фазы (аэрозоля) в газовую фазу атмосферы, поэтому их концентрации в аэрозоле в летнее время минимальны (Горшков и др., 2006).

Большая часть ПАУ находится в нижних слоях атмосферы в виде аэрозольных частиц, способных проникать в органы дыхания человека (Сафарова и др., 2002). Действие микрочастиц диаметром менее 10 мкм (40-70% взвешенных частиц), обусловлено тем, что они не могут быть полностью задержаны в верхних дыхательных путях, поэтому проникают в мелкие бронхи и альвеолы, а также частично всасываются в кровоток (Голохваст, 2011; Борисюк, Дмитриев, 2013). На твердых частицах аэрозоля сорбируется 90-95% полициклических ароматических углеводородов (Котельникова и др., 2011). Включение ПАУ в частицы происходит в основном путем конденсации и адсорбции (Горшков и др., 2006).

Концентрации ПАУ в атмосфере зависят от размеров дисперсной фазы аэрозолей (Baek, 1991). Pistikopoulos et al. (1990) выделили две группы частиц, связывающих разные ПАУ. Первая группа представлена частицами размером менее 1 мкм, которые взаимодействуют в основном с нелетучими ПАУ; во вторую входят частицы крупнее 1 мкм, в которых представлены летучие ПАУ, кроме флоурантена. В первой группе типична адсорбция ПАУ, во второй - конденсация (Menichini, 1992).

Основная доля (более 50%) тяжелых ПАУ обнаруживается во фракциях диаметром 0,075-0,12 мкм (табл. 2) (Майстренко, Клюев, 2004). Лишь около 5% суточного количества поступающего в почвы бенз(а)пирена постоянно находится в воздухе на частицах диаметром <10 мкм, тогда как более 80% может транспортироваться в составе высокодисперсного аэрозоля диаметром <1 мкм за пределы промышленных центров (Кошелева, Никифорова, 2011).

Таблица 2. Содержание бенз(а)пирена и коронена в частицах аэрозолей разного размера, мкг/м^3 (Майстренко, Клюев, 2004)

Диаметр частиц, мкм	**Бенз(а)пирен**		**Коронен**	
	осень	**зима**	**осень**	**зима**
0,05-0,075	30	83	431	1200
0,075-0,12	196	523	1390	4220
0,12-0,26	79	208	460	907
0,26-0,50	28	67	205	113
0,50-1,0	36	81	166	218
1,0-2,0	16	44	107	<45
2,0-4,0	16	30	118	<45
>4	21	23	136	<45

Концентрация ПАУ в атмосфере варьирует в зависимости от времени года, погодных условий, времени дня и свойств изучаемого места (Menichini, 1992). В целом, концентрации ПАУ в осадках зимой бывают выше, чем летом (Baek, 1991), что связано с увеличением сжигания топлива для отопления, уменьшением термического и фотохимического разложения ПАУ, а также с уменьшением атмосферного перемешивания за счет больших инверсий (Menichini, 1992). По данным ФГБУ «Центральное УГМС» средняя за год концентрация бенз(а)пирена в атмосфере г. Москвы в 2014 г. была выше нормы в 1,3 раза, при этом в январе зарегистрирована наибольшая концентрация бенз(а)пирена, равная 6,6 ПДК (Бюллетень состояния..., 2014).

Физическое удаление и перенос содержащих ПАУ воздушных частиц зависит от их размера и погодных условий. Было установлено, что время нахождения в атмосфере как крупных частиц (более 3-5 мкм) так и мелких частиц (менее 0,1 мкм) ограничено, хотя механизмы их удаления разные. Первые, как правило, удаляются путем сухого или мокрого осаждения, а частицы второй группы удаляются преимущественно коагуляцией друг с другом или с большими частицами. Частицы размером от 0,1 до 3 мкм, с которыми в воздухе преимущественно связаны ПАУ, как известно, обладают малой инерцией, поэтому остаются в атмосфере от нескольких дней и более. Частицы такого размера не удаляются эффективно дождевой водой и могут быть перенесены на большие расстояния, в зависимости от атмосферных условий (Baek, 1991).

ПАУ в составе аэрозоля могут переноситься на большие расстояния воздушными потоками. Около 80% бенз(а)пирена распространяется на расстояние более 100 км от источников выбросов и влияет на состояние окружающей среды непромышленных районов (Сафарова и др., 2002).

Степень сорбции ПАУ на аэрозольных частицах увеличивается с уменьшением летучести, поэтому расстояние переноса увеличивается с ростом молекулярной массы (Meharg et al., 1998). ПАУ с низкой молекулярной массой преобладают в крупных частицах, которые осаждаются быстрее и проще, в то время как ПАУ с высокой молекулярной массой преобладают в мелких частицах, которые медленно осаждаются из атмосферы (Nasr et al., 2002).

Кроме того, было установлено, что ПАУ с более низкой молекулярной массой имеют большую гидрофильность, поэтому для них мокрое осаждение является более эффективным механизмом удаления из атмосферы по сравнению с высокомолекулярными ПАУ. Вследствие этого почвенные частицы у дороги являются более обогащенными ПАУ с низкой молекулярной массой, а ПАУ с высокой молекулярной массой обильны в атмосферных пылевых частицах (Nasr et al., 2002).

Аэрозоли с сорбированными ПАУ в конечном итоге выводятся из атмосферы и оседают на поверхность почвы (Menichini, 1992). В зимнее время года происходит аккумуляция ПАУ в снежном покрове, который является накопителем аэрозольных частиц. Кроме того, снег более эффективный поглотитель ПАУ, чем дождевые осадки (Baek, 1991). Снежные хлопья очищают атмосферу более эффективно, чем капли дождя, благодаря большей площади поверхности и высокой пористости (Котельникова и др., 2011). Твердофазные выпадения, аккумулированные снеговым покровом, в меньшей степени подвержены растворению. Часть их поступает в почвы, другая часть – уносится талыми водами (Маркова, 2003). Особый интерес снежный покров представляет при изучении процессов длительного загрязнения (месяц, сезон) (Рапута и др., 2011).

По данным проведенных снежных съемок в наиболее загрязненных местах ежегодно выпадает до 15-20 г пыли/м^2. При этом максимальные поступления на поверхность почв одного из наиболее токсичных и канцерогенных ПАУ – бенз(а)пирена – могут достигать нескольких тысяч мкг/м^2 в год. В пробах снега, кроме того, как правило, обнаруживают пирен, бензо(k)флуорантен, бензо(а)антрацен, бензо(g,h,i)перилен. Часто встречаются перилен, нафталины, флуорены (Геннадиев и др., 2006).

Расстояние переноса отдельных ПАУ от источников выброса зависит, от их устойчивости в атмосфере, где ПАУ могут подвергаться термическому или фотохимическому разложению и могут реагировать с озоном, диоксидом серы, оксидами азота (Wilcke, 2000). Присутствие прямых мутагенов в воздушных аэрозолях, окружающих источник выбросов, может быть объяснено не только присутствием ПАУ, но и связано с продуктами их трансформации. Так, нитро- и окси-ПАУ могут присутствовать в газовой фазе воздуха, а также в твердых аэральных частицах (Baek, 1991).

Степень трансформации в атмосфере ПАУ, адсорбированных на частицах, уменьшается. Трансформация и разрушение может быть даже полностью остановлено в зависимости от природы адсорбирующих частиц. Так, ПАУ, адсорбированные на частицах сажи, могут переноситься на дальние расстояния без изменений (Wilcke, 2000).

1.4 Накопление ПАУ в растениях

Существуют различные пути поступления органических загрязняющих веществ в растения: поглощение из почвы корнями с последующим перемещением в ксилему, которая транспортирует воду от корней к листьям для транспирации; поглощение листьями из газовой фазы атмосферы (в том числе после испарения с поверхности почвы) или поступление из атмосферы путем мокрого или сухого осаждения на поверхность растения (рис. 1) (Simonich et al., 1995; Smith et al., 2000).

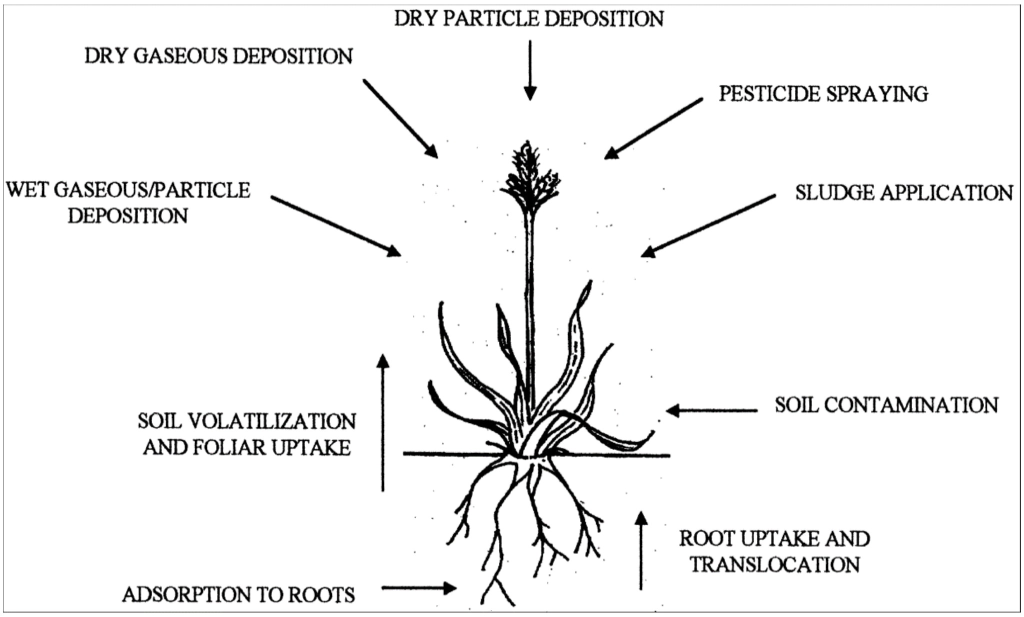


Рисунок 1.. Поступление органических веществ в растение (Smith et al., 2000).

Пути поступления ПАУ с поверхности почвы зависят от химических и физических свойств поллютанта, таких как липофильность, растворимость в воде; от условий окружающей среды, таких как температура и содержание органических веществ в почве; от вида растения, площади листовой поверхности (Simonich et al., 1995). При этом через корни растений проникает меньшая часть ПАУ (Майстренко, Клюев, 2004).

Органические загрязнители могут поглощаться через устьица с последующим перемещением во флоэму, которая транспортирует питательные вещества в корни и другие органы растения (Simonich et al., 1995). Скорости поглощения газообразных примесей растениями возрастают с увеличением их растворимости. При увлажнении поверхности растений скорость поглощения примеси может возрасти в десять раз. В сыром состоянии вся поверхность растения – листья, побеги, ветки, стебли – становится поглотителем. Также наиболее интенсивное поглощение примесей листвой растений наблюдается вблизи поверхности полога, где скорости фотосинтеза и рассеяния примесей самые высокие (Смит, 1985).

Деревья способны уменьшать количество твердых частиц в окружающей атмосфере путем перехвата и сохранения этих частиц на листьях и на поверхности коры (Нефедьев, 2002; Jouraeva et al., 2002). Накопление частиц на поверхности растений может происходить в результате осаждения под действием силы тяжести, импакции (влипания), под действием вихревых токов и выпадения с метеорологическими осадками. В первом случае частицы, особенно крупные, отлагаются на верхней поверхности органов растений. Скорость осаждения зависит от плотности и формы частицы, а также от других факторов. Импакция происходит, когда при обтекании какого-либо препятствия воздушный поток разделяется, а содержащиеся в нем твердые частицы продолжают прямолинейное движение в силу инерции и ударяются в это препятствие. Эффективность накопления этим путем растет с уменьшением размера препятствия и увеличением диаметра частицы (Смит, 1985).

Попав на поверхность растительности, частицы либо удерживаются на ней, либо удаляются сразу же или спустя некоторое время. При влажности или липкости самих частиц или поверхности дерева они обычно удерживаются. Но в основном частицы скапливаются на кончике листа и по его периферии, где присутствует турбулентный пограничный слой. Листья сложной конфигурации с большим периметром аккумулируют частицы наиболее эффективно. Увеличение скорости ветра и размера частиц, как правило, вызывает повышение их накопления на поверхности растений. Скорости отложения на черешках и стеблях обычно во много раз больше, чем на листовых пластинках. Накопление атмосферных частиц лиственными лесами, сбросившими листву зимой, остается достаточно высоким благодаря импакции на побегах и ветвях (Смит, 1985).

Считается, что маленькие листья имеют более высокую способность к накоплению и удержанию частиц, чем крупные (Smith et al., 2000). Кроме того, листья с волосками содержат более высокие суммарные концентрации ПАУ, чем голые листья (Howsam et al., 2000). Однако результаты этих исследований были получены измерением концентраций ПАУ на сухую массу листа, а не на площадь. Так как листья разных видов могут отличаться по биомассе на площадь листовой поверхности, использование измерения сухого веса не дает точного представления о накоплении токсикантов на листьях (Jouraeva et al., 2002).

Полученные Э.И. Слепян с соавторами (1979) данные свидетельствуют, что листья древесных пород, произрастающих в городе, аккумулируют бензо(а)пирен, причем эта аккумуляция, по-видимому, связана как с накоплением бензо(а)пирена на поверхности кутикулы, так и с его поступлением в ткани листа. Анализ показал, что бензо(а)пирен содержится в опадающих листьях в количестве 21,4 мкг/кг сухого веса для тополя, 13,0 мкг/кг – для липы и 5,0 мкг/кг – для ясеня. Разные уровни аккумуляции ПАУ в произрастающих совместно породах свидетельствуют о существовании видовых различий растений-озеленителей по их способности к поглощению и накоплению поллютантов.

Фоновые концентрации ПАУ в растениях зависят в основном от их способности сорбироваться листьями при осаждении из воздуха и накапливаться в них. Повышенные концентрации бензо(а)пирена наблюдаются в мхах и лишайниках (до 50 нг/г и более). В травах содержание бензо(а)пирена довольно низкое (менее 1 нг/г), хотя в отдельных видах оно может достигать 20-30 нг/г.

Считается, что в процессе удержания и накопления растениями частиц аэрозолей большое значение играют такие компоненты растительных восков, как тритерпеноиды. Так, липа войлочная (Tilia Tomentosa) является хорошим аккумулятором атмотехногенных выпадений, так как содержит в составе кутикулы большее количество тритерпеноидов, чем другие лиственные виды (Jouraeva et al., 2002). Содержание липидов в растении используется в качестве меры общего потенциала для сорбции липофильных полулетучих органических соединений на растительности (Simonich, Hites, 1994).

Динамика и интенсивность накопления полиаренов древесными растениями изменяется в зависимости от сезона. Показано, что в холодное время года большая часть ПАУ аккумулируется на поверхности хвои сосны в результате прямой сорбции частиц аэрозоля в период состоянии покоя деревьев, хотя эффективность накопления ПАУ в этот период относительно невысокая. Накопление ПАУ в хвое в течение летнего периода происходит преимущественно за счет низкомолекулярных соединений из газовой фазы атмосферы в результате газообмена (Горшков и др., 2006).

1.5 Аккумуляция и трансформация ПАУ в почве

Почвы являются главным компонентом ландшафта, депонирующим ПАУ. В городские почвы ПАУ обычно попадают из загрязненного атмосферного воздуха с пылью, аэрозолями, осадками, также накопление ПАУ в почвах связано с процессами трансформации органических веществ (Лодыгин и др., 2008; Никифорова, Кошелева, 2011). Именно от свойств почвы в значительной степени зависят интенсивность накопления, формы нахождения, возможность консервации и последующей мобилизации ПАУ в окружающей среде (Геннадиев и др., 1996).

ПАУ, поступающие в почву, с одной стороны, подвергаются разрушению в ходе биологических и химических процессов, а также фотохимической деструкции в поверхностном слое, а с другой, удаляются из почвы в результате вымывания водой (Ровинский и др., 1988). Благодаря низкой растворимости в воде, миграция молекул ПАУ в почвах и донных отложениях осуществляется в основном вместе с частицами-носителями, то есть физико-механическим путем (Геннадиев и др., 2004).

Хотя некоторое уменьшение концентрации ПАУ в почве возможно за счет абиотических процессов, основную роль в деградации этих соединений играют микробные популяции (Медведева, 2013). Отмечена способность к биодеградации бенз(а)пирена, бенз(а)антрацена и других ксенобиотиков микробиотой, в частности, такой способностью в аэробных условиях обладает базидиомицет *Phanerochaete chrysosporium* (Карташова и др., 2008). Состав ПАУ в почвах и их распределение по генетическим горизонтам может оказаться чувствительным к изменению экологического состояния почвы, они могут быть индикаторами деградации и восстановления техногенно-нарушенных почв (Лодыгин и др., 2008).

Согласно литературным данным, содержание ПАУ в придорожных почвах, как и в воздухе закономерно изменяется в зависимости от расстояния от дорожного полотна. В непосредственной близости от дорог распределение ПАУ, кроме того, самым тесным образом связано с интенсивностью движения на данном участке трассы. Так, например, исследования зарубежных учёных показали, что суммарное количество ПАУ в городских почвах Неаполя (Италия) в 2-20 раз выше, чем аналогичный показатель в почвах парковой зоны в 12 км от места исследования (Maisto et al., 2006). Для почв Нового Орлеана получены аналогичные данные: суммарное содержание ПАУ в почвах, непосредственно примыкающих к оживлённым улицам (в пределах 1 м от дорожного полотна), составляло 7189 мкг/кг, в почвах открытых пространств (удалённых на 5-10 и более метров от дороги) суммарное содержание измерялось величинами порядка 2404 мкг/кг (Wang et al., 2008). Экспоненциальное уменьшение концентрации ПАУ в почвах с увеличением расстояния от точечного источника отмечено в работе (Menichini, 1992). Также по данным литературных источников (табл. 3) наибольшее содержание полиаренов в городских почвах наблюдается в транспортной и промышленной функциональных зонах.

Таблица 3. Данные по содержанию ПАУ в городских почвах

Район исследований	**Содержание ПАУ (мкг/г)**	**Количество ПАУ**	**Ссылка на статью**
Общественно-деловая зона			
Таиланд, Бангкок	0,38	20	Wilcke, Muller (1999)
Бразилия	0,39	20	Wilcke et al. (1999)
Великобритания	4,20	12	Wild, Jones (1995)
Индия	9,3	11	Amit, Majai (2006)
Республика Беларусь	1,08	16	Кухарчик и др. (2013)
РФ, г. Уфа	0,11	16	Амирова и др.(2015)
Природно-рекреационная			
Республика	0,89	16	Кухарчик и др. (2013)

Район исследований	**Содержание ПАУ (мкг/г)**	**Количество ПАУ**	**Ссылка на статью**
Беларусь			
Россия, г. Москва	6,12	17	Никифорова, Кошелева (2011)
Китай, г. Шанхай	2,13	16	Jiang et al. (2009)
Транспортная			
Австралия	3,30	14	Yang et al. (1991)
США	58,68	14	Rogge et al. (1993)
Индия	12,90	14	Amit, Majai (2006)
Россия, г. Москва	6,05	17	Никифорова, Кошелева (2011)
Китай, г. Шанхай	6,28	16	Jiang et al. (2009)
Промышленная			
Великобритания	4,50	12	Wild, Jones (1995)
Австрия	79,00	18	Weiss et al. (1994)
Индия	13,70	11	Amit, Majai (2006)
РФ, г. Уфа	1,11	16	Амирова и др.(2015)
Россия, г. Москва	6,55	17	Никифорова, Кошелева (2011)

Помимо неравномерного распределения ПАУ в зависимости от расстояния от дорожного полотна и интенсивности движения существует также глубинный градиент накопления ПАУ. Накопление поллютантов, главным образом, происходит в верхних горизонтах почвы (Киреева и др., 2009), и их количество уменьшается в разы при переходе к более глубоким слоям. По данным американских исследователей суммарное количество ПАУ в верхнем горизонте (0-15 см) составляет 1869 мкг/кг, в нижних горизонтах (15-30 см) установлены величины порядка 1079 мкг/кг и 478 мкг/кг на глубине 30-45 см (Banger et al., 2010). Цифры, полученные другими исследователями (Atanassova, Brummer, 2004), показывают, что антропогенное поступление ПАУ в придорожные системы приводит к накоплению ПАУ в верхнем 5 см слое (200 мкг/кг). Вглубь по профилю проникает существенно меньшее количество полиаренов (82 мкг/кг на глубине 25-30 см), а ниже 50 см обнаруживаются всего 16 мкг/кг ПАУ. Вероятно, это связано с высокой сорбирующей способностью верхнего гумусированного горизонта.

1.6 Подходы к нормированию ПАУ

Уровни предельно допустимых концентраций (ПДК) ПАУ тесно связаны с их вредностью для животных и человека. В Российской Федерации гигиенические нормативы практически для всех сред (включая продукты питания) установлены для бензо(а)пирена, который относится к веществам 1-го класса опасности. Помимо бензо(а)пирена, установлены ПДК или ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) еще для шести представителей ПАУ (антрацен, аценафтен, нафталин, пирен, фенантрен и дибенз(a,h)антрацен) (табл. 4), но пока только для атмосферного воздуха населенных мест и воздуха рабочей зоны (Крылов и др., 2012).

Также согласно СанПиН 1.2.2353-08 «Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности» бензо(а)антрацен, бензо(а)пирен, дибенз(a,h)антрацен, дибенз(a,l)пирен и циклопента(cd)пирен включены в перечень факторов, канцерогенных для человека.

Таблица 4. Санитарно-гигиенические нормативы ПАУ в объектах окружающей среды в РФ

	Почва[1,2], мкг/г ПДК	**Воздух населенных мест[3,4], мг/м³**	**Воздух рабочей зоны[5], мг/м³** ПДК	**Вода водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования[6], мг/л**
Бензо(а)пирен	0,02	ПДКсс[3]= 0,000001	0,00015	0,00001
Антрацен	-	ОБУВ[4]= 0,01	-	-
Аценафтен	-	ОБУВ[4]= 0,07	10	-

	Почва[1,2], мкг/г ПДК	**Воздух населенных мест[3,4], мг/м³**	**Воздух рабочей зоны[5], мг/м³** ПДК	**Вода водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования[6], мг/л**
Нафталин	-	ПДКмр[3] = 0,003	20	0,01
Пирен	-	ОБУВ[4]= 0,001	0,03	-
Фенантрен	-	ОБУВ[4] =0,01	0,8	-
Дибенз(a,h)антрацен	-	ПДКсс[3]= 0,005	-	-

[1] ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»;

[2] «МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания» (утв. Минздравом РФ 07.02.1999);

[3] ГН 2.1.5.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»;

[4] ГН 2.1.6.2309-07 «Ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»;

[5] ГН 2.2.5.1313-03 «Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;

[6] ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Бензо(а)пирен воздействует по мере накопления, поэтому для него нормируется среднесуточная ПДК в атмосферном воздухе населенных мест – ПДКсс = 0,001 мкг/м³ (ГН 2.1.5.1338-03). Превышение содержания бензо(а)пирена в воздухе городов приходится на районы с интенсивным транспортным движением (включая транзитный транспорт), а также центральные районы с плотной жилой застройкой, значительно ухудшающей рассеивание вредных веществ в атмосферном воздухе – кратность превышения здесь составляет от 1,1 до 7,5 ПДК (Лим, 2010).

Согласно ГН 2.1.7.2041-06 ПДК бензо(а)пирена в почве составляет 0,02 мг/кг. По требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» оценка уровня загрязнения почв бензо(а)пиреном проводится путем сравнения фактически определенного содержания с ПДК в почвах. Также нормами СанПиН 2.1.7.1287-03 определено, что все почвы и грунты с содержанием данного токсиканта более 0,1 мг/кг (5 ПДК) относятся к чрезвычайно опасной категории загрязнения и подлежат вывозу и утилизации на специализированных полигонах.

Существуют весьма значительные различия по величине ПДК для бензо(а)пирена, принятые в разных странах. Например, в России она составляет 20 мкг/кг почвы (общесанитарный показатель). В Германии же федеральный закон «О защите почв» от 12 июля 1999 г., устанавливает дифференцированные по объектам стандарты содержания бензо(а)пирена в почвах: для почв детских площадок – 2000 мкг/кг, для почв городских парков – 10000 мкг/кг, для почв промышленных территорий – 12000 мкг/кг (Когут и др., 2006; Капелькина, 2010).

В Дании почва считается качественной, если содержание бензо(а)пирена не превышает 100 мкг/кг, а при содержании более 1000 мкг/кг рекомендуется проводить мероприятия по рекультивации или ремедиации.

В Нидерландах предельно допустимая концентрация (maximum permissible concentration – MPC) 3,4-бензо(а)пирена в почве равна 52 мкг/кг, т.е. в 2,5 раза больше, чем российская ПДК. Содержание 7000 мкг/кг и выше определяется как экотоксикологический риск (Ecotoxicological Serious Risk Concentration – SRCeco for soil). Критерий «SRCeco for soil» по смыслу можно сравнить с нашим критерием «чрезвычайно опасная категория загрязнения» (Герасимова, 2007).

Разумеется, в Европе не считают ПАУ менее опасными, допуская более высокие предельно допустимые концентрации. Дело в том, что в странах с ограниченными природными ресурсами имеют приоритет подходы, направленные на восстановление исходных свойства почв на месте или на проведение комплекса технических мер, исключающих негативное воздействие токсичных почв на человека и окружающую природную среду в целом (Герасимова, 2007). Также, следует иметь в виду, что ПДК в России территориально не дифференцированы, не учитываются типы почв, их устойчивость, а также виды землепользования (земли сельскохозяйственного назначения, лесные, городов, промышленных объектов и т.д.), а в пределах города не учитывается характер использования земель по функциональному назначению (Капелькина, 2010).

Также необходимо отметить, что действующие нормы ПДК бенз(а)пирена в почве были разработаны в 1981 г. Определение содержания бенз(а)пирена в почве при разработке норматива ПДК проводилось в соответствии с требованиями МУК № 1424-76 «Методические указания по отбору проб из объектов внешней среды и подготовка их для последующего определения канцерогенных полициклических ароматических углеводородов». Недостатками МУК 1424-76 является низкая селективность, потери целевого вещества в ходе пробоподготовки и трудность работы с высокими концентрациями ПАУ. Но используемые в настоящее время методики определения бенз(а)пирена обеспечивают более полное его извлечение, т.е. результат анализа получается несколько выше, чем если определять содержание бенз(а)пирена в соответствии с МУК 1424-76 (Герасимова, 2007).

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

2.1 Характеристика района исследований

Площадки отбора проб были расположены в муниципальных районах Метрогородок и Гольяново, а также в Национальном парке «Лосиный остров» (рис. 2). В географическом отношении территория исследований находится на северо-западном замыкании Мещерской низменности, в зандровой равнине в междуречье рек Москвы и Клязьмы. Рельеф имеет выровненный характер. Долины рек и ручьев врезаны неглубоко и местами даже не имеют четких очертаний. Основные водные артерии: на территории парка – р. Ичка (левый приток р. Яуза), на территории жилой застройки – р. Сосенка (закрытый водоток, имеющий открытую зону разгрузки в районе Гольяновского пруда).

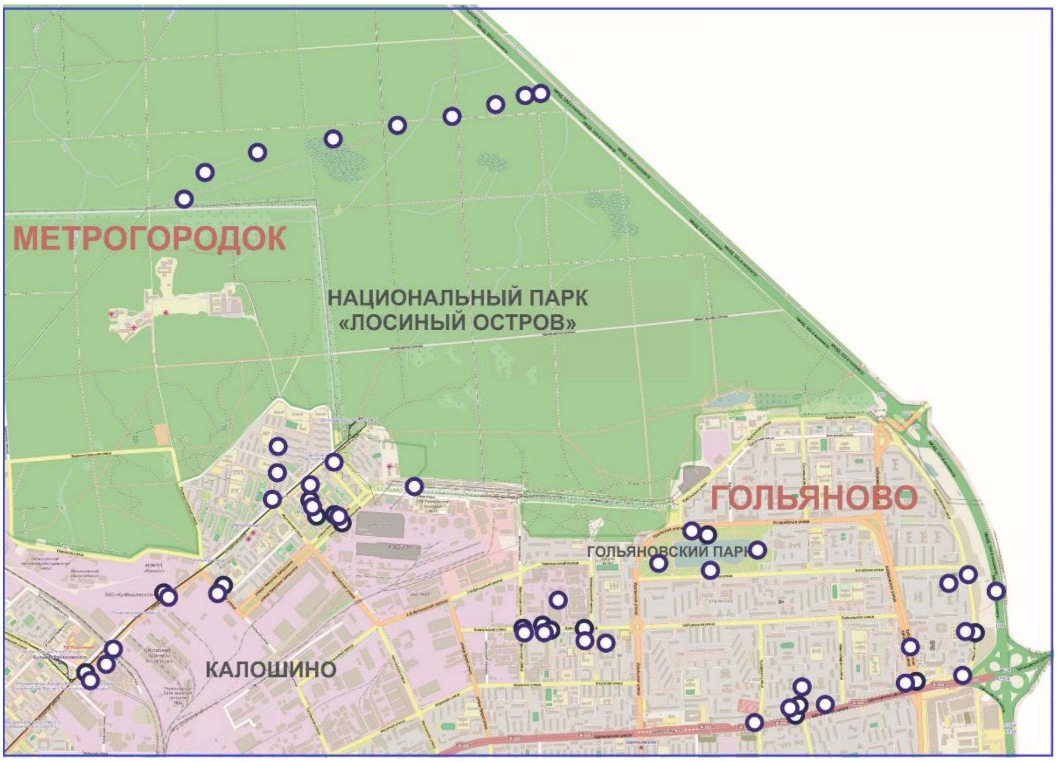


Рисунок 2. Схема расположения площадок опробования

Среднегодовая температура воздуха составляет +4,8 °C. Средняя температура самого жаркого и самого холодного месяца в году (июль и январь) составляют +18,2 и –9,4 °С соответственно. За год выпадает в среднем 677 мм осадков. Снеговой покров устойчивый (до 70 см) с декабря по март. Среднемесячная скорость ветра в данном районе колеблется от 1,7 до 4,0 м/с, составляя в среднем за год 2,2 м/с. Наибольшие скорости ветра наблюдаются в зимний период. Преобладают ветры южных, юго-западных и западных румбов (Киселева, 2006).

По характеру растительности территория находится на границе сосново-болотного района Мещерской низменности с подзоной елово-широколиственных лесов южного склона Клинско-Дмитровской гряды, что обусловливает на территории Национального парка большое разнообразие естественных растительных сообществ, среди которых преобладают еловые, липовые и вторичные березовые леса (Янгутов, 2006). Леса занимают 82% площади парка (Киселева, Чуенков, 2003). На застроенной территории растительность представлена разновозрастными искусственными насаждениями, среди древесных культур преобладают различные виды ясеня, липы, клена и тополя.

Исследуемая часть Восточного административного округа (ВАО) – это территория, ограниченная крупными транспортными магистралями (Щелковским шоссе на юге, Московской кольцевой автодорогой (МКАД) на востоке, веткой Окружной железной дороги на западе), которые являются мощными источниками поступления техногенных углеводородов в экосистемы округа. Другими серьезными источниками техногенного воздействия на почвы в этой части ВАО выступают тепловая станция ТЭЦ № 23 и примыкающая к ней Промзона № 53 «Калошино» (Экологическая карта Москвы, 2011), на территории которой расположены промышленные предприятия (металлоперерабатывающие, типографские, бытовые и пищевые комбинаты), водораспределительные предприятия (отделение Мосводоканала), ремонтные мастерские и крупные склады.

На застроенной части («Положение о видах функционального…», 2002) изучаемого района приблизительно равные площади занимают кварталы преимущественно нежилой (промышленной) и преимущественно жилой застройки (Атлас «Компас Москвы»…, 2011). Последние представляют собой селитебные зоны (более 60 лет от начала заселения) с хорошо развитой инфраструктурой и транспортной сетью, периодически подвергающиеся плановым реконструкциям, таким как: ремонт и снос ветхого жилья, массовая и точечная застройка жилыми зданиями повышенной этажности, ремонт и постройка общественных и торговых комплексов, расширение и модернизация транспортной сети, проведение работ по благоустройству и озеленению рекреационных и дворовых территорий.

Северная часть исследуемой территории занята природными комплексами Национальный парк «Лосиный остров», который расположен на северо-востоке Москвы и прилегающей части Московской области и является самым крупным (площадь более 12 тыс. га) лесным массивом в городе. Экологическая значимость этого природного объекта подтверждена статусом особо охраняемой территории федерального значения и включением «Лосиного острова» в состав Федерации национальных парков Европы (Киселева, 2006).

Основным источником поступления углеводородов в почвы парка является МКАД, протяженность которой на территории «Лосиного острова» составляет 7,5 км. Поступление загрязняющих веществ в окружающую среду происходит с выхлопными газами и пылевыми частицами от истирающихся деталей машин и компонентов дорожного полотна. На участке МКАД, проходящей через лесной массив, пылевые выпадения преимущественно оседают на листьях и хвое деревьев, откуда периодически смываются атмосферными осадками. По данным, приводимым Ю.Л. Марковой (2003), доля транспортной составляющей в пылевых выпадениях на территории парка с 1987 по 2000 год увеличилась почти в два раза, с 11% до 19%.

Расположение ТЭЦ № 23 вне территории парка и значительная высота дымовых труб позволяет рассматривать выбросы станции лишь как второстепенный источник формирования углеводородной нагрузки. В московской части Национального парка влияние на формирование поступлений техногенных углеводородов могут также оказывать менее значительные источники локального характера, такие как: пал костров; сжигание бытового мусора; выбросы котельной, принадлежащей больничному комплексу, расположенному в пределах парковой зоны.

Средние концентрации бензо(а)пирена в почвах по всему району в несколько раз превышают ПДК. Согласно докладу «О состоянии окружающей среды в г. Москве в 2013 году» на территории ВАО среднее содержание бензо(а)пирена в почвах составила 0,04 мкг/кг, что равно среднему содержанию в целом по городу за рассматриваемый год. В 2012 году среднее содержание беноз(а)пирена по округу составило 0,1 мкг/кг.

2.2 Описание пробных площадок

Всего было заложено 56 площадок для проведения мониторинговых исследований. Все выбранные для опробования места представляют собой типичные городские территории, выполняющие свое функциональное назначение (природно-рекреационная, общественно-деловая, транспортная). Они характеризуются наличием растительности (древесной и/или напочвенной), открыты круглый год для свободного доступа населения. В приложении приведено краткое описание мониторинговых площадок и их адресная привязка.

Значительное количество точек опробования (22) относится к зоне влияния транспорта – основного источника техногенных углеводородов на территории городов. Эти точки расположены на обочинах, непосредственно примыкающих к полотну автодороги; в палисадниках перед домами, выходящими фасадом на магистраль; на разделительных полосах и узких бульварах; на автостоянках различных размеров; в зоне плотной гаражной застройки.

Также представлены рекреационные территории (22) с разной техногенной нагрузкой: крупный парк с естественными растительными сообществами; искусственные прогулочные зоны, расположенные на разном удалении от транспортных магистралей и объектов промзоны.

В жилых районах площадки (12) расположены на типичных дворовых территориях с локальными зонами рекреации (детские площадки), зонами проезда и стоянками автотранспорта, площадками для хранения мусора. Выбранные дворы находятся на разном удалении от мобильных и стационарных источников загрязнений, рядом с домами разного времени постройки и разной этажности (высота здания может оказывать существенное влияние на защищенность дворовой зоны от аэрального поступления углеводородов). Опробованы территории вокруг строений бытового и технического обслуживания, площадь которых в жилых кварталах может быть весьма существенной.

На застроенной территории исследуемой территории природные почвенные разности практически не встречаются, основная часть почв представлена конструктоземами (Прокофьева и др., 2011), с периодически (раз в 2-3 года) сменяемым верхним слоем, который представлен смесью торфа, суглинка и песка. В зоне интенсивной застройки велика доля запечатанных почв.

В Национальном парке «Лосиный остров» были заложены пробные площадки в московской части парка (приложение 1), расположенные между МКАД и селитебной зоной на разных расстояниях от дорожного полотна под монодоминантными растительными сообществами: нелистопадными хвойными (мертвопокровные ельники со слаборазложенной подстилкой) и листопадными широколиственными (спелые липняки с подстилкой представленной опадом текущего года).

Преобладающим типом почв на территории парка являются дерново-подзолистые, занимающие положительные формы рельефа – вершины и склоны водоразделов. Среди них преобладают слабо-дерновые глубокоподзолистые. Растительные сообщества несут признаки возрастающей неморализации. К отрицательным формам рельефа приурочены болотно-подзолистые и болотные почвы. В пойме реки формируются аллювиальные (пойменные) почвы (Киселева, 2006).

2.3 Отбор и подготовка проб

В течение осеннего и весеннего сезонов 2009-2013 гг. на выбранных площадках был произведен отбор следующих проб.

Пробы снегового покрова отбирали в конце марта до начала интенсивного снеготаяния в течение 2009-2012 гг. на 9 площадках под липняками и ельниками на территории Национального парка «Лосиный остров» и в 2012-2013 гг. на 19 площадках на застроенной территории. Также пробы снега на 2 площадках отбирались в марте 2010 года на территории Мещерской низменности во Владимирской области в 20 км от г. Петушки под лиственными и хвойными парцеллами смешанного леса. Данная территория была условно выбрана фоновой, т.к. находится на значительном удалении от крупных автомагистралей и промышленных предприятий (ближайшие значительные источники ПАУ находятся в г. Электросталь на расстоянии 60 км от места отбора проб).

Отбор проб производили с помощью цилиндра (снегоотборника) диаметром 10 см. В пределах каждой пробной площадки отбирали по 3-5 колонок снега на всю глубину его залегания в один полиэтиленовый пакет (Руководство…, 1988). Высота снегового покрова на исследованных площадках была на момент отбора не менее 20 см в городских кварталах и не менее 40 см в зоне лесопарка. Пробоотбор производили только на тех площадках, в пределах которых можно было исключить антропогенные нарушения снегонакопления – уборку и утаптывание снега, а также сваливание снежных масс при расчистке смежных территорий (тротуаров и зон движения автотранспорта). После отбора пробы снега хранили при – 20 ^{o}C.

Проба снега по всей его толще может характеризовать загрязнение за период, прошедший от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора образца (Котельникова и др., 2011).

Для определения количества аэральных выпадений на исследуемой территории пробу снега растапливали в стеклянной емкости, по объему талой воды определяли влагозапасы и количество осадков в мм для данной точки. Затем талую воду количественно пропускали через планктонную сетку (размер пор 100 мкм) и фильтровали под вакуумом через фильтр Millipore Pads-Dispenser (размер пор 0,45 мкм). Фильтр высушивали, взвешивали для определения количества твердого осадка и оставляли для проведения аналитических определений. Дополнительно со стенок емкости, в которой происходило таяние снега, делали смывы тампоном, смоченным в дихлорметане, для сбора сорбированных пленок органических веществ.

Пробы растительного материала. Для площадок, расположенных в пределах территории Национального парка «Лосиный остров», в постлистопадный период (сентябрь) производили отбор лиственного опада в липняках в течение 2009-2010 гг. на 9 площадках и горизонта хвойной подстилки в ельниках в 2010 на 4 площадках с поверхности почвы площадью 0,25 × 0,25 м в трех точках. Также на выбранных площадках до начала интенсивного листопада в конце сентября с 3-4 стоящих рядом деревьев на высоте 2-4 м от земли производили отбор листьев липы (2009).

В Северной Карелии, в Пяозерском национальном парке, принятой как фоновой, были отобраны пробы растительного материала (листья ольхи).

Территория, удалена на значительное расстояние от всех антропогенных источников загрязнения: ближайшая железнодорожная магистраль находится в 200 км, ближайшее промышленное предприятие (Кольская горно-металлургическая компания) – в 90 км.

Для отобранных листьев липы проводили измерение площади листовой пластины. Сухую биомассу листьев определяли путем высушивания в сушильном шкафу при температуре 60 °С.

Растительные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, готовили из них смешанную пробу и гомогенизировали.

Пробы почв на застроенной территории на 42 площадках отбирали из верхнего слоя (0-10 см) методом конверта со стороной 1-5 м или линейно (вдоль дорог и тротуаров) в пяти точках с интервалом 5-20 м (Другов, Родин, 2009). На 13 площадках, расположенных в пределах территории Национального Парка «Лосиный остров», в 2011-2012 гг. отбор проб производили в центральной части парцеллы методом конверта из верхнего слоя 0-10 см под листопадными и 5-10 см – под хвойными растительными сообществами. Отбор производили в начале ноября после окончания периода листопада и в конце апреля после полного схода снегового покрова.

Из отобранных образцов удаляли крупные корни, камни и антропогенные включения (куски стекла, кирпича, металла, пластика), затем готовили смешанные пробы. Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре (25 °С), гомогенизировали и пропускали через сито с отверстием 2 мм.

2.4 Аналитические методы

Экстракция ПАУ. В сухих гомогенизированных образцах растительного материала, в твердой фракции, полученной после вытаивания снега, и в образцах почв определяли содержание ПАУ.

Выделение ПАУ из образцов проводили с использованием системы ускоренной автоматической экстракции ASE 200 Dionex. Условия экстракции: растворители (квалификации «эталонный»): н-гексан, дихлорметан:ацетон (1:1 об.); температура – 150 °С; давление – 1500 psi; время преднагрева – 1 мин; время выдержки – 5 мин; объем промывки - 120%; время продувки азотом – 60 сек; количество циклов – 2.

Для выделения ПАУ из твердых аэральных выпадений высушенный фильтр с твердым осадком и ватный тампон с сорбированными пленками органических веществ измельчали и помещали экстракционную ячейку, в нижнюю часть которой помещали целлюлозный фильтр.

Для подготовки проб почвы и растительного материала использовали кварцевый песок (0,25-0,3 мм QP, Panreac) в качестве инертного наполнителя и кизельгур (кремнистую землю) (QP, Panreac) для осушения и улучшения гомогенизации образца. Песок и кизельгур предварительно прокаливали в муфельной печи в течение 6 ч при 500 °С для удаления возможной примесей органических веществ. Использование кизельгура в качестве осушителя при экстракции органическими растворителями в условиях высокого давления рекомендовано вместо безводного сульфата натрия, перекристаллизация которого может привести к закупорке металлических фрит экстракционных ячеек (EPA Method 3545A, 2007). Навеску образца почвы 2 г и растительного материала 250 мг помещали в фарфоровую ступку, добавляли 1 г кизельгура и пестиком тщательно перетирали до однородной массы. Для улучшения гомогенизации к смеси добавляли 2 г кварцевого песка. Полученную смесь пересыпали в экстракционную ячейку, в нижнюю часть которой помещали целлюлозный фильтр. Оставшийся свободный объём ячейки заполняли кварцевым песком для снижения расхода растворителя во время экстракции (Application Note 324; Application Note 338; EPA Method 3545A, 2007; Завгородняя и др., 2012).

Для полученных после ASE 200 экстрактов замеряли объём. В гексановый экстракт добавляли сульфат натрия до полного удаления воды. Полноту обезвоживания экстракта контролировали визуально. Для концентрирования аликвотные части экстрактов отгоняли в вытяжном шкафу при 20 °С.

Остаток перерастворяли в гексане и очищали от мешающих компонентов на подготовленном патроне для твердофазной экстракции (ТФЭ) с сорбентом Диапак-С (БиоХимМак). ПАУ элюировали бензолом (БСТ-МВИ-03-03, 2003). Полученные элюаты упаривали и перерастворяли в ацетонитриле.

Определение содержания ПАУ. Аналитическое определение ПАУ проводили методом обратнофазной хроматографии высокого давления на жидкостном хроматографе Agilent 1100 с флюориметрическим детектором (Agilent Technologies) и системой обработки данных ChemStation, HPChem (ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.62-09, 2009). Параметры хроматографического процесса: колонка – Диасфер 110-С18, 5 мкм, 4,0х250 мм; режим термостатирования – 30 °С; размер петли – 25 мкл; скорость потока элюента - 1 мл/мин; режим элюирования – градиентный; элюент – ацетонитрил-вода; длина волны возбуждения – 280 нм; длина волны эмиссии – 405 нм.

Количественное определение ПАУ проводили методом абсолютной калибровки. В качестве стандарта использовали комплект стандартных образцов ПАУ в ацетонитриле СОП 0118-03 ER-PAH. Калибровку проводили по пяти уровням, отклонения от линейности не превышали 5%.

Качественную идентификацию ПАУ проводили методом хроматомасс-спектрометрического анализа на газовом хроматографе Agilent 6890N с квадрупольным масс-селективным детектором MSD5973N (Agilent Technologies) и системой обработки данных ChemStation, MSDChem.

Параметры масс-спектрометра:

- тип ионизации – электронный удар;

- ионизирующее напряжение – 70 эВ;

- режим сканирования – полный ионный ток;

- скорость сканирования – 2,17 спектр/сек;

- диапазон регистрируемых масс – 10-700.

Идентификацию компонентов проводили по данным библиотечного поиска в библиотеке NIST 02 (NIST EPA NIH Mass Spectral Library, 2002ver., 150000 соединений).

В отобранных пробах снега, почв и растительного материала были установлены16 ПАУ, отнесенных Агентством по охране окружающей среды США к приоритетным: нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бензо(а)антрацен, бензо(k)флуорантен, бензо(b)флуорантен, бензо(а)пирен, индено(123-c,d)пирен, дибенз(a,h)антрацен, бензо(g,h,i)перилен.

В почвах и в твердых аэральных выпадениях, выделенных из снега, было количественно определено содержание следующих ПАУ: 3-4 кольчатые «легкие» – фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бензо(а)антрацен, хризен и 5-6 кольчатые «тяжелые» – бензо(b)флуорантен, бензо(k)флуорантен, бензо(а)пирен, дибенз(a,h)антрацен, бензо(g,h,i)перилен. В пробах растительных материалов были количественно определены все вышеперечисленные ПАУ кроме дибенз(a,h)антрацена, бензо(g,h,i)перилена, количественное определение которых в растительных пробах является более сложной аналитической задачей, требующей проведения дополнительной очистки экстрактов.

Количественное определение остальных ПАУ из списка приоритетных (нафталина, аценафтилена, аценафтена, флуорена, индено(123-c,d)пирена) в пробах связано с рядом аналитических сложностей из-за высокой летучести этих соединений и проведения дополнительной очистки экстрактов.

Кроме содержания индивидуальных соединений, было рассчитано суммарное содержание полиаренов, сумма «легких» (3-4 кольчатых) ПАУ, сумма «тяжелых» (5-6 кольчатых) ПАУ.

Схема модельного эксперимента по трансформации ПАУ в органогенном горизонте торфяной почвы. Исследовались образцы верхнего (TR) горизонта аллювиальной торфяно-глеевой почвы, отобранный с глубины 0-20 см в пойме р. Яхрома (Московская область). Данная почва используется в качестве коммерческого газонного грунта при проведении озеленительных мероприятий в городе Москва.

В инкубационные баночки объёмом 155 мл поместили 20 г почвы. Почву увлажнили (до 60% ППВ) и внесли 0,5 г твердого осадка, аккуратно перемешали. Количество осадка рассчитывалось, исходя из величины пылевых выпадений на единицу поверхности почвы, которое составляет 130-370 г/м^2 на расстоянии 7-12 м от МКАДа.

В качестве контроля использовалась незагрязненная почва. Аналогичная операция была проведена с кварцевым песком, который использовался в качестве инертного грунта, не обладающего биотической активностью характеризующегося слабой сорбционной способностью по отношению к ПАУ. Опыт был поставлен в трех проворностях для получения статистически верных данных. Образцы почвы и песка (с осадком и без него) инкубировались при свободном газообмене, естественном освещении, температуре 20-25 ^{0}С. Влажность постоянно поддерживалась на заданном уровне. Продолжительность эксперимента составила 91 дней (около 3 месяцев).

pH водной вытяжки и электропроводность. Измерение электропроводности почвенной пробы и pH водной вытяжки проводилось с помощью переносного pH-метра Horiba F-16 и кондуктометра фирмы Hanna Instruments.

Содержание анионов. Количественное определение анионов в водных вытяжках из почв проводили в соответствии с методическими рекомендациями (ПНД Ф 16.1.8-98) методом ионообменной хроматографии на ионном хроматографе ICS-2000 Dionex с кондуктометрическим детектором, колонкой AS-17 (4x250 мм) и системой обработки данных Chromeleon. Для калибровки использовали стандартный раствор анионов в деионизированной воде (Seven Anion Standard, 28-37AS) фирмы Dionex. Калибровку проводили по пяти уровням, отклонения от линейности не превышали 10%.

Содержание углерода и азота. В исследуемых образцах определяли содержание углерода и азота на CHNS-анализаторе Vario EL III (Elementar). Температура сжигания = 1150 °С.

Биологическая активность. Для определения микробиологической активности почв в стеклянные пенициллиновые флаконы объёмом 10 мл отбирали навески по 1 г воздушно-сухой почвы. Образцы увлажняли дистиллированной водой, флаконы закрывали резиновыми пробками и металлическими кольцами, зажимали при помощи специальной струбцины и инкубировали при 25 °С. Концентрацию CO_2 измеряли на 3 сутки, используя газовый хроматограф Кристалл 5000-2. Пробу воздуха (1 мл) из флакона отбирали шприцем непосредственно перед введением в хроматограф.

Условия хроматографирования: колонка набивная, Hayesep, 5мх5мм; изотермический режим – 60 °С; объем вводимой пробы – 1 мл; детектор – катарометр; газ-носитель – гелий; скорость потока газа-носителя – 20 мл/мин.

Содержание CO_2 (в об. %) определяли по площади пика на хроматограммах. Калибровку прибора проводили по газовым смесям, содержащим известные концентрации CO_2.

Скорость эмиссии CO_2 определяли по формуле (Смагин, 2005):

$$\upsilon = \frac{X\% * V * 0{,}0183 * 12}{m * t * 44}, \text{ где}$$

υ – скорость эмиссии CO_2 (мг С-CO_2/ч×г); Х% - содержание CO_2 в виале (в объемных %); V – объем газовой фазы в виале (см^3); m – масса абс. сух. навески почвы (г); t – время (ч).

Определение проводили в трёхкратной повторности.

Статистическая обработка данных. Статистический анализ полученных данных производили с помощью программного пакета Statistica 7.0. Были рассчитаны следующие показатели: медиана, стандартное отклонение, коэффициент вариации, минимум, максимум, квантили, а также был выполнен кластерный анализ. Медиана разделяет ранжированную по порядку возрастания выборку (в данном случае выборку значений содержания ПАУ) на 2 части. Ниже и выше этого значения лежит одинаковое количество точек (по 50%). Квартили определяют такие значения величин содержания ПАУ, для которых 25% и 75% значений ПАУ будут меньше нижнего и верхнего квартиля соответственно.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Застроенная территория

3.1.1 ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период

Поступление пылевых выпадений за зимний период на территории городской застройки в разных функциональных зонах за два года наблюдений сходно (табл. 5). Уровень аккумуляции пылевых выпадений наибольший в транспортной функциональной зоне (19-24 г/м^2), что в 3-6 раза больше, чем в остальных функциональных зонах. Аналогичные данные получены в работе Геннадиева и соавторов (2006): по данным проведенных снежных съемок в наиболее загрязненных местах ежегодно выпадает до 15-20 г пыли/м^2. Также максимальное количество пыли было зафиксировано вблизи магистральных автодорог в зонах высокой и средней интенсивности движения автотранспорта в работе А.В. Мананкова и И.Д. Кара-Сал (2010).

Поступление выпадений за зимний период в транспортной зоне варьирует в пределах 4,02-45,72 г/м^2. В общественно-деловой функциональной зоне количество пылевых выпадений максимально в точке П-17 (двор новой застройки повышенной этажности (менее 10 лет)) и составляет 15-19 г/м^2 (при среднем для функциональной зоны – 4-5 г/м^2).

Таблица 5. Уровни поступления пылевых выпадений в разных функциональных зонах за зимний период, г/м^2

Функциональные зоны	Природно-рекреационная	Общественно-деловая	Транспортная
2012	6,06±3,40*	4,58±2,05	23,68±21,41
2013	6,22±2,79	4,07±0,99	19,02±16,45

*- стандартное отклонение

Содержание ПАУ в твердой фракции снега по функциональным зонам не отличается (табл. 6), что говорит о равномерном обогащении твердого осадка полиаренами.

Таблица 6. Содержание ПАУ в твердой фракции снега за два года наблюдений в разных функциональных зонах ВАО г. Москвы, мкг/г

Функциональные зоны		Природно-рекреационная	Общественно-деловая	Транспортная
2012	«Легкие» ПАУ	9,21±5,00*	9,11±4,22	6,79±2,91
	«Тяжелые» ПАУ	1,45±0,83	1,45±0,54	1,43±1,26
2013	«Легкие» ПАУ	7,99±2,42	10,15±4,15	6,90±1,21
	«Тяжелые» ПАУ	1,54±0,51	1,57±0,53	1,89±1,34

*- стандартное отклонение

Однако за счет разной запыленности воздуха в разных функциональных зонах и в индивидуальных местах отбора проб поступление суммы идентифицированных ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период изменялось от 23,7 до 196,5 мкг/м^2 в 2012 г. и от 30,4 до 347,7 мкг/м^2 в 2013 г (приложение 2). Высокий уровень поступления ПАУ характерен для транспортной функциональной зоны: среднее поступление здесь составило 127 и 148 мкг/м^2 за 2012 и 2013 гг., соответственно. Это в 2 раза больше, чем в природно-рекреационной и жилой функциональных зонах. Средний уровень поступления полиаренов для природно-рекреационной и общественно-деловой функциональных зон за два года исследований не меняется и варьирует в одинаковых пределах (табл. 7 и 8).

За два года исследований запас ПАУ в снеге не изменяется. Среди общего количества проанализированных проб снега за 2012 г. в 52% случаев суммарное содержание ПАУ составляет менее 60 мкг/м^2, в 19% случаев находится в диапазоне от 60 до 90 мкг/м^2, и в 29% – более 90 мкг/м^2. Аналогичные данные получены для 2013 г.: в 52% случаев суммарное содержание ПАУ составляет менее 60 мкг/м^2, в 24% случаев находится в диапазоне от 60 до 90 мкг/м^2, и в 24% – более 90 мкг/м^2.

Соотношение «легких» и «тяжелых» ПАУ одинаково для всех зон и составляет 5-7, что указывает на единый источник их поступления.

Таблица 7. Поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период в разных функциональных зонах, мкг/м^2 (2012 г.)

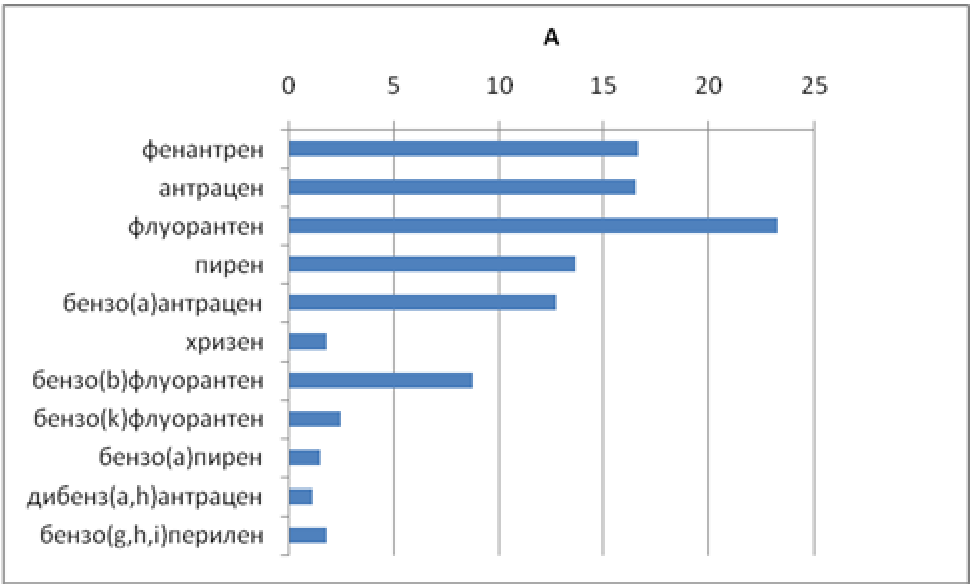
ПАУ	Природно-рекреационная зона(6)		Общественно-жилая зона (8)		Транспортная зона (5)	
	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	9,39	3,77-20,71	8,64	1,65-18,03	20,27	6,51-31,13
антрацен	13,67	5,34-30,75	12,70	3,81-21,98	33,27	17,87-47,51
флуорантен	13,23	5,24-26,74	12,84	4,27-16,51	25,61	7,50-39,65
пирен	7,28	2,38-14,15	6,89	2,66-11,68	18,93	5,64-32,13
бензо(a)антрацен	6,57	2,36-11,73	6,84	1,81-14,52	12,93	7,20-19,00
хризен	1,06	0,44-2,79	1,05	0,49-1,80	1,94	0,90-3,99
бензо(b)флуорантен	5,05	2,11-9,31	4,90	3,89-7,26	11,60	3,27-19,69
бензо(k)флуорантен	1,33	0,57-2,60	1,21	0,60-1,70	2,76	1,13-4,34
бензо(a)пирен	0,66	0,17-1,57	0,68	0,29-0,96	1,58	1,17-2,21
дибенз(a,h)антрацен	0,21	0,06-0,33	0,36	0,08-1,22	0,49	0,29-0,77
бензо(g,h,i)перилен	1,470	0,76-2,00	0,99	0,06-1,67	0,74	0,74-0,74
Сумма ПАУ	**59,92**	**23,70-121,72**	**57,10**	**25,27-77,82**	**130,11**	**53,83-196,38**
Сумма «легких» ПАУ	**51,20**	**20,64-105,93**	**48,95**	**18,72-67,88**	**112,95**	**47,79-173,33**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**8,72**	**3,04-15,79**	**8,14**	**6,30-9,94**	**17,17**	**6,04-26,78**

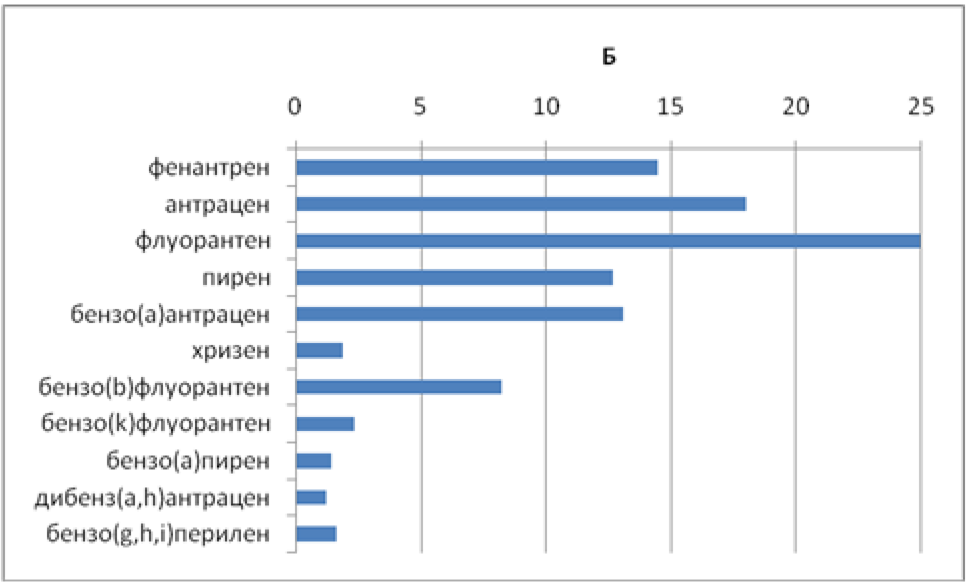
Таблица 8. Поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период в разных функциональных зонах, мкг/м^2 (2013 г.)

ПАУ	Природно-рекреационная зона(6)	Общественно-жилая зона(8)	Транспортная зона (5)

	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	9,29	4,07-12,00	8,01	1,95-14,03	22,39	3,54-59,10
антрацен	5,39	3,07-8,20	8,01	3,89-19,20	26,25	3,51-80,12
флуорантен	12,90	9,33-15,71	15,90	10,65-30,30	32,98	8,50-63,75
пирен	8,02	5,01-10,19	7,72	3,04-10,68	22,90	5,64-48,51
бензо(а)антрацен	7,67	5,42-9,27	8,24	4,82-14,52	18,94	5,50-46,86
хризен	0,94	0,62-1,40	1,14	0,75-1,87	2,84	0,65-4,74
бензо(b)флуорантен	4,81	3,44-5,82	4,58	2,72-6,56	12,68	2,96-26,48
бензо(k)флуорантен	1,40	1,15-1,81	1,47	0,82-1,94	3,48	0,91-6,73
бензо(а)пирен	0,98	0,56-1,43	0,95	0,66-1,21	2,27	0,72-3,59
дибенз(a,h)антрацен	1,00	0,63-1,38	1,04	0,46-1,67	2,72	0,38-7,78
бензо(g,h,i)перилен	0,56	0,42-0,75	0,86	0,06-1,67	1,50	0,87-2,14
Сумма ПАУ	**52,95**	**33,59-63,35**	**57,93**	**42,98-58,61**	**148,96**	**32,81-347,66**
Сумма «легких» ПАУ	**44,20**	**27,76-54,45**	**49,03**	**36,37-52,00**	**126,31**	**27,34-303,08**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**8,74**	**5,83-10,54**	**8,90**	**5,17-7,64**	**22,66**	**5,47-44,58**

На рисунке 3 приведены данные составу ПАУ в твердой фракции снега.





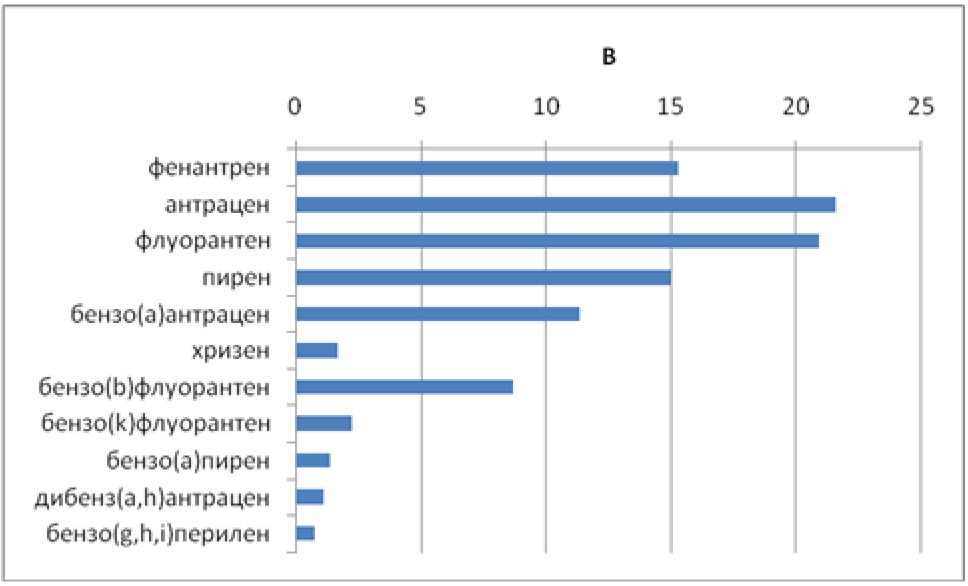


Рисунок 3. Состав ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период для разных функциональных зон, % от суммы ПАУ: А – природно-рекреационная зона; Б – общественно-деловая зона; В – транспортная.

В составе ПАУ для всех функциональных зон «легкие» полиарены составляют до 86% от общего содержания. Для проб, отобранных в природно-рекреационной и общественно-деловой зоне среди «легких» полиаренов заметно преобладает флуорантен – 23-25%. В транспортной функциональной зоне наряду с флуорантеном (21%) высока доля антрацена (22%). Заметно выше также содержание пирена (рис. 3). Во всех функциональных зонах наименьшее относительное содержание хризена – 2%. Флуорантен и пирен являются маркерами загрязнения выхлопными газами (Banger et al., 2010) Также в выхлопных газах автомобилей содержание пирена может превышать содержание бензо(а)пирена более чем в 10 раз (Майстренко и др., 1996).

Из «тяжелых» ПАУ преобладает бензо(b)флуорантен, его доля составляет 8-9%, что примерно в 4 раза больше по сравнению с остальными 5-6 кольчатыми полиаренами (рис. 4). Бензо(б)флуорантен является маркером автотранспортного загрязнения (Zuo et al, 2007; Banger et al., 2010). В составе «тяжелых» ПАУ (рис. 4) отличий между функциональными зонами в целом не наблюдаются, за исключением относительного содержания в осадках бензо(g,h,i)перилена – в транспортной функциональной зоне доля данного полиарена в 2 раза меньше. Хотя бензо(g,h,i)перилен также является маркером выхлопных газов, но при этом содержится в высокодисперсных смесях (< 1 мкм) и распространяется на дальние расстояния (Майстренко, Клюев, 2004).

Сходные данные по составу ПАУ в твердых аэральных выпадениях снежного покрова г. Благовещенска были получены И. М. Котельниковой с соавторами (2011), определивших наиболее высокое содержание пирена, фенантрена, флуорантена, дибенз(a,h)антрацена, бензо(а)антрацена. В твердой фазе снеговой воды, отобранной в городах Южного побережья оз. Байкал, суммарное содержание фенантрена, флуорантена и пирена во всех пробах составило более 50% от количества обнаруженных соединений (Горшков и др., 1998).

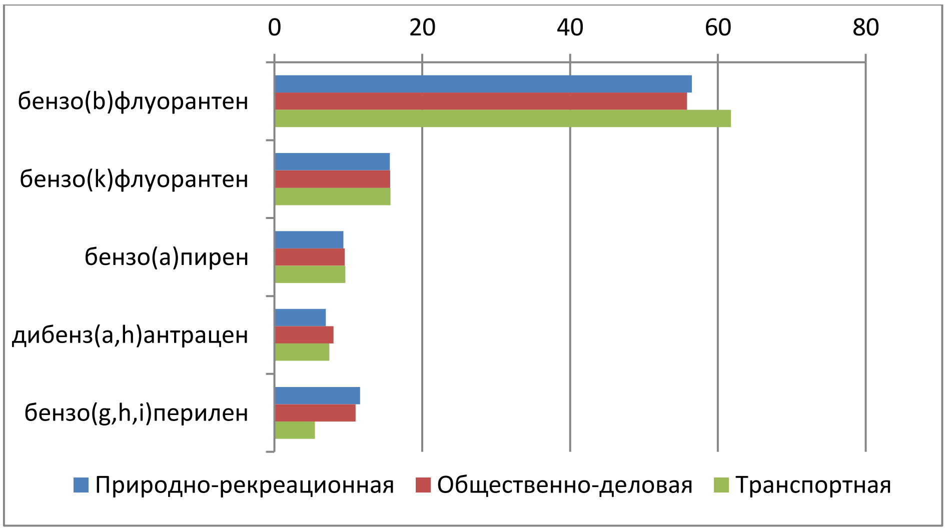


Рисунок 4. Состав «тяжелых» ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период для разных функциональных зон ВАО г. Москвы, % от суммы ПАУ

Варьирование состава полиаренов в твердых аэральных выпадениях невысокое (табл. 9), что объясняется тем, что воздушная среда, в которой находятся твердые частицы, представляет собой однородный объект. Высокий коэффициент варьирования бензо(g,h,i)перилена обусловлен содержанием в следовых количествах в некоторых образцах.

Таблица 9. Коэффициент варьирования ПАУ в снеге, %

	Природно-рекреационная		Общественно-жилая		Транспортная	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
фенантрен	19	16	39	36	14	19
антрацен	15	36	50	74	22	51
флуорантен	10	8	17	37	20	15
пирен	15	6	18	29	16	9
бензо(a)антрацен	19	9	38	24	18	22
хризен	27	34	40	31	34	34
бензо(b)флуорантен	9	12	29	19	19	9
бензо(k)флуорантен	8	16	28	21	6	19
бензо(a)пирен	32	24	34	24	37	27
дибенз(a,h)антрацен	57	25	78	35	50	71
бензо(g,h,i)перилен	110	116	178	272	224	139

3.1.2 Свойства почв

Состав водной вытяжки из почв

Исследованные почвы характеризуются слабо-кислой и нейтральной реакцией среды, типичной для городских почв и грунтов (pH 6,0-7,4). Электропроводность водных вытяжек также соответствует типичным значениям для почв и грунтов в условиях городской среды.

Для проб почв непосредственно вблизи дорожного полотна содержание хлорид-иона было повышенным по сравнению с почвами, удаленными от дороги на расстояние более 10 м. Это связано с дополнительным его поступлением с реагентами, которыми обрабатываются дороги в зимний период. В большинстве образцов верхних почвенных горизонтов, отобранных в весенний период, отмечено уменьшение содержания хлорид-иона по сравнению с осенним показателем. На первый взгляд, это может показаться странным, так как реагенты применяются зимой и поступают в почвы весной при таянии снега. Вероятно, выявленная закономерность объясняется миграцией хлорид-иона в нижележащие слои почвенного профиля вместе с талыми водами весной и подтягиванием к поверхности при испарении почвенных вод летом (табл. 10). В некоторых почвах вблизи обочин с более высоким уровнем поступления хлорид-иона его весенний минимум не прослеживается.

Содержание нитрат-иона, напротив, в большинстве случаев возрастало в пробах, отобранных весной (табл. 10). Это может быть объяснено повышением активности микробиоты, которая, как известно (Макаров и др., 2016; Ямпольская и др., 2014), возрастает в весенний период. С повышением температуры почвы усиливается интенсивность процессов трансформации органического вещества и азотсодержащих соединений, что приводит к увеличению концентрации анионов неорганических кислот (NO_3^-) в составе почвенного раствора.

Таблица 10. Состав водной вытяжки из верхних горизонтов почв, отобранных а) осенью б) весной

а)

	Природно-рекреационная			**Общественно-деловая**			**Транспортная**		
	средн	мин	макс	средн	мин	макс	средн	мин	макс
pH	6,8	6,6	7,1	6,4	6,0	7,2	6,9	6,0	7,4
Электропроводность, μS	104,3	47	229	105,5	54	217	106,0	52	206
Cl- мг/кг	39,1	19	70	42,2	20	36	50,8	21	194
NO^{3-} мг/кг	144,3	1	683	153,5	22	503	163,3	16	519

б)

	Природно-рекреационная			**Общественно-деловая**			**Транспортная**		
	средн	мин	макс	средн	мин	Макс	средн	мин	макс
pH	6,9	6,8	7,2	6,5	6,4	7,0	7,0	6,3	7,4
Электропроводность, μS	127,6	45	181	119,3	43	203	120,7	44	259
Cl- мг/кг	24,7	11	36	25,8	15	34	64,6	11	227
NO^{3-} мг/кг	255,1	27	806	278,3	26	687	307,4	27	629

Содержание общего углерода и азота в почвах

Одним из главных отличий городских почв от природных заключается в том, что они обычно сильно загрязнены, особенно их верхняя часть, различными органическими веществами: битумно-асфальтовыми смесями, сажей, бытовыми отходами, продуктами химической промышленности и нефтепродуктами. Поэтому для городских почв целесообразнее говорить об общем содержании углерода, а не о содержании гумуса (Курбатова, 2004). Во всех исследованных верхних горизонтах почв, большинство из которых формируется в условиях регулярного внесения торфосодержащих почвогрунтов, содержание углерода превышало 3%, за исключением одного образца П-34 (зона отчуждения МКАД), где было установлено меньшее содержание углерода – 2,6% (табл. 4). Максимальные величины были зафиксированы в пробах П-4А (обочина), П-27 (гаражная застройка на дворовой территории), П-4Б (палисадник перед жилым 5-этажным домом) (15,6; 18,4 и 19,6% соответственно). Среднее содержание углерода в образцах верхних горизонтов составило 8,2%, азота – 0,52%. Полученные значения указывают на повышенный уровень содержания углерода и азота в исследованных почвах. В городских условиях содержание органического вещества в минеральных горизонтах почв, превышающее 5-6%, можно считать индикатором сильного антропогенного загрязнения (Доклад «О состоянии…, 2014), а содержание общего азота в городских почвах в среднем составляет 0,03-0,20% (Почва, город, экология, 1997).

Биологическая активность почв

Все исследованные образцы верхних горизонтов почв ВАО г. Москвы имели высокую активность почвенного дыхания (табл. 11, приложение 3). Средняя величина эмиссии углекислого газа для отобранных проб составила 3,7 мкг С-CO^2/кг·час при варьировании от 1,3 до 6,2 мкг С-CO^2/кг·час. Максимальная скорость почвенного дыхания характерна для верхнего слоя ненарушенных лесных почв – до 7 мкг CO^2-С/г·час. Высокая скорость базального дыхания соответствует верхнему слою почв вторичного и коренного леса 2,52 и 2,34 мкг CO^2-С/г·час соответственно, а меньшая 0,4-0,77 мкг CO^2-С/г·час – пахотным и городским почвам (Семенюк и др., 2013).

Относительно высокие величины почвенного дыхания были получены как для точек, расположенных на удалении от дорожного полотна, так и для территорий зоны активного влияния автотранспорта (обочины, автостоянки). По этому показателю почвы можно отнести к объектам, испытывающим минимальную техногенную нагрузку (Яковлев и др., 2010), несмотря на территориально близкое расположение к ним крупных магистралей, дорог с достаточно интенсивным движением, отопительных и промышленных предприятий.

Таблица 11. Свойства верхних горизонтов почв**.**

№ точки	**Тип использования территории**	**С,%**	**N,%**	**почвенное дыхание, мгС-CO_2/кг*ч**
Природно-рекреационная функциональная зона				
Среднее		6,26	0,48	3,01±0,87
Минимальное		3,4	0,3	1,3±0,4
Максимальное		9	0,69	5,8±1,3
Общественно-деловая функциональная зона				
Среднее		6,73	0,50	3,45±1,16
Минимальное		3,1	0,32	1,5±0,3
Максимальное		9,6	0,68	5,8±2,3
Транспортная функциональная зона				
Среднее		9,7	0,57	4,01±1,10
Минимальное		2,6	0,19	1,60±0,20
Максимальное		19,6	1,26	6.20±2,1

3.1.2 Содержание ПАУ в почвах

Суммарное содержание идентифицированных ПАУ в городских почвах варьирует от 0,36 до 18,72 мкг/г в образцах, отобранных осенью, и от 0,22 мкг/г до 4,55 мкг/г – весной (табл 12 и 13). В целом, содержание ПАУ в почве весной несколько ниже, чем осенью, и меньше варьирует. Среди общего количества проанализированных проб, отобранных осенью, в 22% случаев суммарное содержание ПАУ составляет менее 1 мкг/г, в 69% случаев находится в диапазоне от 1-5 мкг/г, в 2% – 5-10 мкг/г и в 7% случаев составляет более 10 мкг/г. Для проб, отобранных весной, картина несколько меняется – в 36% случаев суммарное содержание ПАУ составляет менее 1 мкг/г, в 64% случаев от 1-5 мкг/г. Концентрации 5-10 мкг/г и более 10 мкг/г в отличие от проб, отобранных осенью, не наблюдаются.

В целом содержание полиаренов почвах не коррелирует с общим содержанием углерода и азота и активностью дыхания (R<0,35).

Таблица 12. Содержание* ПАУ в верхних горизонтах почв, отобранных осенью, в разных функциональных зонах, мкг/г

Соединение	Природно-рекреационная (8)		Общественно-жилая (12)		Транспортная (22)	
	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	0,14	0,04-0,26	0,15	0,05-0,33	0,17	0,07-0,38
антрацен	0,24	0,03-0,50	0,35	0,09-1,19	0,36	0,13-0,90
флуорантен	0,37	0,06-0,75	0,51	0,14-1,72	0,45	0,13-1,40
пирен	0,12	0,02-0,28	0,24	0,06-0,67	0,19	0,05-0,39
бензо(a)антрацен	0,07	0,01-0,12	0,16	0,03-0,63	0,11	0,03-0,43
хризен	0,19	0,01-0,11	0,11	0,03-0,29	0,07	0,02-0,15
бензо(b)флуорантен	0,28	0,06-0,74	0,32	0,08-0,93	0,33	0,09-0,62
бензо(k)флуорантен	0,05	0,01-0,14	0,07	0,01-0,26	0,05	0,01-0,15
бензо(a)пирен	0,06	0,01-0,13	0,10	0,02-0,31	0,08	0,01-0,18
дибенз(a,h)антрацен	0,02	0,00-0,04	0,04	0,01-0,09	0,02	0,00-0,14
бензо(g,h,i)перилен	0,11	0,04-0,19	0,16	0,01-0,46	0,15	0,05-0,35
Сумма ПАУ	**1,52**	**0,36-2,68**	**2,21**	**0,71-6,44**	**1,97**	**0,59-4,77**
Сумма «легких» ПАУ	**1,00**	**0,24-1,90**	**1,51**	**0,50-4,47**	**1,34**	**0,42-3,57**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**0,52**	**0,12-1,18**	**0,70**	**0,20-1,97**	**0,62**	**0,17-1,20**

*без учета проб с «экстремальным» содержанием ПАУ

Таблица 13. Содержание ПАУ в верхних горизонтах почв, отобранных весной, в разных функциональных зонах, мкг/г

Соединение	Природно-рекреационная (8)		Общественно-жилая (12)		Транспортная (22)	
	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	0,11	0,04-0,23	0,13	0,03-0,34	0,16	0,00-0,31
антрацен	0,21	0,03-0,36	0,28	0,04-0,85	0,32	0,00-0,98
флуорантен	0,26	0,05-0,53	0,34	0,06-1,12	0,34	0,09-1,11
пирен	0,08	0,02-0,18	0,14	0,00-0,53	0,19	0,03-0,92
бензо(а)антрацен	0,05	0,00-0,11	0,09	0,01-0,33	0,09	0,02-0,42
хризен	0,03	0,00-0,08	0,05	0,01-0,17	0,05	0,01-0,17
бензо(b)флуорантен	0,15	0,03-0,32	0,18	0,04-0,43	0,27	0,06-0,82
бензо(k)флуорантен	0,04	0,00-0,08	0,04	0,01-0,11	0,05	0,01-0,18
бензо(а)пирен	0,04	0,01-0,09	0,05	0,01-0,18	0,05	0,02-0,17
дибенз(a,h)антрацен	0,02	0,00-0,09	0,02	0,00-0,07	0,07	0,00-1,25
бензо(g,h,i)перилен	0,06	0,01-0,11	0,09	0,01-0,32	0,09	0,00-0,30
Сумма ПАУ	**1,05**	**0,22-2,12**	**1,43**	**0,41-3,78**	**1,65**	**0,45-4,55**
Сумма «легких» ПАУ	**0,74**	**0,17-1,49**	**1,04**	**0,31-2,98**	**1,18**	**0,32-3,47**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**0,31**	**0,06-0,63**	**0,39**	**0,10-1,10**	**0,47**	**0,13-1,37**

Среднее суммарное содержание ПАУ для почв общественно-жилой зоны изменяется от 2,21 мкг/г осенью до 1,43 мкг/г весной, что соизмеримо с концентрацией в почвах транспортной зоны – от 1,97 до 1,65 мкг/г (табл. 12, 13). Относительно низкие концентрации ПАУ характерны для почв природно-рекреационной зоны, отобранных как осенью, так и весной: среднее содержание ПАУ здесь находится на уровне 1,52 и 1,05 мкг/г соответственно, максимальное – 2,68 и 2,12 мкг/г. Тем не менее различий в содержании ПАУ между функциональными зонами не наблюдаются: высокие значения содержания полиаренов характерны как для природно-рекреационной и общественно-жилой, так и для транспортной функциональной зоны (табл. 12, 13, приложение 4, 5).

Аналогичные данные получены в работе по изучению загрязнения органическими токсикантами почв Санкт-Петербурга, где максимальное накопление ПАУ в почве происходит в жилых и промышленных зонах (Горький, Петрова, 2012). Длительность воздействия источника загрязнения, а также тот факт, что ПАУ переносятся в основном воздушными потоками, приводят к увеличению содержания ПАУ и в почвах «спальных» районов Васильевского острова Санкт-Петербурга (Лодыгин и др., 2008).

Согласно докладу «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2007 году» анализ содержания органических загрязнителей в почвах разных функциональных зон показал, что наиболее высокие концентрации бензо(а)пирена зафиксированы в скверах, на бульварах, газонах, за ними по степени загрязнения следуют почвы промышленных и природных, национальных, дендрологических парков и ботанических садов.

«Экстремально» высокие концентрации ПАУ (примерно в 8 раз превышающие средние значения) выявлены в каждой функциональной зоне для почв, отобранных осенью: в точках П-1 – 18,72 мкг/г (территория сквера – природно-рекреационная функциональная зона), П-6 – 16,83 мкг/г (открытый двор, общественно-деловая зона) и П-10 – 16,01 мкг/г (территория гаражной застройки, транспортная зона) .

Для почв всех исследованных функциональных зон и осенью, и весной наблюдается сходное соотношение высоко- и низкомолекулярных ПАУ – содержание «легких» полиаренов в почвах в 2,2 раза превышает содержание тяжелых, что указывает на единый основной источник загрязнения.

В структуре ПАУ в почвах всех функциональных зон преобладают среди «легких» ПАУ флуорантен и антрацен, среди «тяжелых» – бензо(b)флуорантен. На долю этих трех соединений приходится более половины суммы ПАУ – 54-58% (рис. 5).

Доля флуорантена наибольшая среди «легких» ПАУ, в природно-рекреационной зоне – 24% от общего состава ПАУ, в общественно-деловой и транспортной функциональных зонах – 23% и 21% соответственно. Относительное содержание антрацена в почвах транспортной функциональной зоны составляет 19-20%. В почвах природно-рекреационной и общественно-деловой зон содержание этого гомолога немного ниже (16%).

Среднее содержание пирена и бензо(а)антрацена в почве природно-рекреационной зоны в 1,5-2 раза меньше, чем в транспортной и общественно-деловой зонах (табл. 12, 13). При этом для всех исследованных функциональных зон среди «легких» ПАУ доли фенантрена, пирена и бензо(а)антрацена в снеговых осадках до 2 раз выше чем в почвах. А доля хризена в отличие от других «легких» полиаренов меньше в твердых аэральных выпадениях, чем в почве в 2-2,5 раза. Пирен, фенантрен возникают в результате сгорания ископаемого топлива. Бензо(а)антрацен часто обусловлен сжиганием как дизельного топлива, так и природного газа (Ma et al., 2005, Banger et al., 2010). Хризен, в почвах и донных отложениях может образовываться из погребенной биомассы (Ровинский и др., 1988).

В составе ПАУ почв вклад «тяжелых» полиаренов по сравнению с твердыми аэральными выпадениями возрастает. Их доля в структуре ПАУ в 1,5-4 раза выше, чем в снеге. Формирование пула «легких» ПАУ в почве обусловлено в значительной мере аэротехногенным привносом, тогда как «тяжелые» ПАУ могут образовываться в результате трансформации органического вещества в процессе педогенеза (Габов и др., 2007). Возможно также, что «тяжелые» полиарены за счет более высокой сорбционной способности становятся менее доступными для микробной деградации. «Низкомолекулярные» ПАУ, напротив, более подвержены деградации и легко испаряются с поверхности почвы. В результате в почве увеличивается доля «тяжелых» полиаренов (Ma et al., 2005).

Среди «тяжелых» ПАУ в исследованных почвах всех функциональных зон преобладает бензо(b)флуорантен – 13-19%, что в 2 раза больше, чем в твердых аэральных выпадениях. Доля бензо(g,h,i)перилена в структуре «тяжелых» ПАУ составляет от 5 до 7%, что в 3-7 раз выше, чем в снеге. В почвах всех функциональных зон среднее содержание бензо(g,h,i)перилена отобранных весной меньше, чем осенью в 1,5-2 раза (табл. 11 и 12).

Наименьшую долю в составе ПАУ в почвах всех обследованных функциональных зон занимает дибенз(a,h)антрацен (1-2%). Обращает на себя внимание образец П-21 (палисадник перед строением промзоны) транспортной функциональной зоны, отобранный весной – содержание дибенз(a,h)антрацена составляет 1,25 мкг/г при среднем содержании в 0,02 мкг/г для почв данной функциональной зоны, что превышает в 62 раза среднюю концентрацию данного полиарена.

В целом относительное содержание индивидуальных полиаренов в почвах не изменяется в зависимости от сезона (рис. 5).

Во всех исследованных пробах обнаружено содержание бенз(а)пирена – одного из наиболее токсичных полиаренов, для которого установлен санитарно-гигиенический норматив ПДК в почве 0,02 мкг/г. Доля бенз(а)пирена в составе ПАУ сходна для почв всех зон и варьирует в пределах 3-5%, что в 2,5 раза выше, чем в снеге. Среднее содержание данного полиарена наибольшее в почвах общественно-жилой функциональной зоны, отобранных осенью – 0,10 мкг/г. В почвах транспортной и природно-рекреационной функциональной зон среднее содержание бензо(а)пирена составляет 0,06 и 0,08 мкг/г соответственно. Весной среднее содержание бензо(а)пирена снижается в почвах всех функциональных зон до 0,04-0,05 мкг/г. Полученные результаты сопоставимы с данными, приводимыми ГПБУ «Мосэкомониторинг» – среднее содержание бенз(а)пирена в почвах ВАО варьирует от 0,04-0,10 мкг/г (Доклад «О состоянии…» 2012, 2013, 2014).

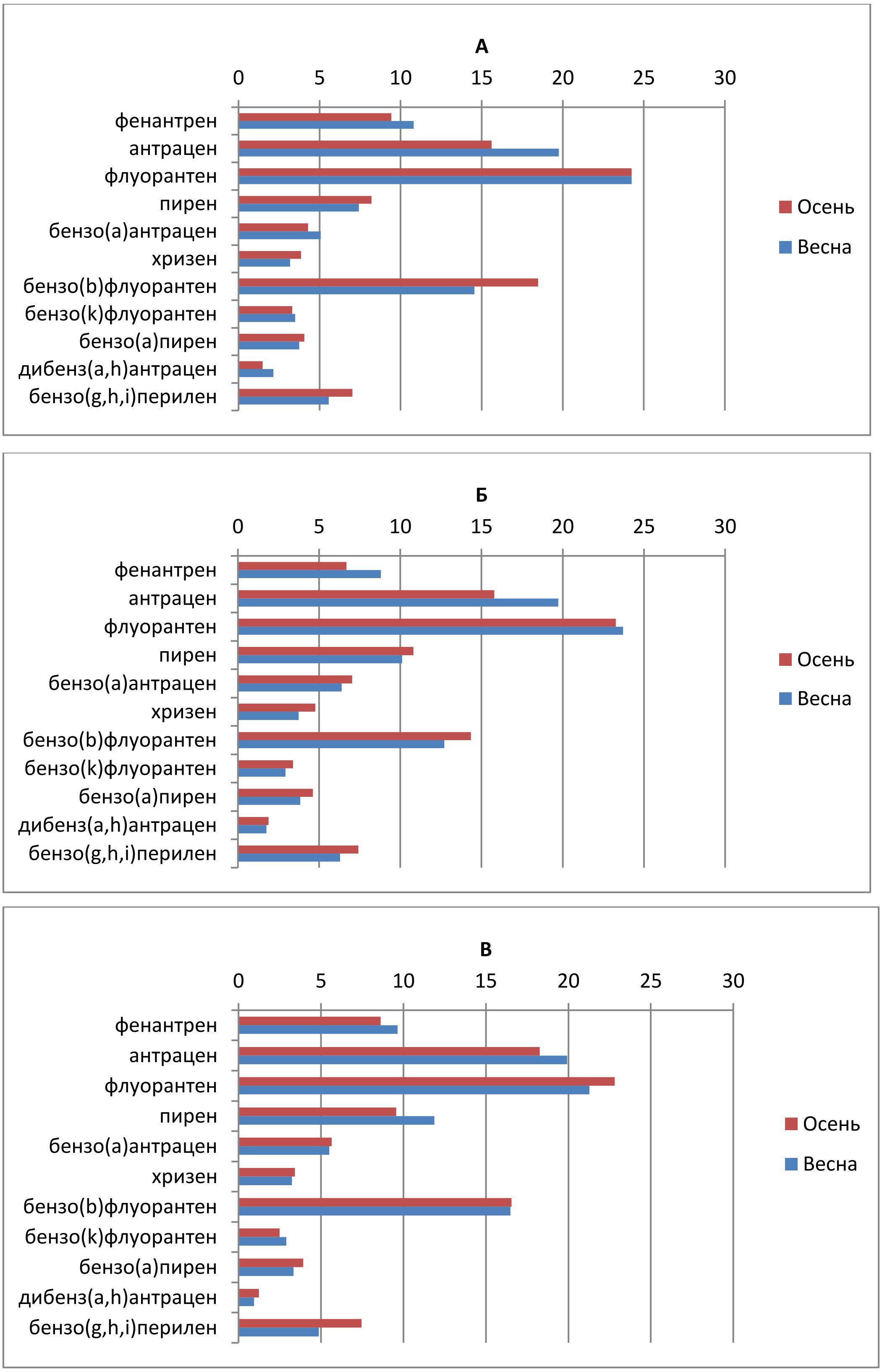


Рисунок 5. Состав ПАУ в почвах разных функциональных зон, % от суммы ПАУ: А – природно-рекреационная зона; Б – общественно-деловая зона; В – транспортная (без учета «экстремальных» значений).

Наиболее заметное отличие в составе ПАУ почв разных функциональных зон характерно для следующих соединений: в транспортной зоне больше относительное содержание бенз(б)флуорантена и антрацена, но меньше флуорантена и дибенз(а)антрацена; в природно-рекреационной меньше пирена. Пирена в выхлопных газах автомобильных двигателей содержится в десятки раз больше, чем бенз(а)пирена (Хлебопрос и др., 2012).

Полученные результаты по составу ПАУ сопоставимы с имеющимися литературными данными. В образцах почв, отобранных из сквера около железнодорожной станции Володарская в г. Санкт-Петербурге, доминируют такие представители ПАУ, как фенантрен, флуорантен, пирен. Их вклад в общее содержание ПАУ составляет 63% (Егорова и др., 2014). В городских почвах Агры (Индия) во всех исследованных функциональных зонах преобладают хризен, бенз(б)флуорантен и флуорантен, при этом на долю 4-кольчатых ПАУ приходится 47% от общего содержания (Masih, Taneja, 2006). В почвах промышленных объектов Беларуси в составе ПАУ доминирующими являются 2–3 компонента: фенантрен и флуорантен, концентрации которых превышали ОДК (для Беларуси) в 60–70% проб (Ересько, 2012). В работе по оценке содержания ПАУ в почвах для лесных ландшафтов показано преобладание флуорантена и фенантрена, на долю которых приходится 45% суммы полиаренов (Кухарчик и др., 2013).

Варьирование содержания большинства полиаренов в верхних горизонтах городских почв довольно высокое (табл. 14). Среди «легких» ПАУ у фенантрена сравнительно высокий коэффициент вариации (от 40 до 67%), низкий у флуорантена (от 17 до 27%). Содержание дибенз(a,h)антрацена в транспортной функциональной зоне характеризуется наибольшей изменчивостью (коэффицент вариации до 191%).

Таблица 14. Коэффициент варьирования ПАУ в почвах

	Природно-рекреационная		Общественно-жилая		Транспортная	
	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна
фенантрен	65	60	67	57	37	55
антрацен	25	41	18	33	13	34
флуорантен	17	26	22	24	20	27
пирен	28	30	16	46	16	102
бензо(а)антрацен	17	38	66	41	40	32
хризен	12	34	25	35	16	35
бензо(b)флуорантен	30	21	23	25	15	25
бензо(k)флуорантен	39	45	49	24	14	39
бензо(а)пирен	24	27	33	49	18	37
дибенз(a,h)антрацен	33	92	99	140	190	191
бензо(g,h,i)перилен	29	49	34	43	36	76

Высокий уровень варьирования содержания полиаренов в почвах не позволяет сделать достоверного заключения о сезонных изменениях. В работе А.Я. Хесиной с соавторами (1997) также не удалось выявить достоверных различий в концентрациях бенз(а)пирена в почве в разные сезоны года (зима, весна, лето). Однако наблюдаемая тенденция по снижению содержания всех полиаренов в почвах весной указывает на то, что в весенний период происходит усиленная деградация ПАУ почвенными микроорганизмами – биодеградация в почве является основным процессом утилизации ПАУ. В придорожных почвах Пекина были выявлены сезонные изменения в содержании ПАУ: концентрации были выше осенью и зимой, чем весной и летом. Авторы связывали это с тем, что в составе ПАУ доминировали 2-3-кольчатые ПАУ, которые из-за температурного эффекта переходят в газовую фазу и не осаждаются (Qingyang et al., 2011). Индийские исследователи указывают на температуру и микробиологическое разложение как на причины уменьшения концентраций ПАУ в почвах – с повышением температуры увеличивается летучесть и активизируется микробная деятельность (Masih, Taneja, 2006).

Результаты проведенного модельного эксперимента показывают, что наиболее существенное разложение за счет биотических и абиотических процессов прослеживается у флуорантена, пирена, бенз(b)флуорантена – более 50% от начальной концентрации. Остальные полиароматические углеводороды разрушились более чем на треть.

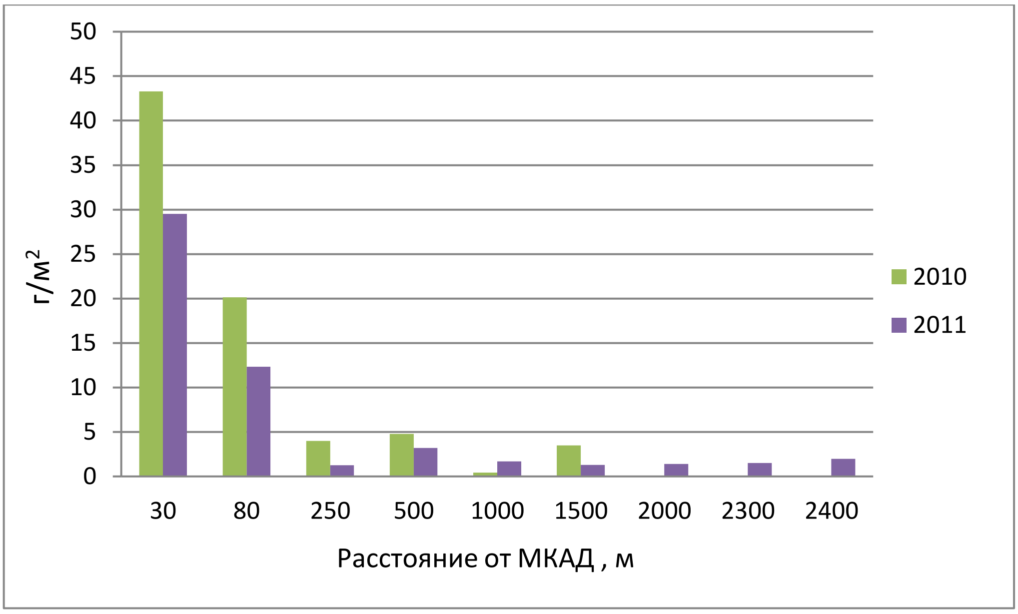
Таким образом, накопленные в снеговых осадках полиарены после снеготаяния поступают на поверхность почвы, что приводит одновременно к повышению содержания ПАУ в верхнем горизонте и интенсификации деятельности углеводород-окисляющих микроорганизмов, которые в условиях повышения температуры почвы утилизируют большую часть поступивших органических загрязнителей.

Для всех ПАУ в почвах транспортной функциональной зоны сезонное отличие менее выражено по сравнению с другими функциональными зонами. По-видимому, это связано с более высоким уровнем поступления полиаренов весной во время таяния загрязненного снега, скопившегося вдоль дорожного полотна.

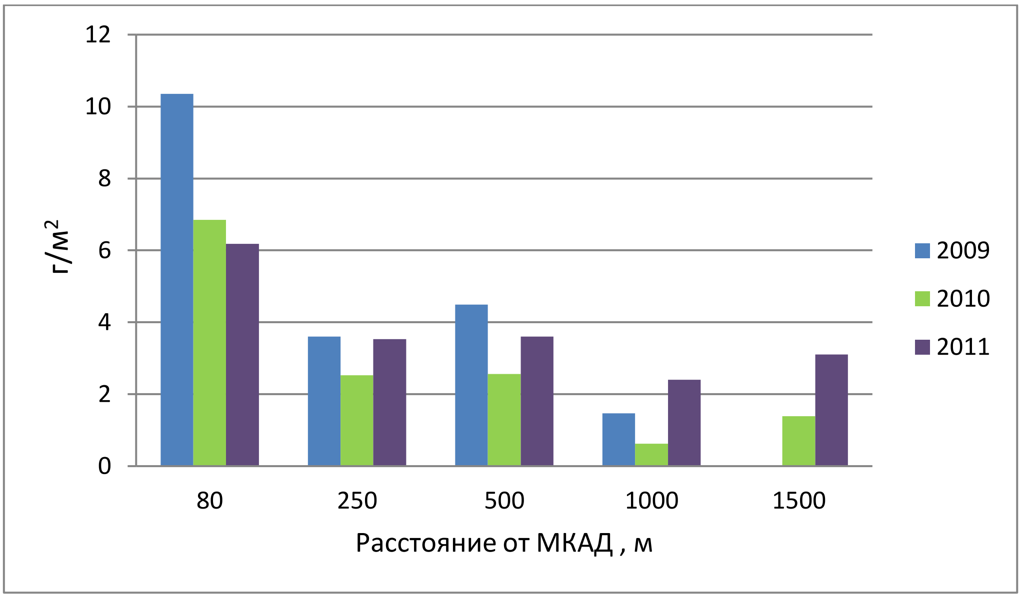
3.2 Национальный парк «Лосиный остров»

3.2.1 ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период

На территории Национального парка «Лосиный остров» основная масса твердых частиц, несущих органические загрязнители, выпадает в придорожной стометровой полосе МКАД (рис. 6).



а)

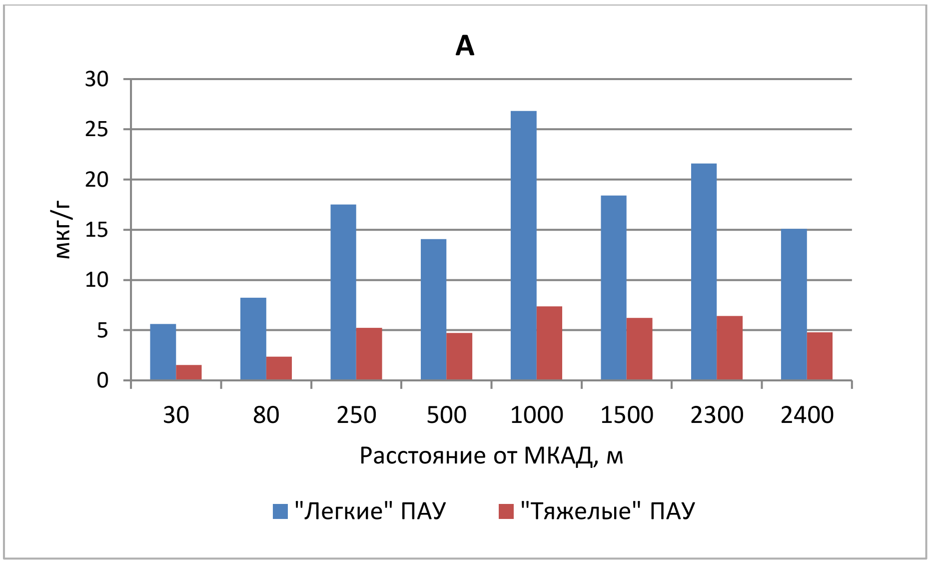


б)

Рисунок 6. Содержание твердой фракции в снеговых осадках: а) под лиственными растительными сообществами; б) под хвойными растительными сообществами

На расстоянии 30 м от МКАД содержание твердой фракции в снеге составило 30-40 г/м^2, а на расстоянии 80 м - 6-20 г/м^2 (рис. 6). Выпадения пылевых частиц, как и связанных с ними ПАУ (рис 8), здесь менее интенсивны под еловыми растительными сообществами, что объясняется частичной задержкой твердых выбросов пологом хвойных деревьев. Пылевые выпадения в более удаленных от дороги точках существенно ниже и составляют в среднем 2-3 г/м^2 как для еловых, так и для липняковых сообществ. Пылевая нагрузка на территории парка на расстоянии больше 200 м составляет в среднем 25 кг/км^2 в сутки, что соответствует минимальному уровню загрязнения атмосферного воздуха, полученным по результатам снеговой съемки в работах Ю.Л. Марковой (2003) и Т.Н. Лубковой (2007).

Концентрация ПАУ в пыли по мере удаления от источника загрязнения (МКАД) увеличивается (рис. 7). Твердые аэральные выпадения на территории Национального парка «Лосиный остров» за зимний период содержат в 3-4 раза больше «легких» ПАУ, чем «тяжелых».



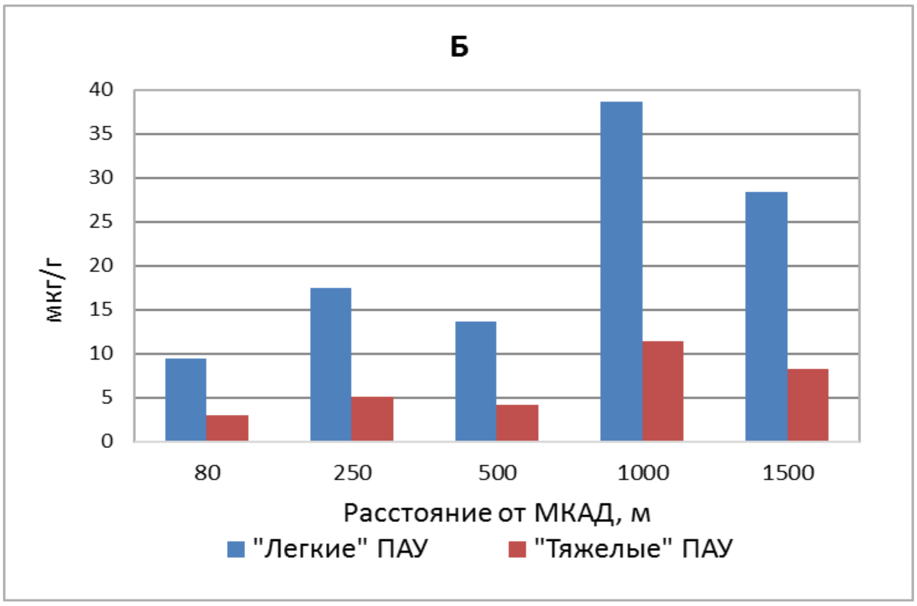
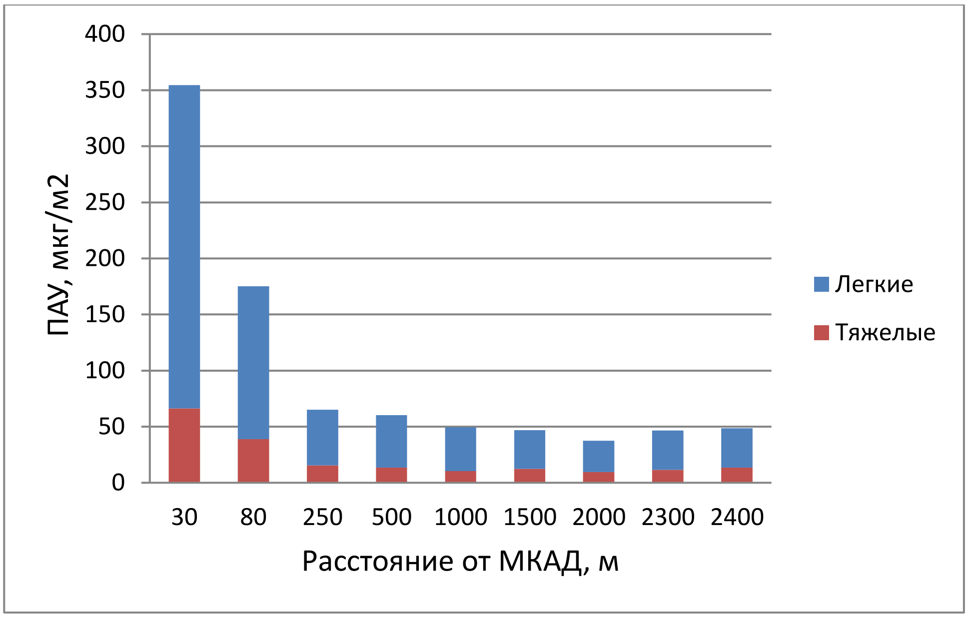


Рисунок 7. Концентрация ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период под разными растительными сообществами, а) под листопадными б) под хвойными

Наиболее обогащенными легкими ПАУ были пробы из снега, отобранного в 30 и 80 м от магистрали (рис. 8). По всей видимости, в условиях низких зимних температур низкомолекулярные полиарены лучше удерживаются частицами аэрозоля, особенно крупными (>1 мкм), которые из-за большего веса оседают на близком расстоянии от источника выброса (Nasr et al., 2002).

Относительное поступление «легких» ПАУ в снеге было выше для всех точек под еловыми парцеллами (рис. 8), что связано с дополнительным поступлением загрязнителей в составе зимнего опада хвои. Речь в данном случае идет о полиаренах, аккумулированных кронами деревьев ранее в летний период, поскольку эффективность захвата загрязнителей хвоей в зимний период невысокая (Горшков, 2006).

a) 

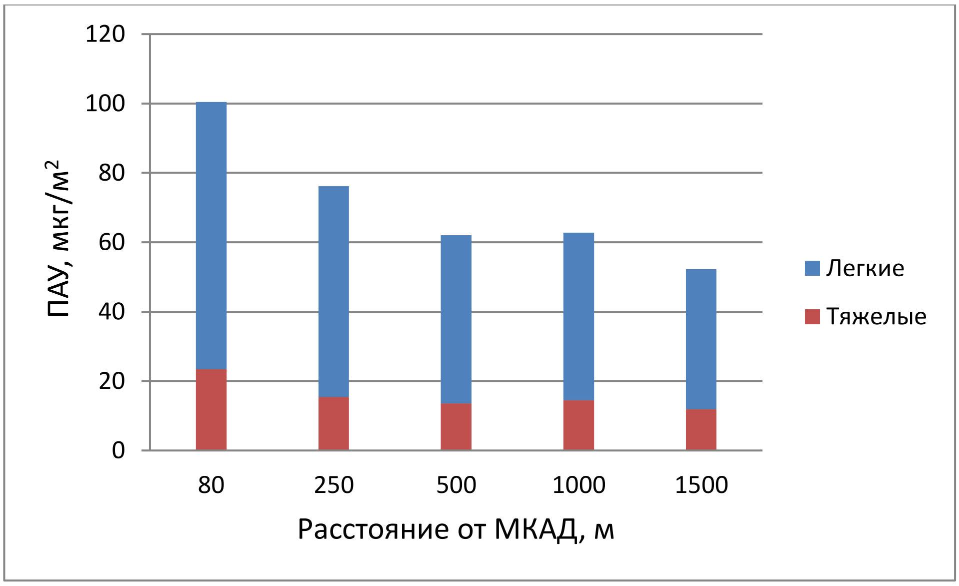
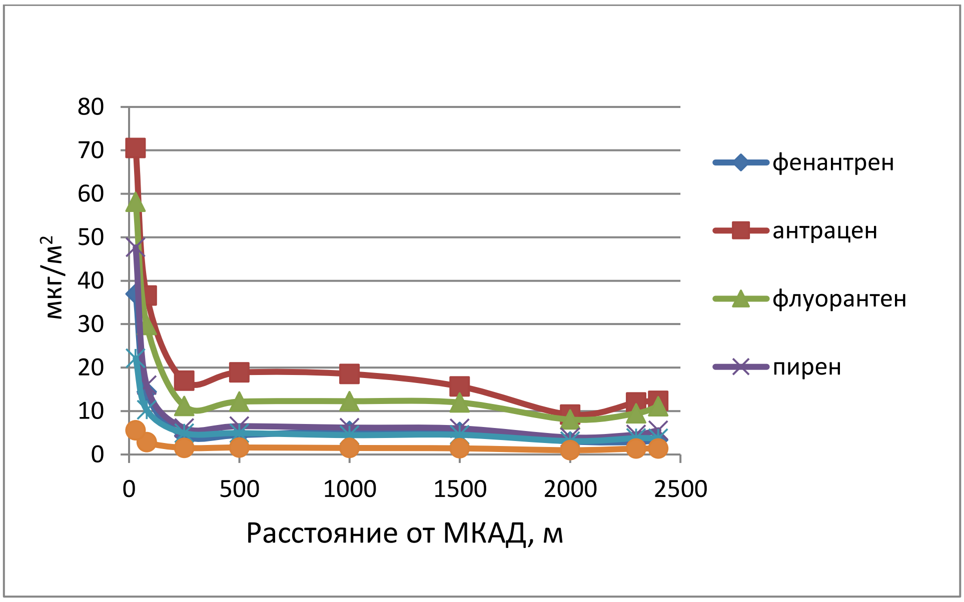
б) 

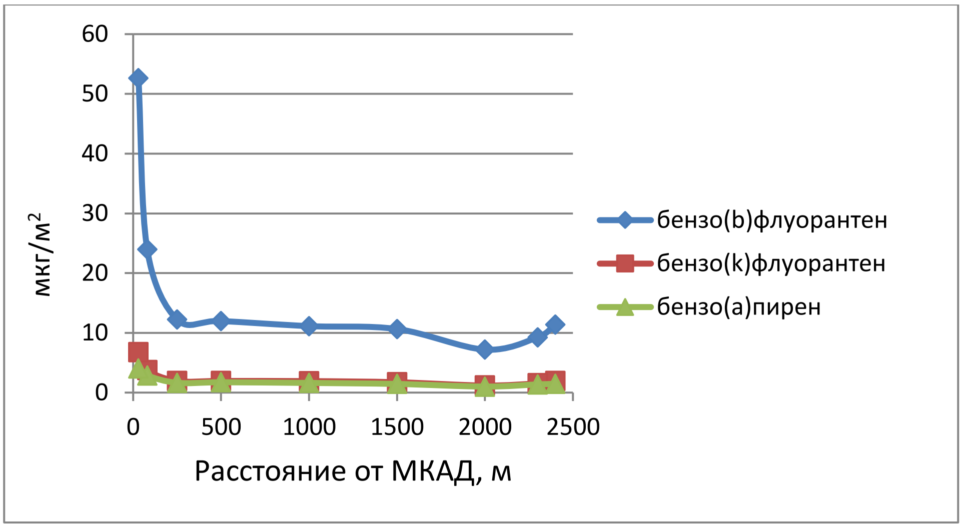
Рисунок 8. Поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период: а) под листопадными сообществами; б) под хвойными сообществами

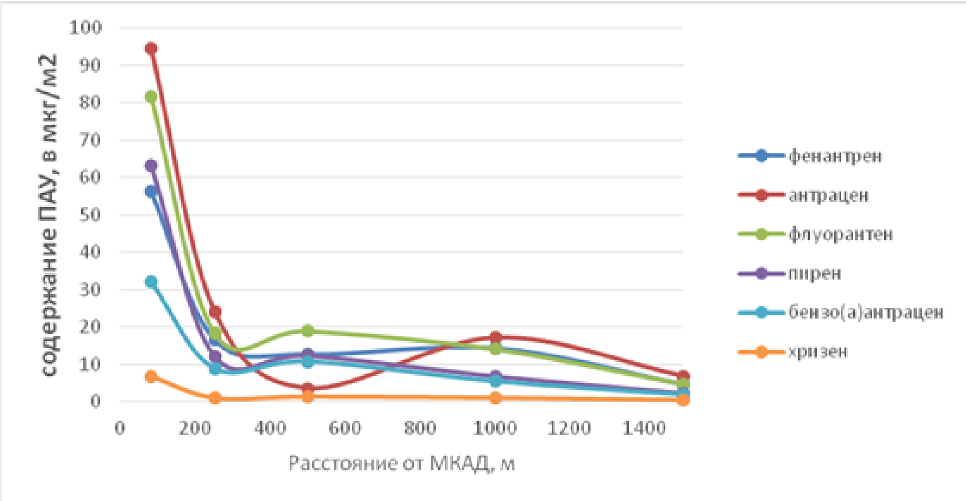
Область повышенного накопления в снеге 5-6-кольчатых полиаренов, как и пыли, расположена в пределах 100-метровой зоны, прилегающей к МКАД (рис. 8). Однако снижение уровня выпадений тяжелых ПАУ при удалении от дороги происходит не так заметно, как в случае всего твердого осадка, что связано с относительным обогащением пылевых частиц аэрозоля, переносимых на дальние расстояния, высокомолекулярными гомологами ПАУ, в том числе и бенз(а)піреном.

Распределение поступлений «тяжелых» ПАУ с твердыми частицами на территории парка, находящейся вне зоны сильного влияния магистрали, достаточно равномерно (рис. 8). Сходные значения, полученные для листопадных и еловых сообществ, демонстрируют слабое влияние защищенности растительным пологом почвенной поверхности на осаждение частиц со снегом, содержащих ПАУ.

С твердыми аэральными выпадениями среди «легких» ПАУ больше всего поступает антрацен, флуорантен, фенантрен и пирен; среди «тяжелых» - бенз(b)флуорантен (рис. 9, приложение 6).



А)


Б)


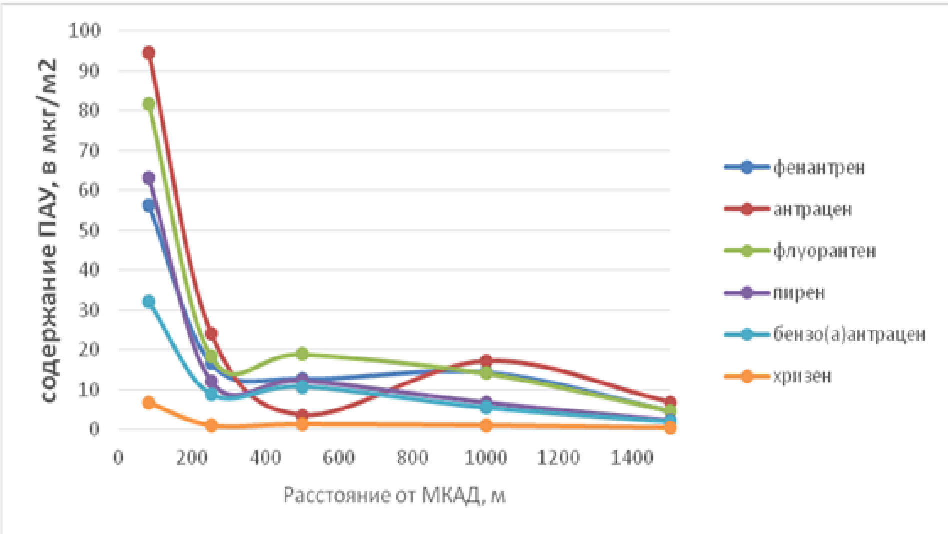


Рисунок 9. Изменение поступления индивидуальных ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период в зависимости от расстояния МКАД, мкг/м^2 А) под листопадными Б) под хвойными

Среди «легких» ПАУ наибольшее относительное содержание характерно для антрацена – 23-25%, флуорантен составляет 18-19% от общего количества.Вклад остальных «легких» полиаренов примерно одинаков, кроме бенз(а)антрацена и хризена – относительное содержание которых составляет 8 и 2%. Среди «тяжелых» полиаренов доля бензо(б)флуорантена наибольшая – до 15%. Относительное содержание индивидуальных полиаренов в твердых аэральных выпадениях под лиственными и хвойными растительными сообществами не отличается (рис. 10).

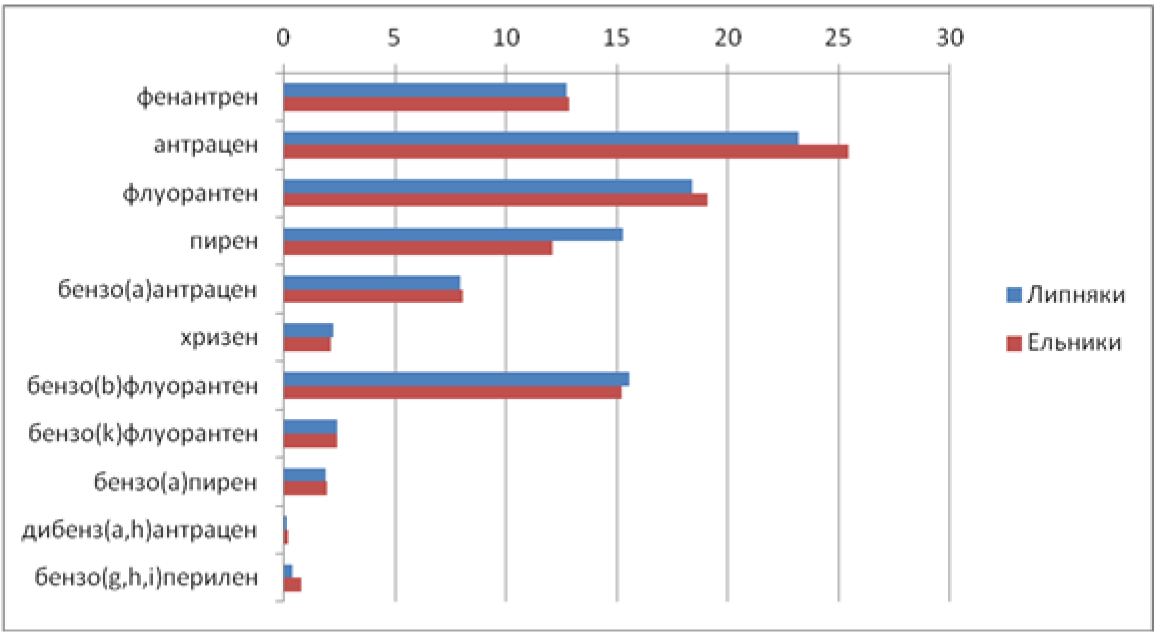


Рисунок 10. Состав ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период под листопадными и хвойными сообществами, % от суммы ПАУ

Особенно заметным оказалось повышение относительного содержания в твердой фракции снега антрацена, имеющего, по-видимому, исключительно техногенное происхождение, так как его содержание было весьма незначительным в снеге, отобранном на фоновой лесной территории (рис. 11). В работе Е.В. Шаповал по результатам проведенных исследований выхлопных газов автомобилей, как оборудованных, так и не оборудованных каталитическим нейтрализатором, показали наличие в них ПАУ, в состав которых входит антрацен и их метилпроизводные.

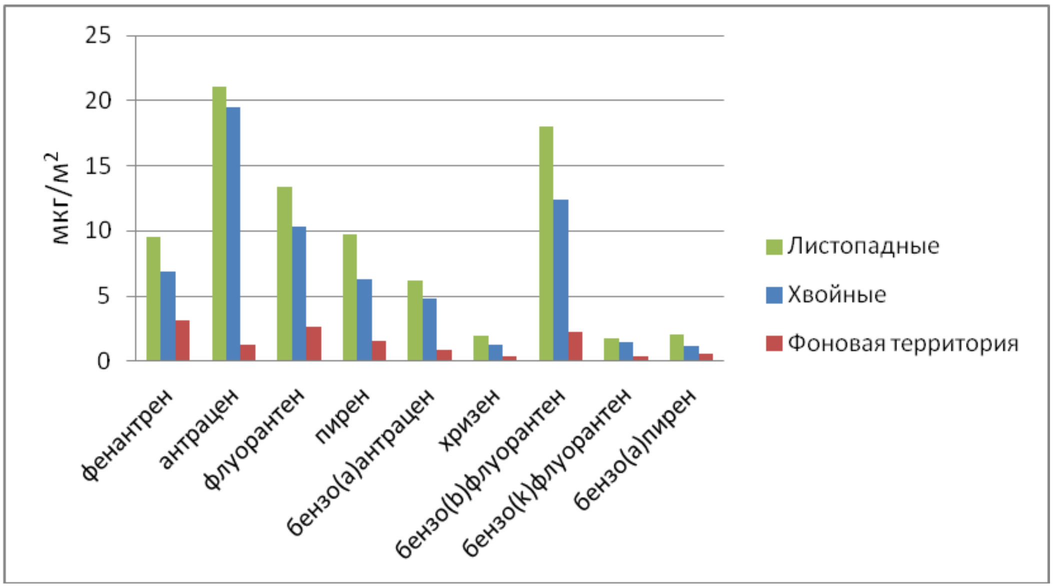
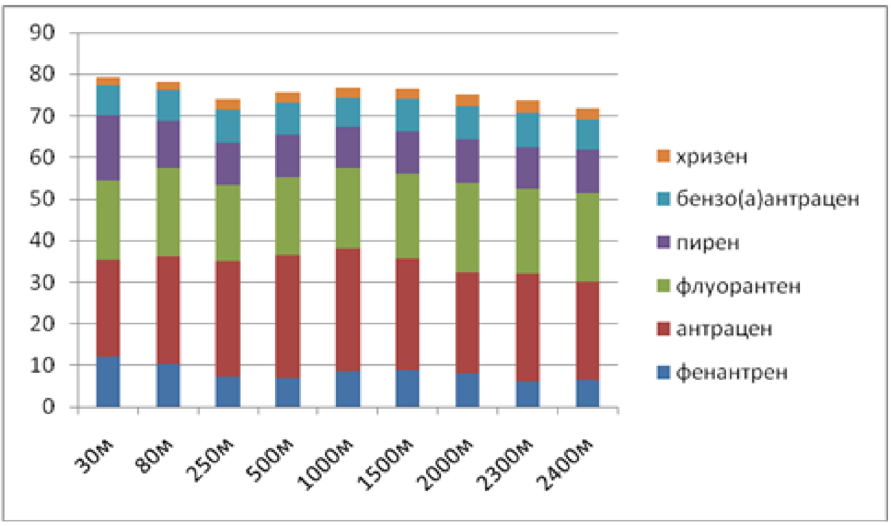


Рисунок 11. Состав ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период под листопадными и хвойными сообществами в НП «Лосиный остров» и на фоновой территории

Относительное содержание «легких» ПАУ в снеге по мере удаления от МКАД несколько уменьшается (рис. 12), в то время как «тяжелых» ПАУ – увеличивается.

А)


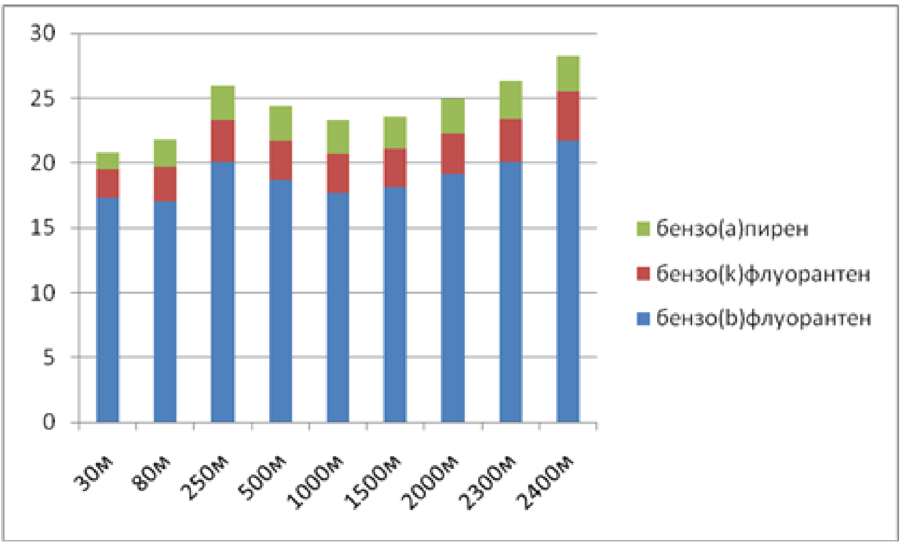
Б) 

Рисунок 12. Состав ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период под листопадными сообществами, % от суммы А) для «легких» ПАУ, Б) для «тяжелых» ПАУ

3.2.2 ПАУ в растительном опаде

Для исследованных площадок под лиственными породами основное поступление на поверхность почвы сорбированных листьями ПАУ происходит в листопадный период вместе с опадом, который полностью минерализуется до следующего вегетационного сезона. Количество поступающего осенью опада для выбранных площадок было 100-190 г/м^2 (табл. 15). Для хвойных парцелл происходит равномерное поступление опада в течение всего сезона и его накопление в подстилочном горизонте нижележащих почв. В результате формируется слаборазложенный подстилочный горизонт разной мощности (3-7см). Запасы подстилки варьировали в пределах 250-760 г/м^2 (табл. 15). Варьирование связано, по-видимому, с неоднородностью почвообразующих пород и условий увлажнения на исследованных участках.

Таблица 15. Запасы подстилки/опада

№	Расстояние от МКАД, м	Растительное сообщество	Запасы подстилки/ опада*, г/м^2
П-40	30	Липняк	102
П-41а	80	Липняк	166
П-41б	80	Мертвопокровный ельник	251
П-42а	250	Средневозрастной липняк во втором ярусе – лещина, клен	143
П-42б	250	Мертвопокровный зрелый ельник	765
П-43а	500	Зрелый липняк	178
П-43б	500	Мертвопокровный ельник	458
П-44а	1000	Липняк во втором ярусе – клен	156
П-44б	1000	Мертвопокровный зрелый ельник	430

№	Расстояние от МКАД, м	Растительное сообщество	Запасы подстилки/ опада*, г/м^2
П-45а	1500	Средневозрастной липняк во втором ярусе – лещина	131
П-45б	1500	Мертвопокровный ельник	418
П-46	2000	Зрелый липняк во втором ярусе – лещина	156
П-47	2300	Зрелый липняк	193

* - Запасы подстилки определены в хвойных парцеллах, запасы опада в листопадных парцеллах

Измерения площади листовых пластин листьев липы, отобранных на разном расстоянии от МКАД, показали, что площадь листьев незначительно варьировала от 30 до 53 см^2. Средняя площадь листьев липы в Национальном парке «Лосиный остров» - 45 см^2. Величина сухой биомассы листа составляла в среднем 0.3 г.

В составе ПАУ листьев липы наблюдалось повышенное, по сравнению с опадом, содержание легких аренов – фенантрена, антрацена и флуорантена – при сходном содержании более тяжелых гомологов (рис. 13). Полученные различия связаны, по-видимому, с экстрагированием ПАУ, содержащихся в восковой кутикуле живых листьев, в дополнение к ПАУ, локализованным на листовой поверхности в составе твердых частиц. При анализе мертвого опада вклад растительных восков в количество экстрагированных ПАУ существенно меньше.

Состав ПАУ в подстилке мертвопокровных ельников в целом сходен с составом опада липняков (рис. 13). Основным отличием является более высокий вклад в состав полиаренов хвойного опада низкомолекулярных гомологов, среди которых, в отличие от листового материала, преобладает не фенантрен, а флуорантен – содержание его в подстилках было в 2 раза выше, чем в опаде липы. Возможно, накопление флуорантена происходит, в том числе, за счет преобразования сходных с этим гомологом структур, поступающих в подстилки в составе компонентов смолы хвойных деревьев (Суздорф и др., 1994).

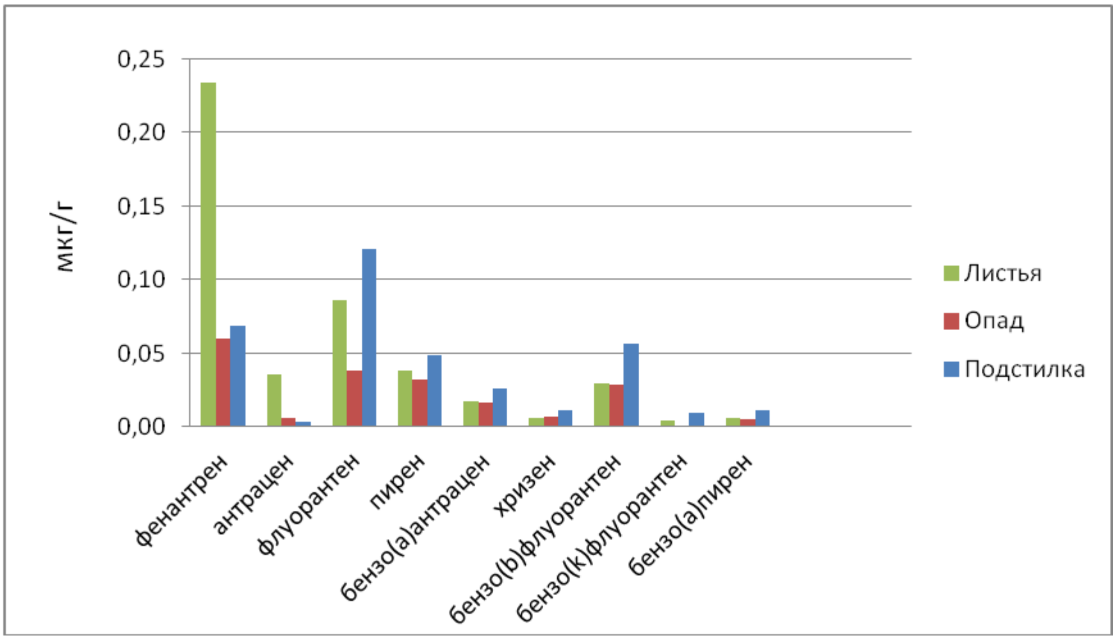


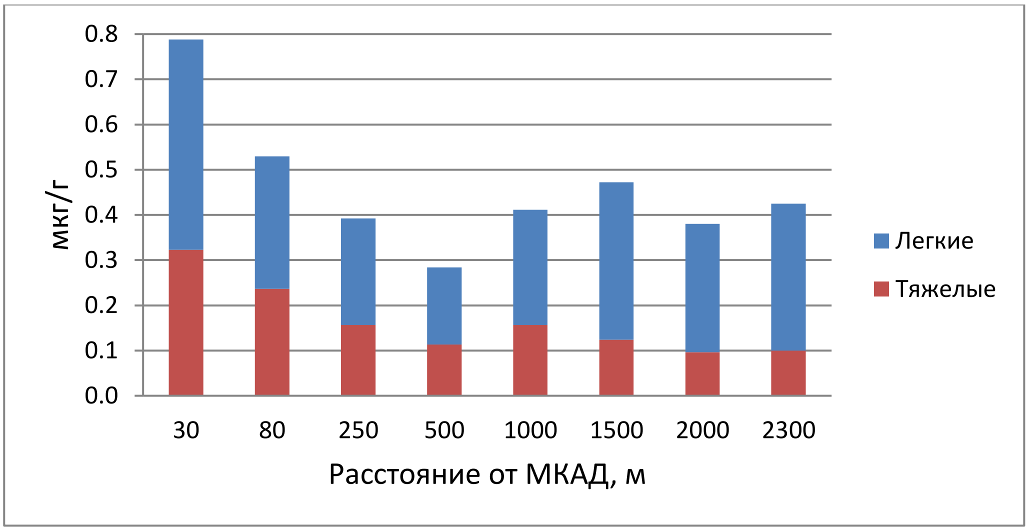
Рисунок 13. Состав ПАУ растительного материала липняков и ельников НП «Лосиный остров»

Содержащиеся в восковой кутикуле низкомолекулярные ПАУ могут, как синтезироваться самими растениями, так и поглощаться через листовую поверхность из воздуха в результате газообмена (Яковлева, 2009). Известно, что в летний период при повышении температуры окружающего воздуха низкомолекулярные ПАУ частично или полностью переходят из твердого аэрозоля в газовую фазу атмосферы, откуда поступают в листья и хвою деревьев (Горшков и др., 2006). Для живых растений сложно разделить вклад «легких» ПАУ техногенного происхождения, поступающих из атмосферы, и биогенных, синтезированных в процессе роста. Более надежным индикатором загрязнения могут служить «тяжелые» 5-6-кольчатые ПАУ, синтез которых в растениях протекает в весьма слабой степени (Нейман, 1979).

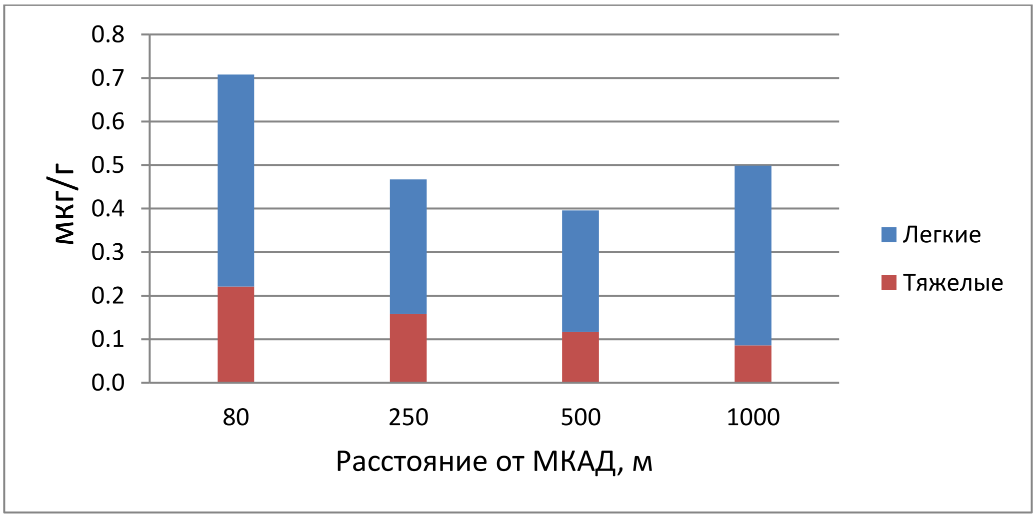
Полученные данные позволяют выявить тенденцию в накоплении ПАУ кронами лиственных деревьев. (рис. 14а). Максимальная аккумуляция аэральных выпадений «тяжелых» ПАУ на поверхности листьев происходит в стометровой зоне, примыкающей к МКАД (0,24-0,32 мкг/г) (рис. 14а). При удалении от дорожного полотна содержание тяжелых ПАУ в опаде лиственных парцелл сначала снижается, достигая минимума (0,1 мкг/г) в 500 м от дороги, затем наблюдается повышение этого показателя. Изученные объекты, расположенные на расстоянии 1000-2000 м от МКАД, уже не испытывают заметного техногенного влияния автомагистрали, но, вероятно, находятся в зоне аэрального распространения выбросов, переносимых с прилегающей к парку территории городской застройки. На иной тип источника загрязнения в этих точках указывает повышение содержания низкомолекулярных ПАУ в листовом опаде.

Таким образом, содержание в опаде липы 5-6-кольчатых ПАУ возрастает при повышении уровня техногенной нагрузки на фитоценоз. По содержанию наиболее канцерогенного гомолога (бензо(а)пирена) полученные для Национального парка «Лосиный остров» результаты (0,004-0,019 мкг/г сухого веса) хорошо согласуются с приводимыми в литературе (Слепян и др., 1979) для опадающих листьев с деревьев липы, растущих в черте города. С учетом массы листового опада в исследованных липняковых парцеллах поступление «тяжелых» ПАУ на поверхность почвы по окончанию вегетационного сезона для большей части исследованной территории парка составляет в среднем примерно 15 мкгПАУ/м^2 (рис. 14, а). В прилегающей к МКАД стометровой зоне этот показатель увеличивается в 2 раза.

Суммарное содержание ПАУ в подстилках ельников так же, как и в опаде липняков, снижается по мере удаления от МКАД (рис. 14, б). На расстоянии 500 м от дороги этот показатель снижается примерно в 2 раза, по сравнению с точкой, расположенной вблизи магистрали (0,38 мкг/г и 0,71 мкг/г соответственно). Затем наблюдалось некоторое повышение содержания ПАУ (0,49 мкг/г) за счет увеличения содержания «легких» гомологов. Примечательным является тот факт, что, несмотря на более длительный срок накопления органического вещества в хвойной подстилке по сравнению с лиственным опадом, суммарное содержание полиаренов в подстилке ельников выше всего в 1,5 раза, чем под липняками, расположенными на том же расстоянии от МКАД. Это, с одной стороны, может указывать на высокую скорость деградации ПАУ и их выноса из подстилочного горизонта, с другой стороны, на более низкий уровень поступления на поверхность почвы поллютантов с хвойным опадом в еловых сообществах.



а)



б)

Рисунок 14. Содержание ПАУ в опаде липы (а) и подстилке ельника (б).

В целом, для липняковых парцелл парка получены сходные величины аэрального поступления тяжелых ПАУ на почвенную поверхность с растительным опадом и после снеготаяния (рис. 15).

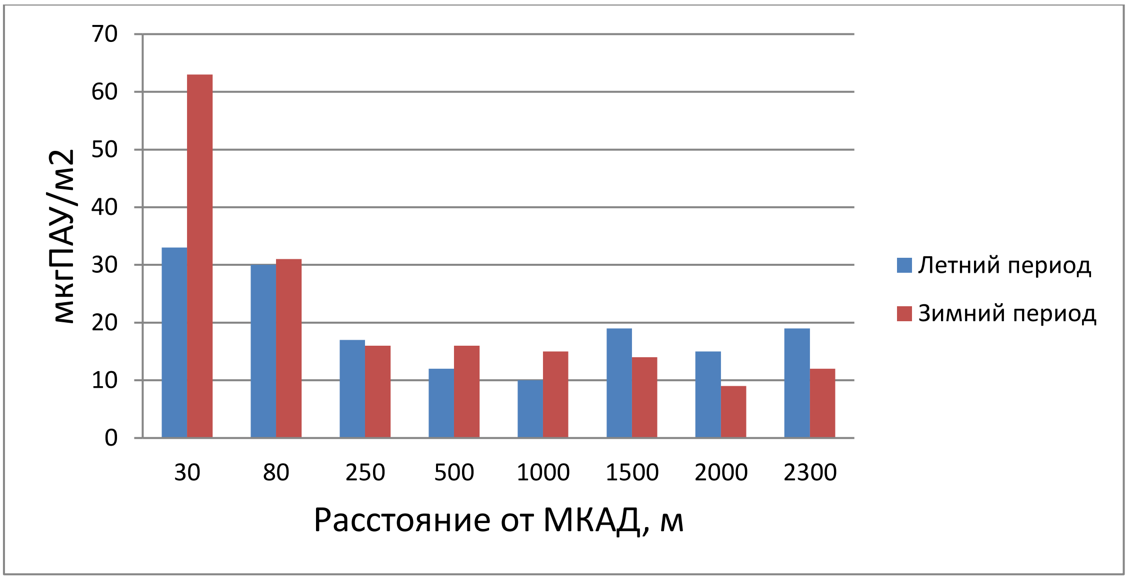


Рисунок 15. Поступление тяжелых ПАУ за зимний и вегетационный период (для листопадных), гПАУ/м^2

Исключением были точка отбора, расположенная наиболее близко к источнику загрязнения – в 30 м от МКАД. В расположенном рядом с автомагистралью липняке, напротив, накопление тяжелых ПАУ в снежном покрове происходило вдвое интенсивнее, чем в листовом опаде после вегетационного периода. Это связано с дополнительным вкладом в транспортные выбросы оседающих близко от полотна дороги крупных частиц, доля которых повышается зимой в связи с применением антигололедных реагентов.

3.2.3 Свойства почв

Изученные почвы Национального парка «Лосиный остров» характеризуются повышенным содержанием углерода и азота, нетипичным для естественных почв лесной зоны (табл. 16). Обогащение почв под древесной растительностью элементами минерального питания в городских условиях происходит за счет дополнительного техногенного вклада атмосферных выпадений (Смит, 1985). Почвы, сформированные под ельниками, отличаются сильнокислой и кислой реакцией среды, почвы под липняками имеют средне- и слабокислую реакцию (табл. 16). Повышение pH под лиственными сообществами связано с характером опада, обогащенного щелочными и щелочноземельными катионами.

Таблица 16. Свойства верхних горизонтов почв

Расстояние от МКАД, м	pH	C, %	N, %
Для лиственных растительных сообществ			
30	6,4	8,0	0,5
80	5,7	5,9	0,4
250	5,1	4,2	0,3
500	5,5	4,5	0,3
1000	4,7	6,3	0,5
Для хвойных растительных сообществ			
30	5,5	5,4	0,3
80	4,3	7,6	0,4
250	4,4	8,1	0,9
500	4,1	5,0	0,3
1000	4,1	4,8	0,3

3.2.4 Содержание ПАУ в почвах

Согласно полученным данным, сумма идентифицированных ПАУ в почвах под листопадными сообществами варьирует от 0,16 до 0,81 мкг/г в образцах, отобранных осенью, и от 0,28 до 2,54 мкг/г – весной. Для почв хвойных растительных сообществ аналогичный показатель варьирует осенью - от 0,37 до 1,13 мкг/г и весной - от 0,43 до 0,87 мкг/г. Таким образом, содержание полиаренов в почве под листопадными сообществами весной несколько выше, чем осенью, в то время как под хвойными значимо не отличается. Среднее суммарное содержание ПАУ в почвах, отобранных на территории Национального парка «Лосиный остров» в разное время года, под листопадными сообществами составляет 0,41 и 0,77 мкг/г осенью и весной соответственно, под хвойными - 0,62 и 0,55 мкг/г (табл. 17, приложение 8).

Таблица 17. Содержание ПАУ в верхних горизонтах почв разных растительных сообществ, мкг/г

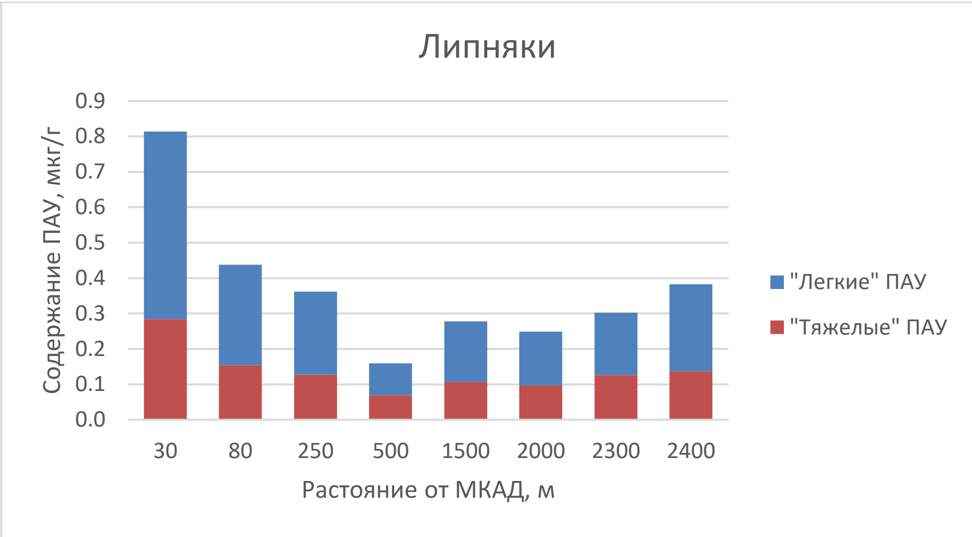
а) под листопадными

Соединение	Осень		Весна	
	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	0,022	0,006-0,056	0,065	0,007-0,235
антрацен	0,079	0,028-0,160	0,132	0,057-0,430
флуорантен	0,084	0,031-0,165	0,193	0,060-0,693
пирен	0,020	0,004-0,061	0,057	0,009-0,221
бензо(а)антрацен	0,041	0,018-0,078	0,067	0,031-0,218
хризен	0,008	0,002-0,020	0,018	0,004-0,068
бензо(b)флуорантен	0,100	0,048-0,182	0,142	0,071-0,425
бензо(k)флуорантен	0,015	0,007-0,027	0,025	0,011-0,075
бензо(а)пирен	0,007	0,002-0,021	0,015	0,003-0,061
дибенз(a,h)антрацен	0,005	0,002-0,011	0,009	0,004-0,028
бензо(g,h,i)перилен	0,025	0,010-0,050	0,043	0,020-0,087
Сумма ПАУ	**0,405**	**0,159-0,813**	**0,766**	**0,280-2,541**
Сумма «легких» ПАУ	**0,254**	**0,091-0,530**	**0,532**	**0,169-1,865**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**0,151**	**0,069-0,284**	**0,234**	**0,111-0,676**

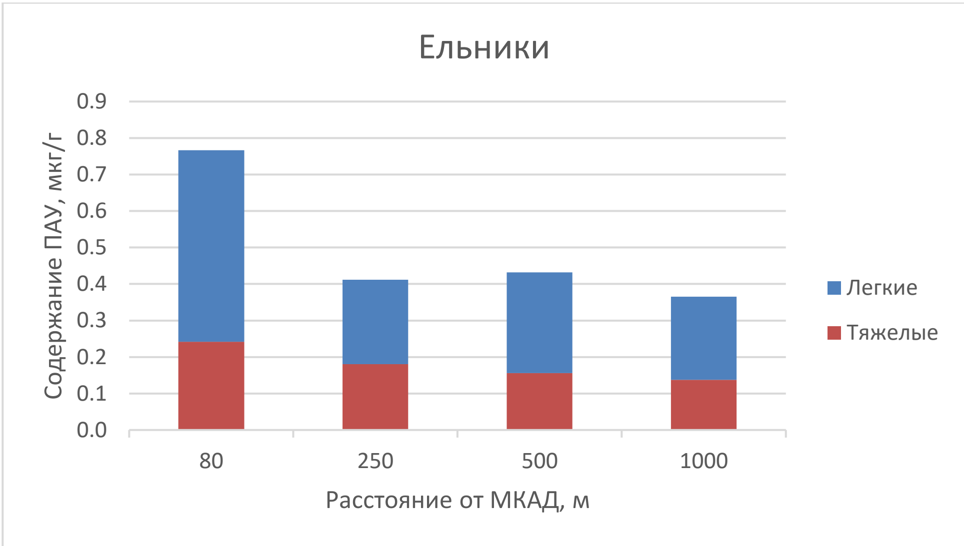
б) под хвойными

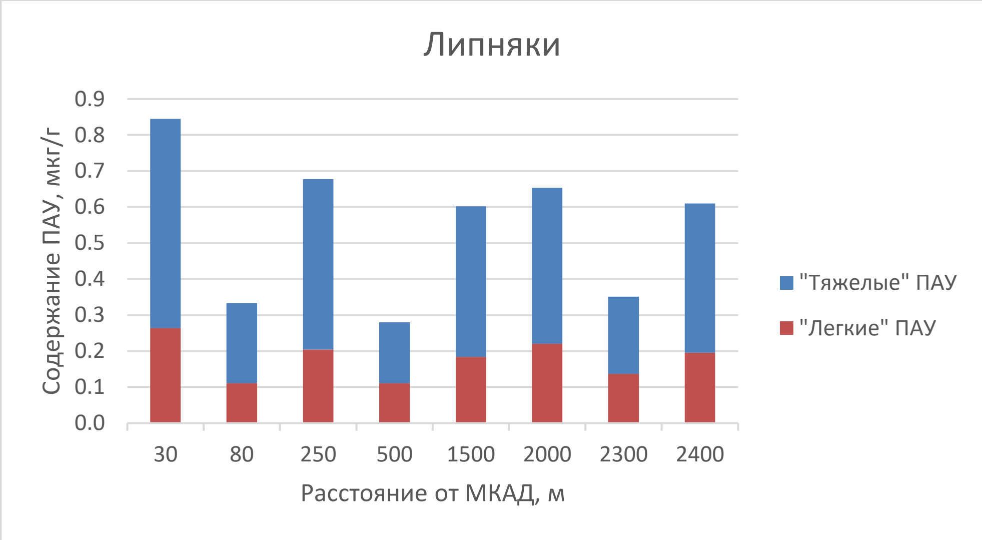
Соединение	Осень		Весна	
	среднее	диапазон	среднее	диапазон
фенантрен	0,048	0,040-0,058	0,071	0,059-0,079
антрацен	0,078	0,010-0,216	0,079	0,027-0,157
флуорантен	0,128	0,053-0,239	0,084	0,037-0,190
пирен	0,051	0,042-0,058	0,038	0,019-0,069
бензо(a)антрацен	0,079	0,051-0,143	0,052	0,026-0,089
хризен	0,012	0,010-0,014	0,031	0,019-0,040
бензо(b)флуорантен	0,163	0,103-0,269	0,081	0,039-0,159
бензо(k)флуорантен	0,017	0,009-0,035	0,050	0,027-0,081
бензо(a)пирен	0,010	0,004-0,016	0,011	0,001-0,016
дибенз(a,h)антрацен	0,005	0,001-0,015	0,013	0,006-0,024
бензо(g,h,i)перилен	0,030	0,011-0,080	0,036	0,014-0,057
Сумма ПАУ	**0,622**	**0,366-1,133**	**0,546**	**0,431-0,871**
Сумма «легких» ПАУ	**0,397**	**0,228-0,724**	**0,354**	**0,253-0,601**
Сумма «тяжелых» ПАУ	**0,225**	**0,137-0,408**	**0,191**	**0,144-0,271**

Общее содержание полиаренов в почве Национального парка «Лосиный остров» уменьшается по мере удаления от МКАД. Высокое содержание (0,88-0,76 мкг/г) отмечается в пробе почвы, отобранной в 30 м от МКАД, в остальных точках количество ПАУ уменьшается в 2-5 раз. Соотношение высоко- и низкомолекулярных ПАУ в почвах, отобранных в разное время года, отличается: весной содержание «легких» полиаренов в почвах в 1,5-3 раза выше, чем «тяжелых», осенью данное соотношение в среднем составляет 1,5 (рис. 16). Сопоставив полученные данные с приводимыми для природных фоновых территорий можно сказать, что концентрация ПАУ в почвах Национального парка «Лосиный остров» превышает фоновые значения в 1,5–2 раза (Габов и др., 2007).



А)





Б)

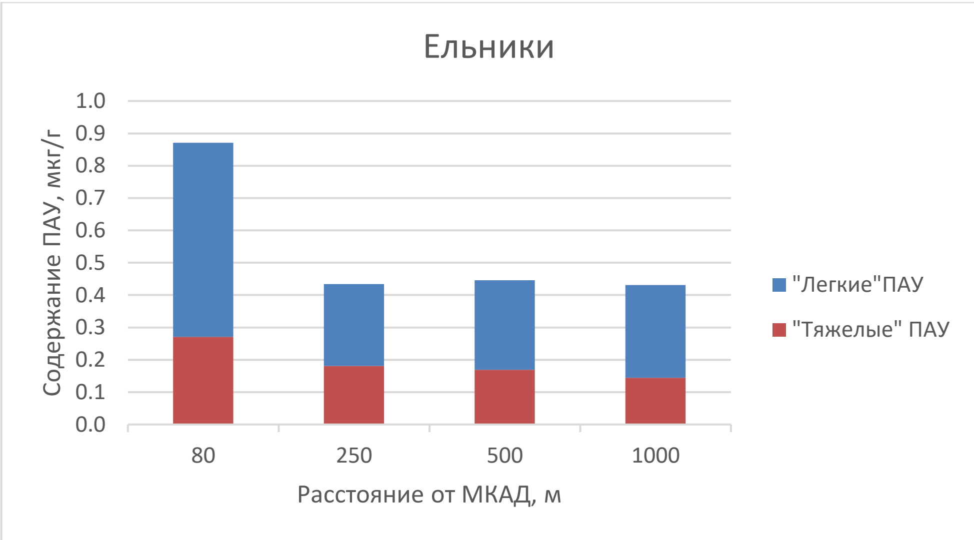


Рисунок 16 Содержание ПАУ в верхних горизонтах почв разных растительных сообществ, отобранных: А) осенью Б) весной

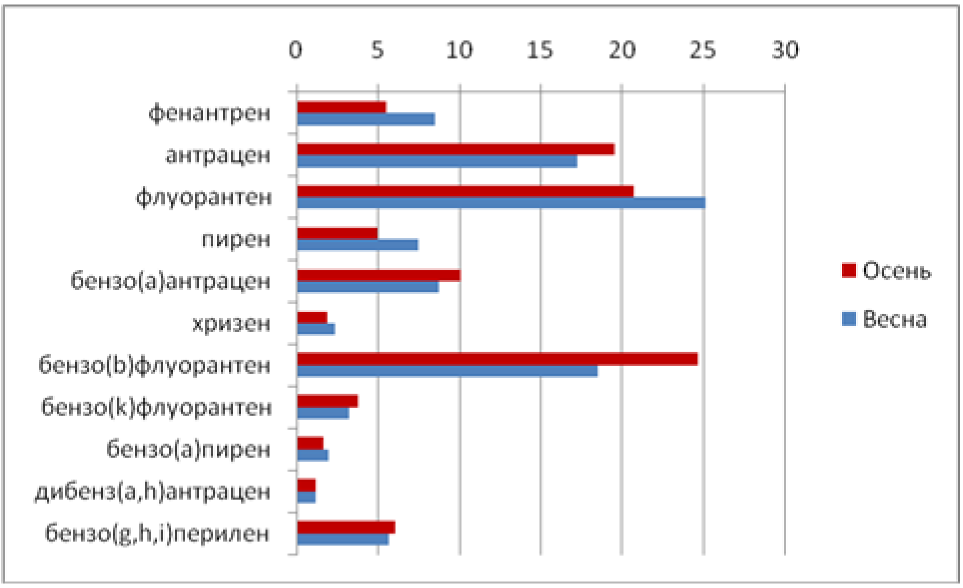
В составе ПАУ преобладают «легкие» полиарены – антрацен и флуорантен (рис. 17). На них приходится 40-42% от общего содержания ПАУ в почве под листопадными растительными сообществами и 30-33% под хвойными. Среди «легких» ПАУ велика также доля бензо(а)антрацена – до 10% и 13% под листопадными и хвойными растительными сообществами соответственно. Почвы хвойных растительных сообществ, характеризуются, кроме того, большим содержанием фенантрена (рис. 17), его доля составляет 9-13%, что в 1,5 раза больше, чем в почвах липняков. Исследование почв хвойных лесов показало высокое содержание в них 1-метил-7-изопропилфенантрена и 1,7-диметилфенантрена, образование которых происходит в результате превращения абиетиновой и пимаровой кислот – компонентов смолы хвойных деревьев (Суздорф и др., 1994). Меньше всего среди «легких» ПАУ содержится хризена – до 2% под липняками и до 6% под ельниками.

На долю «тяжелых» ПАУ в почвах приходится примерно 1/3 от общего содержания. Среди них наиболее представлен бензо(б)флуорантен – до 25-27% (рис. 17), также преобладает бензо(g,h,i)перилен с долей 5-7%. Относительное содержание дибенз(a,h)антрацен наименьшая – 1-2%.

Доля бенз(а)пирена в составе ПАУ близка для всех изученных почв и составляет около 2%. Среднее содержание данного полиарена в почвах, отобранных под листопадными сообществами осенью составляет 0,007 мкг/г, что в два раза меньше, чем для почв, отобранных весной. Под хвойными растительными сообществами среднее содержание не меняется – 0,011 мкг/г.

В почвах ельников (рис. 17, Б) участие отдельных соединений в составе ПАУ изменяется до 3 раз: среднее содержание бензо(b)флуорантена весной в 2 раза меньше, чем осенью; хризена, бензо(k)флуорантена и дибенз(a,h)антрацена – в 3 раза больше. Возможно такое отличие из-за круглогодично поступающего опада в хвойных растительных сообществах.

А)



Б)

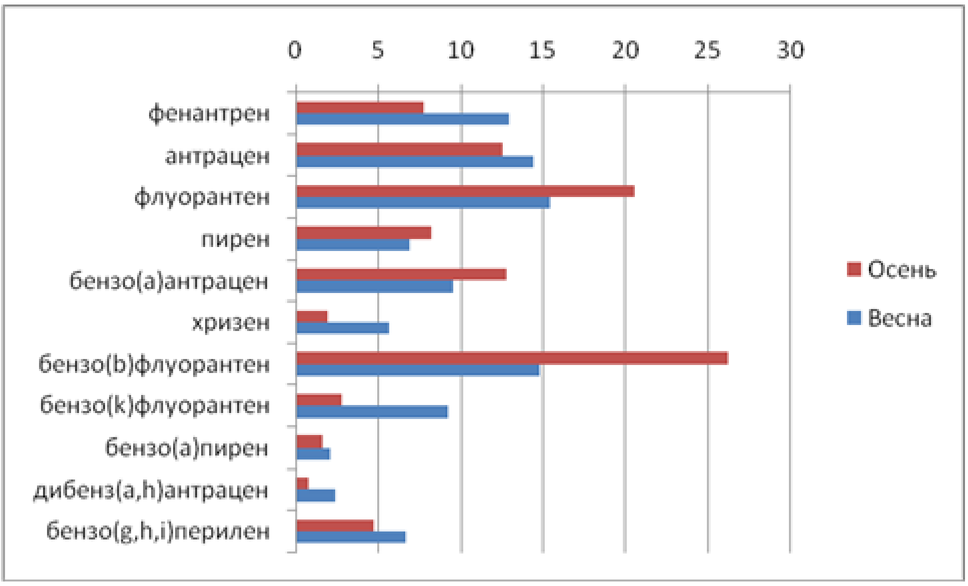
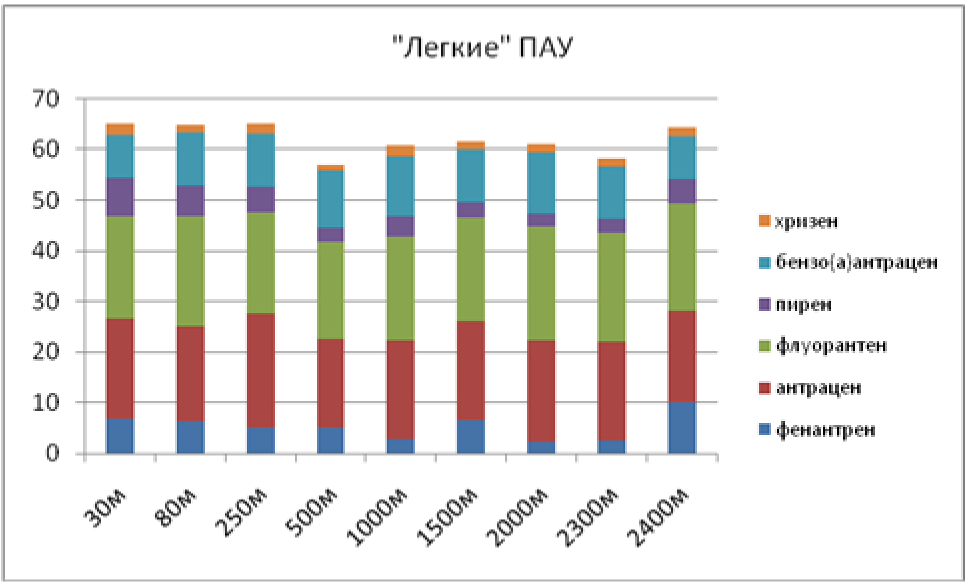
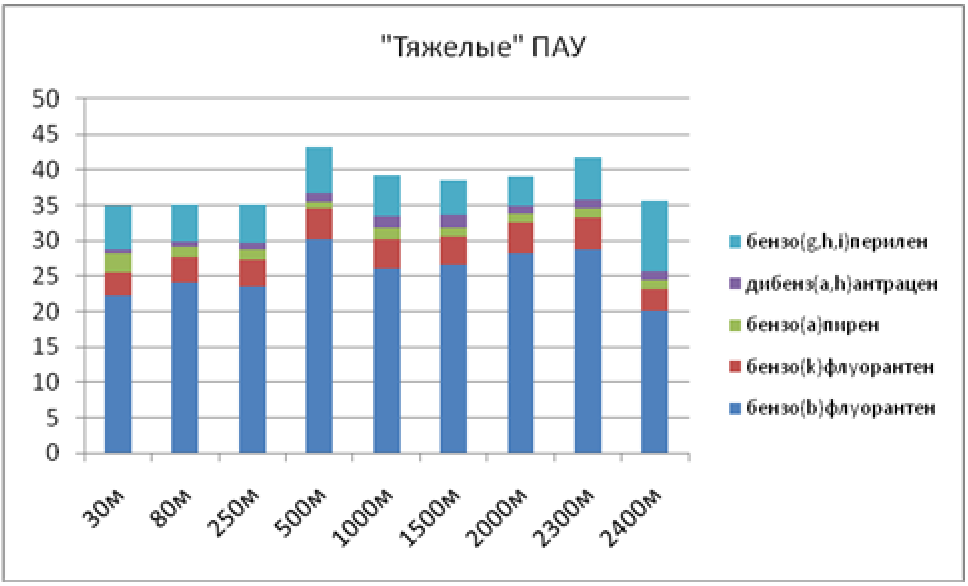
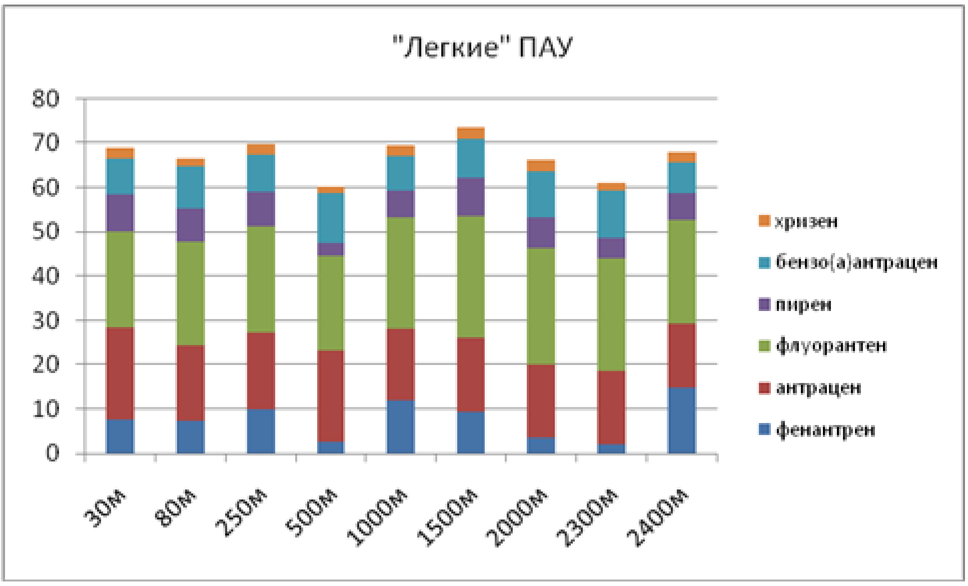


Рисунок 17. Состав ПАУ в почвах, отобранных осенью и весной, под листопадными (А) и хвойными (Б) растительными сообществами, % от суммы ПАУ.

Для листопадных растительных сообществ состав ПАУ в каждой точке по мере увеличения расстояния от МКАД меняются слабо (рис. 18). Для почв хвойных растительных сообществ относительное содержание полиаренов в общем составе неравномерно и характеризуется более высоким естественным варьированием чем для лиственных (рис. 19).


"Легкие" ПАУ
70
60
50
40
30
20
10
0
30м
80м
250м
500м
1000м
1500м
2000м
2300м
2400м
хризен
бензо(а)антрацен
пирен
флуорантен
антрацен
фенантрен
А)


"Тяжелые" ПАУ
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
30м
80м
250м
500м
1000м
1500м
2000м
2300м
2400м
бензо(g,h,i)перилен
дибенз(a,h)антрацен
бензо(a)пирен
бензо(k)флуорантен
бензо(b)флуорантен


"Легкие" ПАУ
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30м
80м
250м
500м
1000м
1500м
2000м
2300м
2400м
хризен
бензо(а)антрацен
пирен
флуорантен
антрацен
фенантрен
Б)

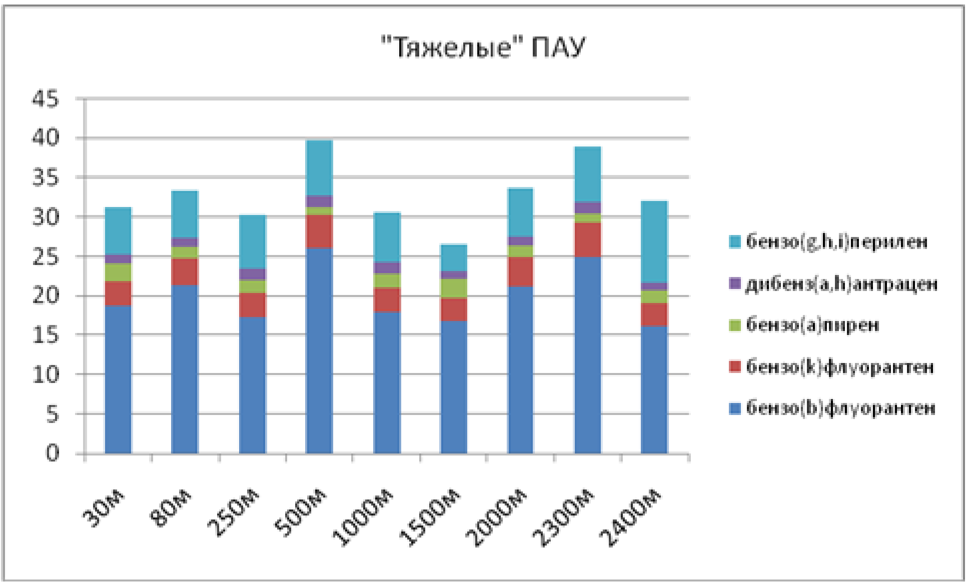
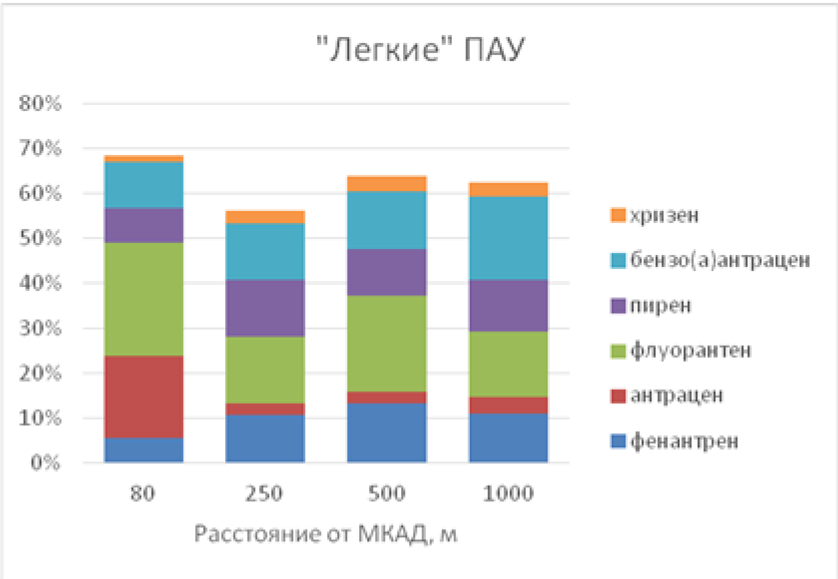
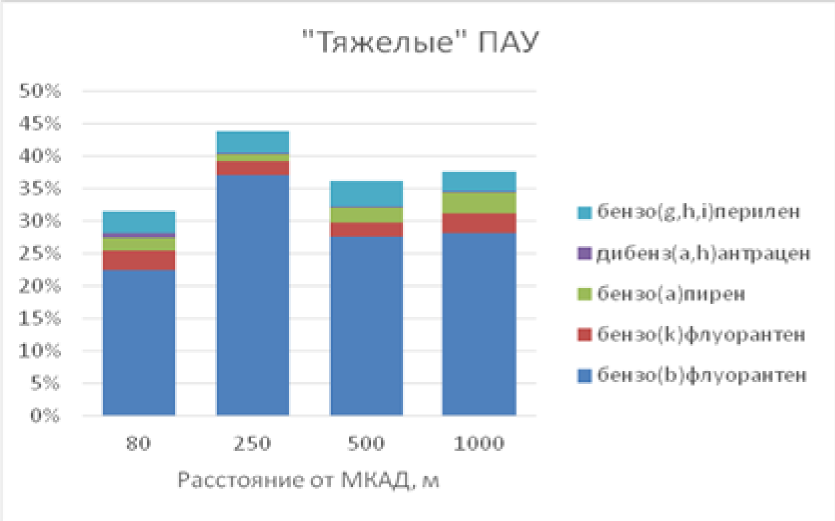
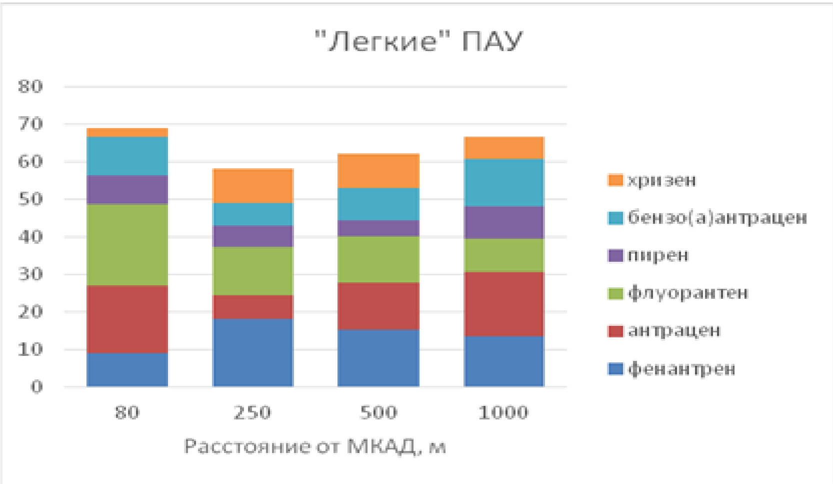


Рисунок 18. Изменение состава ПАУ в почвах в зависимости от расстояния от МКАД, отобранных А) осенью и Б) весной, под листопадными растительными сообществами, % от суммы ПАУ



А)





Б)

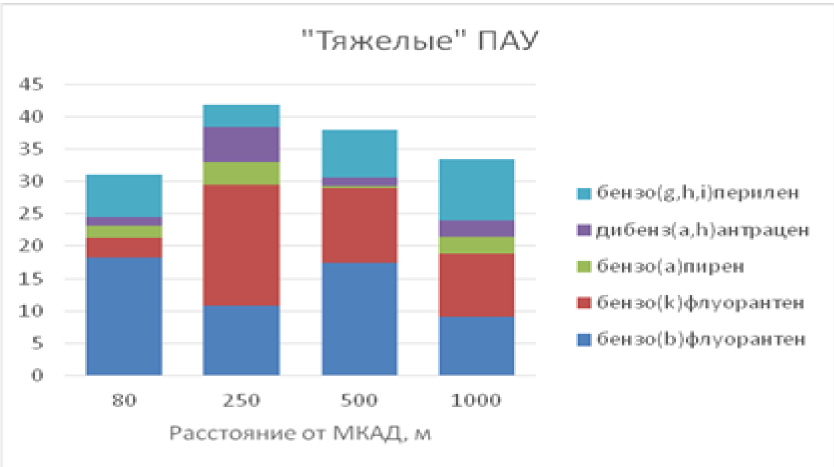


Рисунок 19. Изменение состава ПАУ в почвах в зависимости от расстояния от МКАД, отобранных А) осенью и Б) весной, под хвойными растительными сообществами, % от суммы ПАУ

3.3 Анализ распределения ПАУ в городских экосистемах

Район исследований в ВАО г. Москвы представляет собой два участка, отличающихся по характеру преимущественных источников загрязнения. Первый район это застроенная территория, характеризующаяся наличием множественных линейных источников загрязнения – городских улиц с разной интенсивностью транспортного потока. Второй – территория Национального парка «Лосиный остров», где основным источником полиаренов является Московская кольцевая автодорога. Непосредственное влияние МКАД испытывают территории, расположенные в полосе до 100 м от магистрали. Почвы на территории парка, в отличие от городских, естественные со слабой степенью антропогенной нарушенности.

Суммарное поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями на застроенной территории образует ряд по функциональным зонам: природно-рекреационная<общественно-деловая<транспортная (рис. 20). При этом уровень поступления полиаренов для транспортной функциональной зоны существенно (в 2-2,5 раза) выше, чем для других зон. Природно-рекреационная и общественно-деловая функциональная зоны характеризуются меньшими значениями медианы и вариабельностью по сравнению с транспортной. Для последней наличие дорог с большей интенсивностью транспортного потока обуславливает высокое поступление полиаренов со снегом (рис. 20).

По статистическим показателям, описывающим поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями, территория Национального парка удаленная от МКАД, природно-рекреационная и общественно-деловая функциональные зоны застроенной территории не отличаются (медианы 48, 55, 50 мкг/м^2 соответственно). Это говорит о сходном уровне загрязнении атмосферного воздуха на исследованной территории ВАО г. Москвы. Выделяются транспортная функциональная зона и полоса шириной 100 метров, прилегающая к полотну МКАД. Среднее поступление полиаренов с твердой фракцией снега в этих зонах в 3-5 раза выше, чем на остальной территории. При этом в 100-метровой зоне влияния МКАД поступление полиаренов в 2 раза выше, чем в транспортной функциональной зоне застроенной территории, что, по-видимому, связано с высокой интенсивностью автомобильного движения на данной магистрали. Среднесуточная интенсивность движения на МКАДе составляет около 97 тыс. автомобилей. В пределах застроенной территории средняя транспортная активность для исследованных дорог значительно ниже, за исключением Щелковского шоссе, где интенсивность движения соизмерима со МКАДом – 47 тыс. автомобилей (по данным ЦОДД).

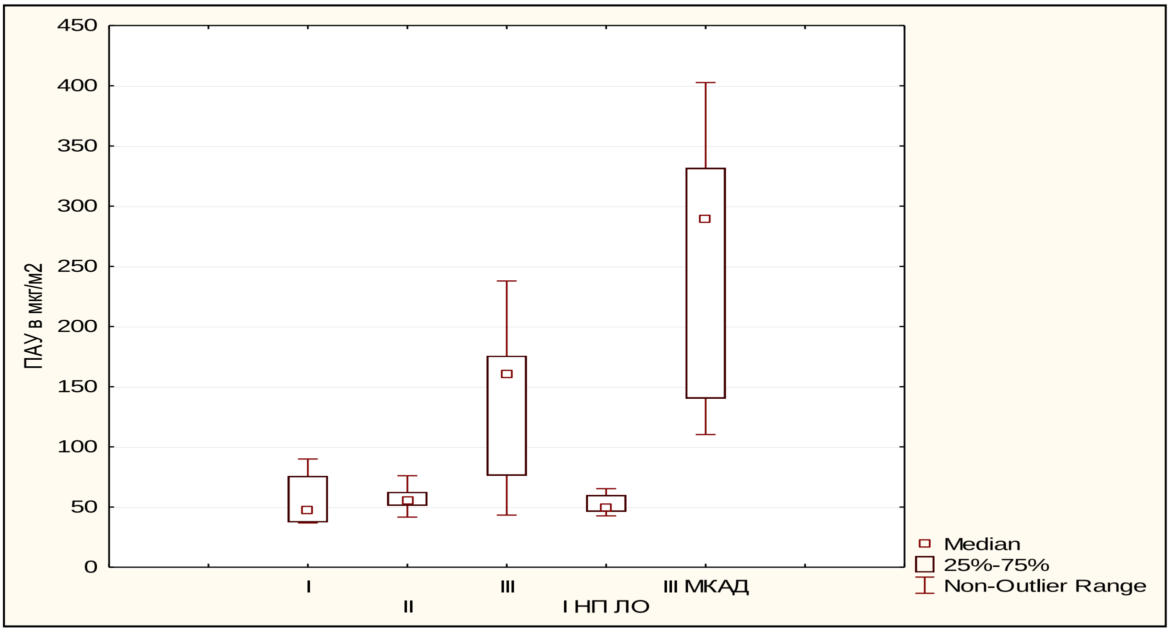


Рисунок 20. Поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями на застроенной территории (I – природно-рекреационная, II – общественно-деловая, III – транспортная) и Национального парка «Лосиный остров» (III МКАД – 100-метровая зона влияния МКАД)

В составе твердых аэральных выпадений за зимний период на застроенной территории доля низкомолекулярных ПАУ составляет 84-86%, а в почвах – 66-72% (табл. 18). Вероятно, относительная аккумуляция тяжелых ПАУ в почвах связана с тем, что низкомолекулярные соединения более подвержены физико-химической и микробной деградации, чем высокомолекулярные. Замедление процесса деструкции ПАУ микроорганизмами в почве с увеличением количества ароматических колец показано в работе А.В. Егоровой и соавторов, 2014. Также играет роль более высокая летучесть низкомолекулярных ПАУ. В условиях низких температур «легкие» ПАУ лучше адсорбируются на твердых частицах, при повышении температуры окружающего воздуха низкомолекулярные ПАУ частично или полностью десорбируются с твердых поверхностей в газовую фазу (Горшков и др., 2006). Аналогичным образом может происходить удаление молекул ПАУ из верхних горизонтов почв.

Таблица 18. Относительное содержание «легких» и «тяжелых» полиаренов в исследованных объектах, %

Функцио-нальные зоны	Твердые аэральные выпадения за зимний период		Почвы, отобранные осенью		Почвы, отобранные весной	
	«легкие»	«тяжелые»	«легкие»	«тяжелые»	«легкие»	«тяжелые»
Природно-рекреационная	84	16	66	34	70	30
Общественно-деловая	85	17	68	32	72	28
Транспортная	86	14	68	32	68	32

Результаты кластерного анализа данных о содержании 11 индивидуальных полиаренов в твердых аэральных выпадениях за зимний период в ВАО г. Москвы показывают, что все функциональные зоны близки по составу и содержанию ПАУ (рис. 21). В отдельный кластер выделяются территории, расположенные в разных функциональных зонах, но расположенные в зоне влияния автотранспорта как на территории Национального парка «Лосиный остров (зона отчуждения МКАД), так и на застроенной территории (разделительная полоса, автостоянки, бульвар, сквер рядом с дорожным перекрестком). Все остальные исследованные объекты объединяются во второй крупный кластер, отражающий снижение уровня техногенной нагрузки на территорию. Объединение наблюдений за два года не привело к изменению иерархического дерева, что говорит о постоянстве типа загрязнения.

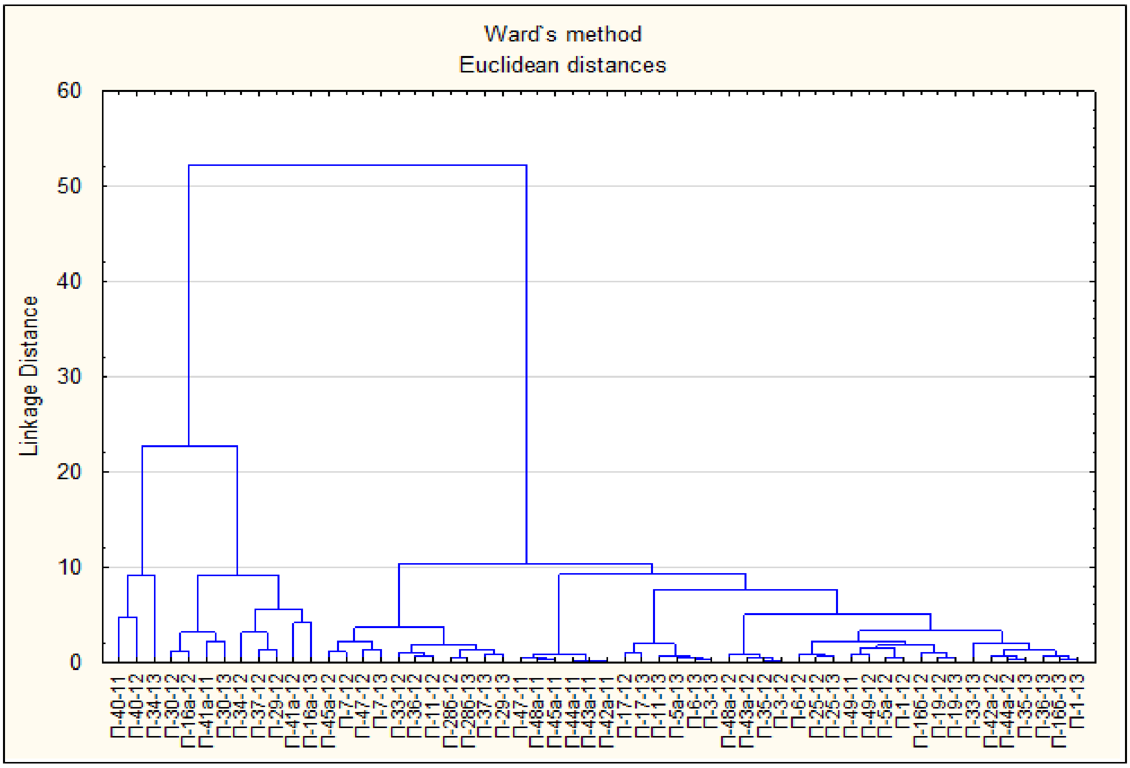


Рисунок 21. Группировка исследованных точек по составу ПАУ в твердых аэральных выпадениях за два года

ПАУ в твердых аэральных выпадениях имеют сходный состав на застроенной территории и на территории Национального парка «Лосиный остров» (рис. 22). Заметное различие для этих территорий наблюдается в относительном содержании антрацена – его в 1,5 раза больше в

Национальном парке «Лосиный остров» и бензо(б)флуорантена – в 2 раза. Также для твердых аэральных выпадений в Национальном парке отмечается меньшая доля бензо(а)антрацена, бензо(g,h,i)перилена (в 1,5 раза) и дибенз(а)антрацена (в 2 раза).

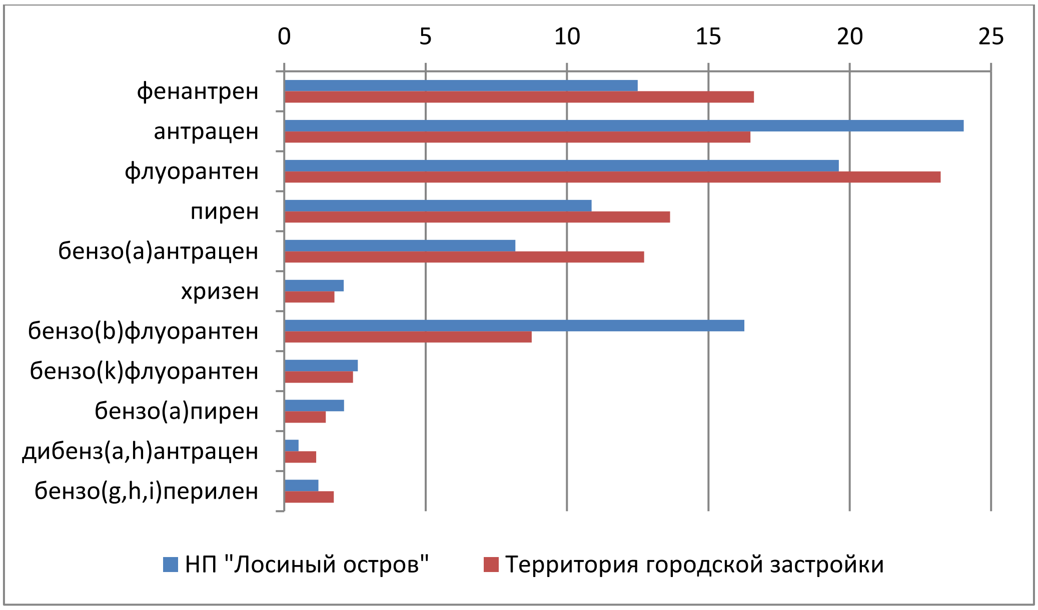


Рисунок 22. Состав ПАУ в твердых аэральных выпадениях, % от суммы ПАУ

Суммарное содержание полиаренов в почвах для исследованных функциональных зон на застроенной территории значимо не отличается (рис. 23). При этом содержание полиаренов в почве на застроенной территории во всех функциональных зонах выше, чем на территории Национального парка. 100-метровая зона влияния МКАД, а также территория, удаленная от автомагистрали в парке по загрязнению полиаренами значимо не отличаются. Для Национального парка «Лосиный остров» медиана содержания полиаренов 2-4 раза меньше, чем на застроенной территории.

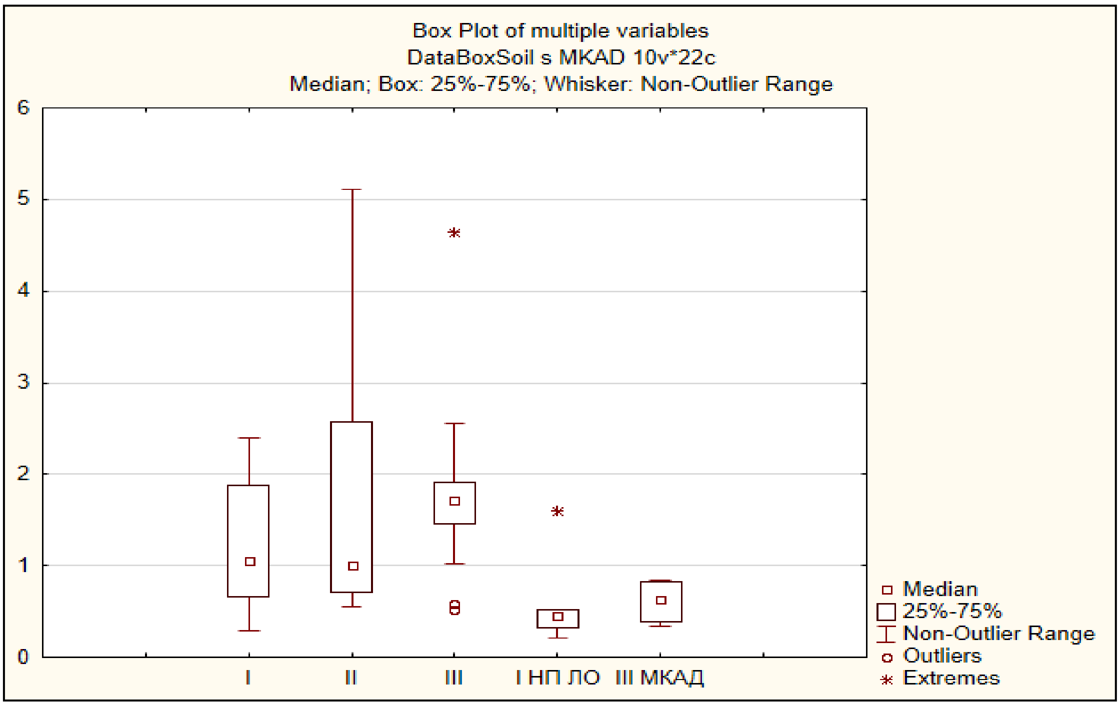
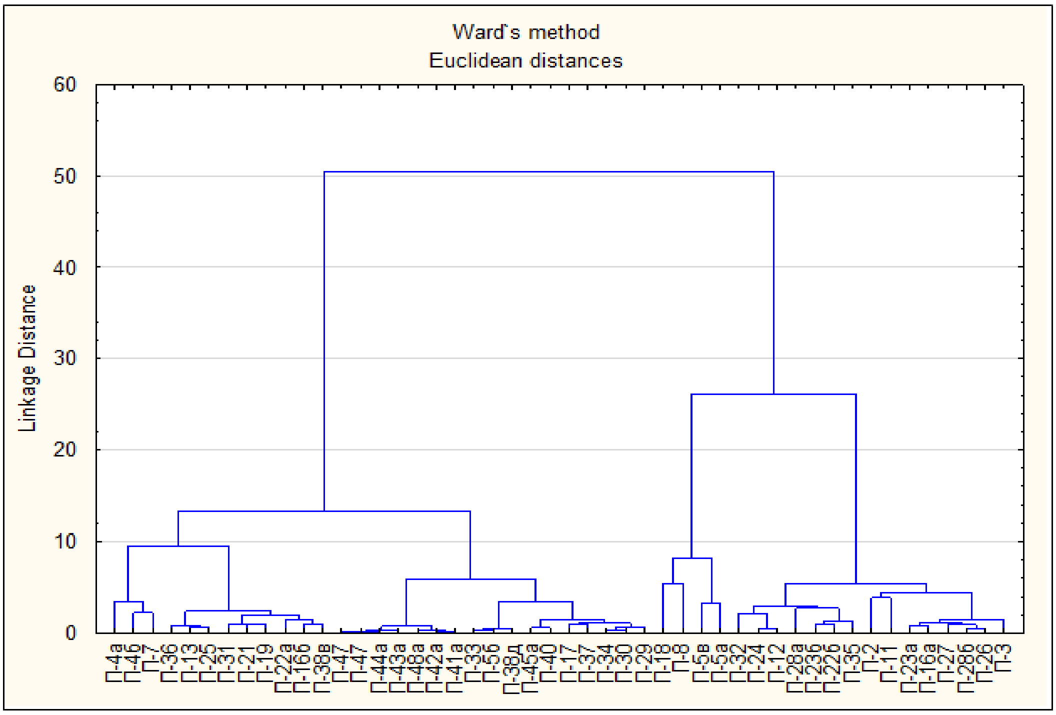


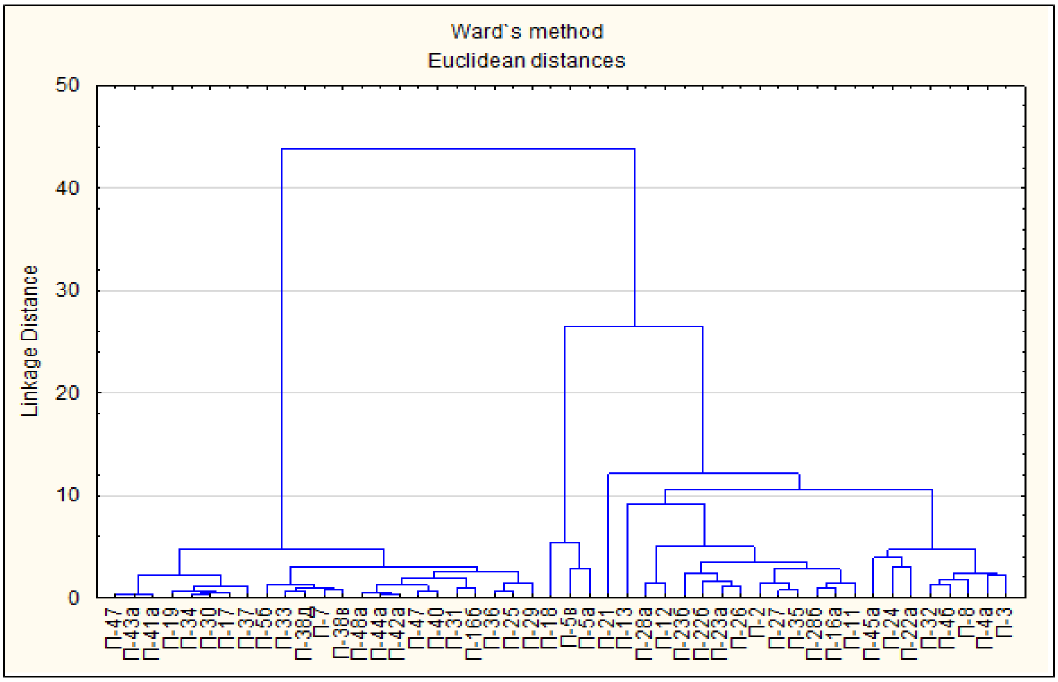
Рисунок 23. ПАУ в почвах на территории городской застройки (I – природно-рекреационная, II – общественно-деловая, III – транспортная) и Национального парка «Лосиный остров» (III МКАД – 100-метровая зона влияния МКАД)

Выполненный кластерный анализ, учитывающий содержание и состав полиаренов в верхних горизонтах почв, не позволяет сгруппировать почвы (рис. 24) в соответствии с их расположением в функциональных зонах. В один кластер попадают точки расположенные как на территории

Национального парка «Лосиный остров», так и вблизи крупных транспортных магистралей.



А)

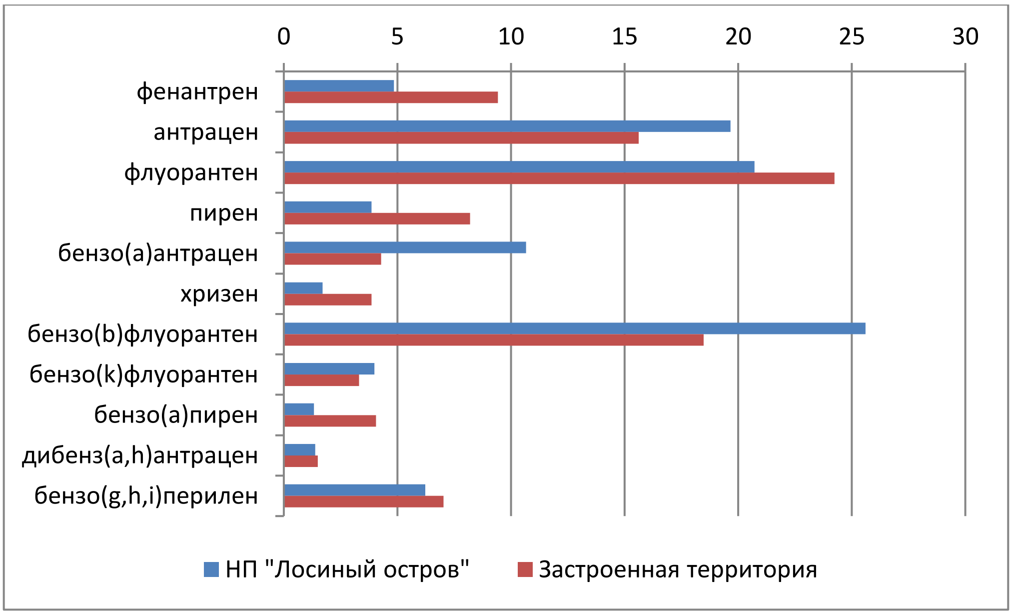


Б)

Рисунок 24. Группировка исследованных точек по составу ПАУ в почвах отобранных А) осенью Б) весной

По относительному содержанию индивидуальных ПАУ почвы с застроенной территории характеризуются повышенной в 2-3 раза долей бензо(а)пирена (рис. 25). Также в почвах природно-рекреационной зоны в отличие от почв с Национального парка в 2 раза выше относительное содержание фенантрена, пирена и хризена осенью и дибенз(a,h)антрацена весной.

В почвах с территории Национального парка «Лосиный остров» по сравнению с почвами застроенной территории доля бензо(а)антрацена в 2-2,5 раза больше.



а)

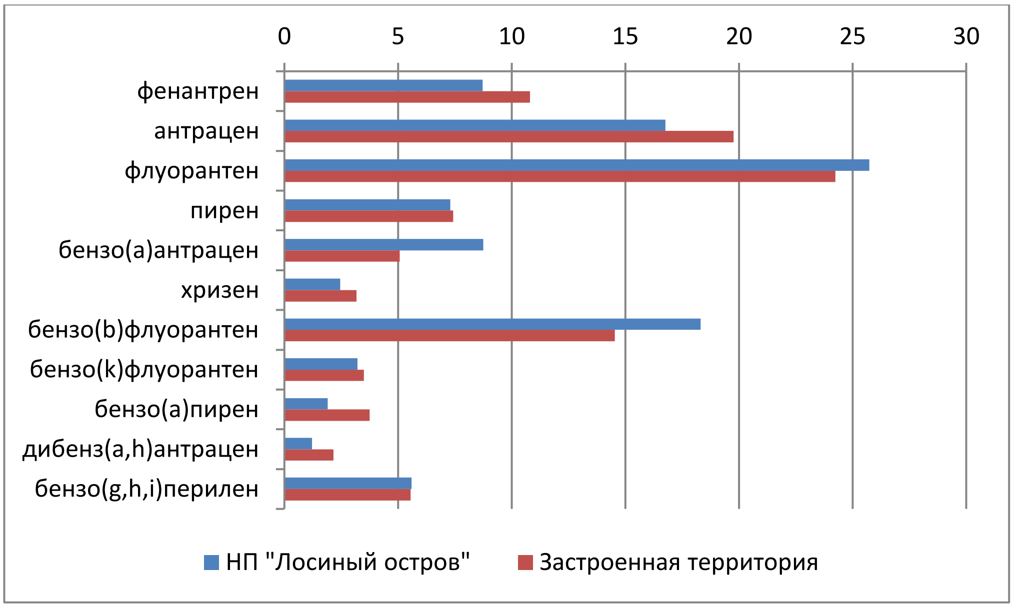
б) 

Рисунок 25. Состав ПАУ в почве Национального парка «Лосиный остров» и природно-рекреационной функциональной зоны застроенной территории, % от суммы ПАУ а) осенью б) весной

Количество полиаренов, поступающих с твердыми аэральными выпадениями на 1 м^2 поверхности, на три порядка меньше, чем их содержание в верхних горизонтах городских почв (0-10 см) на такой же площади (табл. 19 и табл. 20). Это свидетельствует о преимущественно биогенном происхождении ПАУ в городских почвах или о другом источнике загрязнения в сменных грунтах, которые используются для создания городских конструктоземов. С учетом частоты замены и подсыпки верхнего слоя в городских конструктоземах (один раз 1,5-3 года) («Об утверждении Правил создания, содержания..», 2002) можно говорить о слабом влиянии интенсивности пылевых выпадений на накопление полиаренов в верхних горизонтах исследованных почв. Так в работе Е.Д. Лодыгина и др. (2008) установлено, что внесение природного органического материала (торфа) приводит к обогащению почв тяжелыми полиаренами.

При этом запасы полиаренов в почвах на застроенной территории к весне уменьшаются в среднем в 1,5-2 раза, на территории Национального парка «Лосиный остров» наблюдается обратная картина – к весне в почвах содержится 2-3 раза больше полиаренов, за исключением точек, расположенных в непосредственной близости от МКАД на расстоянии 30 м и 80 м. Здесь, как и в точках с застроенной территории, к весне наблюдается тенденция уменьшения количества полиаренов.

Таблица 19. Поступление полиаренов с твердыми аэральными выпадениями за год на застроенной территории, мкг ПАУ/м^2

	Природно-рекреационная		Общественно-деловая		Транспортная	
	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон
2012	236,6	94,8-486,9	226,4	101,1-311,3	518,1	215,3-785,5
2013	210,7	134,4-253,4	229,1	171,9-296,8	592,2	131,2-1390,6

Таблица 20. Содержание (запас) полиаренов в почвах на застроенной территории, мг ПАУ/м^2

	Природно-рекреационная		Общественно-деловая		Транспортная	
	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон
Осень	152,5	35,6-267,6	265,8	70,7-966,2	217,4	66,6-584,1
Весна	105,3	22,2-211,7	165,4	40,7-567,3	212,8	49,7-682,8

На территории Национального парка «Лосиный остров» запасы полиаренов в почве на два порядка выше, чем поступление с твердыми аэральными выпадениями (рис. 26). Среднее значение аэрального поступления полиаренов на территории удаленной от МКАД (более 100 м) составляет 192,4 мкг ПАУ/м^2. Для сравнения, уровень накопления ПАУ в снежном покрове таежной зоны на фоновой территории составляет 4,1-4,8 мкг/м^2, количество ПАУ выпавших с атмосферными осадками на 1 м^2 подстилающей поверхности за год примерно 12,3-14,4 мкг/м^2, что на 2 порядка ниже, чем запасы ПАУ в органогенном горизонте почвы на той же площади (Габов и др., 2008). В снеге, отобранном на фоновой территории Мещерская низменность, Владимирская область в 20 км от г. Петушки под лиственными и хвойными парцеллами смешанного леса) поступление с твердыми аэральными выпадениями полиаренов составило 10,4-12,8 мкг/м^2, за год примерно – 41,7-51,3 мкг/м^2.

При одинаковом аэральном поступлении запасы полиаренов в почвах на застроенной территории (табл. 20) в 2-5 раз больше, чем в почвах Национального парка Лосиный остров (табл. 21) (за исключением точки, расположенной в 30 м от МКАД). Более высокое содержание органического вещества в городских почвах по сравнению с природными аналогами благоприятствует сильной аккумуляции органических загрязнителей, состав и содержание которых более стабильны в течение года по сравнению с естественными почвами лесопарка (Агапкина, 2007).

Таблица 21. Содержание (запас) полиаренов в почвах на территории Национального парка Лосиный остров, мгПАУ/м^2

	30	80	250	500	1500	2000	2300	2400
Осень	122.0	65.7	54.3	23.9	41.7	37.4	45.3	57.4
Весна	126.8	50.0	101.6	42.0	90.3	98.1	52.6	91.5

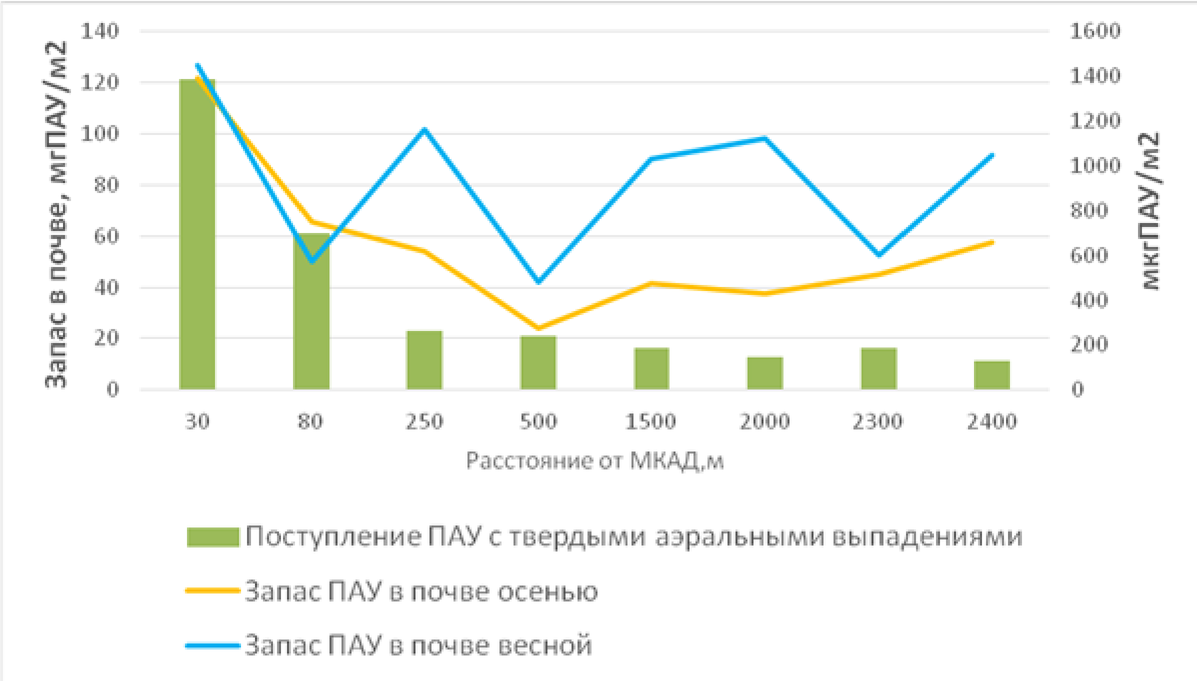


Рисунок 26. Поступление ПАУ на территории Национального парка «Лосиный остров»

При современных уровнях аэрального поступления полиаренов от МКАД запас ПАУ в почвах Национального парка «Лосиный остров» даже без учета биодеградации мог сформироваться за 135-160 лет. С учетом фоновых концентраций полиаренов в почвах лесной зоны – 0,227 мкг/г (Габов и др., 2007) и с учетом времени функционирования МКАД – 50 лет (с 1962 года) - на почвы парка, можно предположить наличие дополнительного источника ПАУ, имеющего антропогенное происхождение, интенсивность воздействия которого была соизмерима с действием магистрали. Происхождение этого источника можно связать с высоким уровнем аэрального загрязнения в пределах городской среды и с непосредственной рекреационной нагрузкой на экосистемы парка.

ВЫВОДЫ

1. На исследованной территории ВАО г. Москвы поступление ПАУ с твердыми аэральными выпадениями за зимний период сходно для застроенной территории и в пределах крупного зеленого массива и составляет в среднем 50 мкг/м^2. Повышенное в 3-5 раз поступление ПАУ характерно для территорий, относящихся к транспортной функциональной зоне (168-289 мкг/м^2).

2. На территории крупной рекреационной зоны концентрация ПАУ в твердых аэральных выпадениях возрастает по мере увеличения расстояния от МКАД: от 7,2 до 34,2мкг/г на расстоянии 30 и 1000 м соответственно. Однако поступление ПАУ по мере удаления от МКАД уменьшается от 304 до 63 мкг/м2 на тех же расстояниях. В зоне действия автомагистрали количество аэральных выпадений ПАУ, аккумулированных в снеге, различается для хвойных и лиственных сообществ, что демонстрирует необходимость дифференцированного подхода к оценке уровня транспортного загрязнения в зависимости от состава фитоценоза.

3. «Легкие» ПАУ абсолютно преобладают в составе твердых аэральных выпадений (до 80-86%). Наибольшее участие характерно для флуорантена и антрацена. Среди «тяжелых» ПАУ преобладает бензо(b)флуорантен.

4. Максимальное содержание ПАУ в листовом опаде получено для древесных фитоценозов, расположенных в непосредственной близости от МКАД – 0,79 мкг/г. На расстоянии 500 м от автомагистрали их концентрация уменьшается до 0,28 мкг/г. Отличием еловых фитоценозов от липняков является более высокий вклад флуорантена в состав ПАУ.

5. Суммарное содержание ПАУ в верхних слоях конструктоземов застроенной территории варьирует в пределах от 0,22 до 18,72 мкг/г. Почвы разных функциональных зон, не могут быть дифференцированы по содержанию и составу ПАУ – среднее содержание составляет 1,5-2,2 мкг/г.

Средняя концентрация бензо(а)пирена составляет 0,06-0,10 мкг/г, что превышает ПДК в среднем в 3-5 раз.

6. В дерново-подзолистых почвах Национального парка «Лосиный остров» содержится в 2-4 раза меньше ПАУ, чем в конструктоземах застроенной территории. Относительно высокое содержание (0,88-0,76 мкг/г) характерно только для почв в непосредственной близости (30 м) от МКАД. Среднее содержание бензо(а)пирена в почвах парка составляет 0,005 мкг/г.

7. В составе ПАУ в почвах преобладают флуорантен, антрацен и бензо(b)флуорантен. В конструктоземах на их долю приходится 54-58% от общего содержания ПАУ, в дерново-подзолистых почвах – 60-66% под листопадными растительными сообществами и 45-60% под хвойными.

8. Запасы ПАУ в конструктоземах соответствуют 1000-кратному значению годового поступления этих веществ из атмосферы, что говорит об их преимущественно биогенном происхождении в почвах (или торфосодержащих сменных грунтах, используемых для создания конструктоземов). В дерново-подзолистых почвах запасы ПАУ на два порядка больше, чем их поступление из атмосферы, что также указывает на биогенный и педогенный фактор их происхождения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Описание площадок для мониторинга углеводородного состояния почв на территории ВАО г. Москвы

№ пл.	Адрес	Описание площадки	Функц. зона*
П-1	ш.Открытое, д.26, корп.9 промышленная зона	сквер рядом с перекрестком с ул.Вербной	I
П-2	ул.Вербная, д.5	гаражный кооператив (интенсивно используемая территория массовой гаражной застройки)	III
П-3	ул.Николая Химушина, д.17, корп.1	бульвар между жилым кварталом и промзоной (ТЭЦ №23)	I
П-4а	ул.Николая Химушина, д.17, корп.1	обочина	III
П-4б	ул.Николая Химушина, д.17, корп.1	палисадник перед жилым 5-этажным домом	III
П-5а	ул.Николая Химушина, д.15, корп.2,3	двор внутри жилого квартала	II
П-5б	ул.Николая Химушина, д.15, корп.2,3	автостоянка малой площади на дворовой территории	II
П-5в	ул.Николая Химушина, д.15, корп.2,3	контейнерная площадка для сбора бытового мусора на дворовой территории	II
П-6	ш.Открытое, д.26, корп.1	двор, выходящий на автомагистраль	II
П-7	ш.Открытое, д.25, корп.10,13	двор внутри жилого квартала	II
П-8	ш.Открытое, д.21, корп.12, стр.Б	автомойка, автосервис, контейнерная площадка для сбора бытового мусора и твердых коммунальных отходов внутри жилого квартала	II
П-10	ул.Тагильская	гаражный кооператив (слабо используемая территория гаражной застройки)	III
П-11	ш.Открытое, д.24, корп.2	сквер рядом с ул.Тагильской	I
П-12	ш.Открытое, правая сторона	обочины	III
П-13	ш.Открытое, левая сторона	палисадники перед строениями промзоны (рядом с трамвайными путями)	III
П-16а	ш.Открытое, д.14	автостоянка общественного транспорта (рейсовые автобусы), 20м от ш.Открытого, АЗС	III
П-16б	ш.Открытое, д.14	автостоянка общественного транспорта (рейсовые автобусы), 80м от ш.Открытого, АЗС	III

Приложение 1. Продолжение

№ пл.	Адрес	Описание площадки	
П-17	ул.Байкальская, д.18, корп.1,2,3,4	двор новой застройки повышенной этажности (менее 10 лет)	II
П-18	ул.Байкальская, д.16, корп.1	палисадник перед жилым 5-этажным домом	III
П-19	ул.Байкальская, д.16, корп.1,2,3,4	двор старой застройки (более 50 лет)	II
П-21	ул.Байкальская, д.7	палисадник перед строением промзоны	III
П-22а	ул.Байкальская, д.10	обочина	III
П-22б	ул.Байкальская, д.10	палисадник перед строением промзоны	III
П-23а	ул.Иркутская, д.2	обочина на перекрестке с ул.Байкальской	III
П-23б	ул.Иркутская, д.2	палисадник перед строением промзоны на перекрестке с ул.Байкальской	III
П-24	ш.Щелковское, д.79, корп.1	обочина на перекрестке с ул.Чусовской	III
П-25	ш.Щелковское, д.85, корп.2,4	двор внутри жилого квартала	II
П-26	ш.Щелковское, д.85, корп.1	двор со сквозным проездом с территорией, прошедшей недавнюю реконструкцию и благоустройство (в августе 2011)	II
П-27	ш.Щелковское, д.87, корп.1	гаражная застройка на дворовой территории	III
П-28а	ш.Щелковское, д.87, корп.1	обочина	III
П-28б	ш.Щелковское, д.87, корп.1	крупный палисадник перед жилым 9-этажным домом	III
П-29	ш.Щелковское, д.93	сквер рядом с перекрестком с ул.Хабаровской	I
П-30	ул.Хабаровская	разделительная полоса (бульвар) на пересечении с ш.Щелковским	III
П-31	ш.Щелковское, д.95, корп.1	обочина перед крупной автотранспортной развязкой (пересечение ш.Щелковского с МКАД)	III
П-32	ул.Красноярская, д.1	палисадник перед жилым 20-этажным домом	III
П-33	ул.Красноярская, д.1	двор 20-этажного многоподъездного жилого дома	II
П-34	МКАД 103-104км	зона отчуждения за канавой дренажного стока с дорожной насыпи, надземный переход через МКАД, АЗС, гаражный кооператив	III
П-35	ул.Красноярская, д.5/36	сквер рядом с ул. Красноярской напротив открытого проезда к МКАД	I
П-36	ул.Алтайская, д.34	двор 9-этажного многоподъездного жилого дома	II
П-37	ул.Хабаровская, д.3	бульвар между жилыми кварталами	I

Приложение 1. Продолжение

№ пл.	Адрес	Описание площадки	
П-38в	Гольяновский пруд	парк, западная часть, рядом с ул.Уральской	I
П-38д	Гольяновский пруд	автобусная остановка рядом с ул.Уральской	I
П-40	НП «Лосиный остров», 32й квартал	территория, примыкающая к зоне отчуждения МКАД	I
П-41а	НП «Лосиный остров», 32й квартал	липняк, 80м от МКАД	I
П-41б	НП «Лосиный остров», 32й квартал	ельник, 80м от МКАД	I
П-42а	НП «Лосиный остров», 32й квартал	липняк, 250м от МКАД	I
П-42б	НП «Лосиный остров», 32й квартал	ельник, 250м от МКАД	I
П-43а	НП «Лосиный остров», 32й квартал	липняк, 500м от МКАД	I
П-43б	НП «Лосиный остров», 32й квартал	ельник, 500м от МКАД	I
П-44а	НП «Лосиный остров», 31й квартал	липняк, 1000м от МКАД	I
П-44б	НП «Лосиный остров», 31й квартал	ельник, 1000м от МКАД	I
П-45а	НП «Лосиный остров», 31й квартал	липняк, 1500м от МКАД	I
П-45б	НП «Лосиный остров», 31й квартал	ельник, 1500м от МКАД	I
П-46	НП «Лосиный остров», 30й квартал	липняк, 2000 м от МКАД	I
П-47	НП «Лосиный остров», 30й квартал	липняк, 2300м от МКАД, 300м от ЛЭП	I
П-48а	НП «Лосиный остров», 30й квартал	смешанное растительное сообщество рядом с просекой, занятой ЛЭП	I

*Функциональные зоны: I – природно-рекреационная, II – общественно-жилая, III – транспортная.

Приложение 2. Содержание ПАУ в твердых аэральных выпадениях за зимний период на застроенной территории, мкг/м^2

А) в природно-рекреационной функциональной зоне

2012	**П-1**	**П-3**	**П-11**	**П-29**	**П-35**	**П-37**
фенантрен	4.220	4.340	6.218	20.707	3.773	17.093
антрацен	7.760	5.340	10.707	30.753	7.313	20.160
флуорантен	11.220	5.240	9.467	26.740	5.840	20.867
пирен	5.775	2.380	5.147	14.155	2.580	13.667
бензо(a)антрацен	6.077	2.819	5.613	10.787	2.365	11.733
хризен	0.466	0.519	0.593	2.787	0.440	1.540
бензо(b)флуорантен	4.187	2.113	3.891	9.313	2.194	8.620
бензо(k)флуорантен	1.067	0.598	1.051	2.599	0.573	2.107
бензо(a)пирен	0.172	0.295	0.583	1.573	0.275	1.033
дибенз(a,h)антрацен	0.171	0.059	0.195	0.307	-	0.333
бензо(g,h,i)перилен	-	-	0.762	2.001	-	1.647

2013	**П-1**	**П-3**	**П-11**	**П-29**	**П-35**	**П-37**
фенантрен	4.070	12.000	10.000	10.321	9.030	10.345
антрацен	3.070	6.667	3.480	7.435	3.460	8.201
флуорантен	9.334	14.933	15.710	13.201	11.950	12.253
пирен	5.008	10.187	9.558	8.118	7.768	7.452
бензо(a)антрацен	5.418	9.267	9.260	8.034	7.520	6.532
хризен	0.855	1.400	1.390	0.654	0.726	0.623
бензо(b)флуорантен	3.439	4.920	5.640	5.821	4.805	4.231
бензо(k)флуорантен	1.149	1.513	1.809	1.502	1.202	1.200
бензо(a)пирен	0.561	1.193	1.300	1.432	0.652	0.726
дибенз(a,h)антрацен	0.686	1.275	1.380	0.873	1.180	0.634
бензо(g,h,i)перилен	-	-	0.415	0.745	-	0.508

А) в общественно-деловой функциональной зоне

2012	**П-5a**	**П-6**	**П-7**	**П-17**	**П-19**	**П-25**	**П-33**	**П-36**
фенантрен	7.353	10.200	4.293	18.030	1.647	9.380	10.640	7.613
антрацен	8.993	3.810	5.193	7.180	21.380	15.780	21.980	17.253
флуорантен	14.053	14.250	4.273	15.300	13.210	16.513	12.507	12.573
пирен	6.927	7.000	2.660	11.680	7.378	7.867	6.287	5.320
бензо(а)антрацен	7.080	8.600	1.813	14.520	3.456	7.609	5.647	6.007
хризен	0.651	1.800	0.487	1.170	0.835	1.540	1.287	0.613
бензо(b)флуорантен	4.640	4.300	3.887	7.260	4.200	5.073	5.511	4.320
бензо(k)флуорантен	1.237	1.700	0.600	0.841	0.956	1.527	1.533	1.293
бензо(а)пирен	0.291	0.960	0.300	0.613	0.875	0.887	0.913	0.616
дибенз(a,h)антрацен	0.135	0.082	0.100	1.221	0.332	0.434	0.313	0.227
бензо(g,h,i)перилен			1.667			0.060	1.119	1.133

2013	**П-5a**	**П-6**	**П-7**	**П-17**	**П-19**	**П-25**	**П-33**	**П-36**
фенантрен	6.810	11.300	7.632	14.030	1.953	7.276	7.138	7.960
антрацен	3.889	4.800	10.432	5.480	19.200	11.200	5.170	3.901
флуорантен	15.130	16.300	12.435	16.500	12.310	13.607	30.300	10.650
пирен	8.270	9.000	9.123	10.680	5.018	9.412	3.037	7.250
бензо(а)антрацен	9.090	9.600	8.345	14.520	4.820	8.541	5.600	5.390
хризен	1.346	1.500	0.754	1.870	0.766	0.934	0.756	1.217
бензо(b)флуорантен	5.370	5.500	4.234	6.560	3.900	4.761	2.721	3.607
бензо(k)флуорантен	1.762	1.900	1.354	1.940	1.280	1.467	0.821	1.200
бензо(а)пирен	1.208	1.200	1.140	0.953	0.682	0.896	0.659	0.859
дибенз(a,h)антрацен	1.357	1.420	0.967	1.672	0.500	0.456	0.972	0.948
бензо(g,h,i)перилен			1.667			0.060		

В) в транспортной функциональной зоне

2012	**П-16а**	**П-16б**	**П-28б**	**П-30**	**П-34**
фенантрен	30.820	6.510	11.133	31.133	21.773
антрацен	47.507	20.000	17.867	47.427	33.533
флуорантен	36.205	7.500	20.233	39.647	24.447
пирен	26.240	5.642	10.747	32.133	19.867
бензо(а)антрацен	17.440	7.200	9.600	19.000	11.420
хризен	2.760	0.937	1.113	3.993	0.900
бензо(b)флуорантен	19.687	3.270	6.987	16.367	11.682
бензо(k)флуорантен	4.340	1.125	1.787	3.897	2.660
бензо(а)пирен	1.987	1.212	1.167	2.213	1.327
дибенз(a,h)антрацен	0.766	0.435	0.289	0.572	0.380
бензо(g,h,i)перилен			0.737		

2013	**П-16а**	**П-16б**	**П-28б**	**П-30**	**П-34**
фенантрен	21.400	3.540	9.850	18.078	59.100
антрацен	5.900	3.510	15.210	26.524	80.120
флуорантен	36.780	8.500	16.237	39.647	63.750
пирен	22.600	5.640	10.747	27.002	48.510
бензо(а)антрацен	19.700	5.500	7.300	15.356	46.860
хризен	3.610	0.653	0.945	4.234	4.740
бензо(b)флуорантен	12.040	2.960	6.534	15.401	26.480
бензо(k)флуорантен	3.530	0.905	1.478	4.761	6.730
бензо(а)пирен	2.290	0.719	1.324	3.421	3.590
дибенз(a,h)антрацен	4.060	0.883	0.375	0.501	7.780
бензо(g,h,i)перилен	2.140		0.867		

Приложение 3. Свойства верхних горизонтов почв

№ точки	Тип использования территории	C,%	N,%	почвенное дыхание, мгС-CO_2/кг*ч
Природно-рекреационная функциональная зона				
П-1	сквер	6,7	0,54	2,3±1,2
П-3	бульвар	9,0	0,69	3,8±1,3
П-29	сквер	6,7	0,43	1,3±0,4
П-35	сквер	5,8	0,40	2,8±0,5
П-37	бульвар	3,4	0,30	2,9±0,9
П-38в	парк	7,0	0,56	5,8±1,3
П-38д	парк	5,2	0,41	2,2±0,5
Общественно-деловая функциональная зона				
П-5а	двор	9,6	0,68	5,8±1,7
П-5б	двор	4,2	0,33	2,8±0,3
П-5в	двор	7,5	0,55	1,5±0,7
П-6	открытый двор	8,4	0,56	3,2±1,4
П-7	двор	8,3	0,60	1,7±0,9
П-17	двор новостройки	6,9	0,52	5,4±1,3
П-19	двор	7,7	0,54	3,3±0,9
П-25	двор	5,5	0,44	3,4±2,3
П-26	проездной вдор	6,0	0,47	2,3±0,4

П-33	двор	6,8	0,48	5,1±1,4
П-36	двор	3,1	0,32	3,4±1,5
Транспортная функциональная зона				
П-2	гаражная застройка	3,4	0,19	4,1±0,7
П-4а	обочина	15,6	0,75	5,6±1,9
П-4б	палисадник	19,6	0,22	4,7±1,2
П-12	обочина	12,4	0,79	4,7±0,5
П-13	палисадник	11,8	0,76	5,2±0,2
П-16а	автостоянка	7,1	0,52	5,7±1,5
П-16б	автостоянка	11,5	0,73	3,9±1,2
П-21	палисадник	8,6	0,56	2,5±1,8
П-22а	обочина	14,0	0,97	5,6±1,9
П-22б	палисадник	7,9	0,57	6,2±0,8
П-23а	обочина	7,8	0,49	2,5±0,8
П-23б	палисадник	14,3	0,95	5,2±1,7
П-24	обочина	4,8	0,27	1,6±1,3
П-27	гаражная застройка	18,4	1,26	5,5±2,1
П-28а	обочина	5,7	0,32	1,9±0,5
П-28б	палисадник	5,6	0,43	3,6±0,6
П-30	разделительная полоса	4,1	0,25	1,6±0,7
П-31	обочина	8,6	0,57	3,3±1,1
П-34	зона отвода	2,6	0,24	2,7±0,4

Приложение 4. Содержание ПАУ в верхних горизонтах почв, отобранных осенью, мкг/г:

А) в природно-рекреационной функциональной зоне

	П-1	**П-3**	**П-11**	**П-29**	**П-35**	**П-37**	**П-38в**	**П-38д**
фенантрен	0.526	0.136	0.168	0.042	0.263	0.098	0.149	0.150
антрацен	2.555	0.505	0.426	0.135	0.311	0.032	0.156	0.102
флуорантен	5.990	0.748	0.470	0.176	0.564	0.065	0.327	0.239
пирен	2.515	0.278	0.104	0.071	0.215	0.022	0.104	0.080
бензо(a)антрацен	0.982	0.123	0.092	0.034	0.108	0.011	0.060	0.030
хризен	0.811	0.113	0.094	0.029	0.090	0.010	0.046	0.031
бензо(b)флуорантен	2.469	0.388	0.737	0.121	0.342	0.060	0.209	0.115
бензо(k)флуорантен	0.465	0.073	0.139	0.018	0.060	0.008	0.035	0.021
бензо(a)пирен	0.957	0.132	0.094	0.029	0.102	0.008	0.036	0.033
дибенз(a,h)антрацен	0.221	0.044	0.038	0.004	0.035	0.007	0.023	0.009
бензо(g,h,i)перилен	1.230	0.137	0.171	0.083	0.191	0.035	0.083	0.050

Б) в общественно-деловой функциональной зоне

	П-6	**П-5а**	**П-5б**	**П-5в**	**П-7**	**П-8**	**П-17**	**П-19**	**П-25**	**П-26**	**П-33**	**П-36**
фенантрен	0.896	0.147	0.165	0.268	0.100	0.331	0.099	0.083	0.052	0.139	0.173	0.064
антрацен	2.293	0.811	0.085	1.188	0.126	0.401	0.141	0.131	0.220	0.391	0.130	0.206
флуорантен	5.372	1.375	0.168	1.716	0.169	0.356	0.139	0.247	0.379	0.627	0.175	0.294
пирен	1.743	0.566	0.056	0.672	0.065	0.460	0.066	0.110	0.146	0.254	0.076	0.150
бензо(а)антрацен	0.761	0.262	0.031	0.338	0.029	0.634	0.030	0.055	0.079	0.124	0.038	0.088
хризен	0.727	0.234	0.026	0.293	0.026	0.256	0.028	0.043	0.066	0.098	0.032	0.056
бензо(b)флуорантен	2.126	0.744	0.117	0.928	0.089	0.304	0.081	0.143	0.254	0.404	0.134	0.286
бензо(k)флуорантен	0.483	0.143	0.019	0.174	0.016	0.256	0.014	0.027	0.042	0.068	0.021	0.042
бензо(а)пирен	0.908	0.270	0.025	0.315	0.065	0.076	0.030	0.063	0.072	0.114	0.037	0.054
дибенз(a,h)антрацен	0.291	0.059	0.019	0.093	0.076	0.092	0.022	0.017	0.014	0.021	0.016	0.027
бензо(g,h,i)перилен	1.235	0.353	0.059	0.456	0.015	0.333	0.057	0.123	0.116	0.146	0.052	0.088

В) в транспортной функциональной зоне

	П-10	П-2	П-4а	П-4б	П-12	П-13	І-16а	І-16б	П-18	П-21	І-22а	І-22б	І-23а	І-23б	П-24	П-27	І-28а	І-28б	П-30	П-31	П-32	П-34
фенантрен	0.627	0.186	0.288	0.184	0.147	0.096	0.162	0.151	0.378	0.110	0.241	0.270	0.120	0.217	0.138	0.167	0.203	0.106	0.078	0.098	0.152	0.065
антрацен	2.406	0.847	0.397	0.234	0.372	0.253	0.454	0.232	0.903	0.196	0.201	0.336	0.356	0.312	0.314	0.463	0.422	0.417	0.136	0.275	0.291	0.130
флуорантен	3.260	1.153	0.314	0.249	0.365	0.392	0.546	0.340	1.402	0.197	0.220	0.537	0.525	0.410	0.392	0.675	0.381	0.593	0.128	0.171	0.294	0.129
пирен	1.925	0.391	0.173	0.106	0.214	0.163	0.237	0.154	0.310	0.100	0.137	0.224	0.234	0.183	0.232	0.285	0.241	0.251	0.059	0.106	0.099	0.048
бензо(а)антрацен	1.073	0.156	0.083	0.052	0.103	0.072	0.118	0.086	0.431	0.046	0.049	0.123	0.105	0.091	0.092	0.132	0.114	0.142	0.028	0.045	0.237	0.028
хризен	0.652	0.150	0.049	0.038	0.059	0.057	0.080	0.055	0.150	0.033	0.038	0.089	0.089	0.066	0.063	0.109	0.071	0.094	0.020	0.028	0.056	0.015
бензо(b)флуорантен	3.453	0.558	0.349	0.142	0.331	0.230	0.408	0.244	0.620	0.192	0.226	0.357	0.352	0.326	0.380	0.440	0.457	0.418	0.100	0.200	0.412	0.092
бензо(k)флуорантен	0.466	0.097	0.051	0.024	0.044	0.037	0.056	0.035	0.154	0.024	0.026	0.054	0.056	0.043	0.044	0.073	0.049	0.068	0.015	0.021	0.045	0.012
бензо(а)пирен	0.759	0.175	0.071	0.042	0.073	0.074	0.091	0.058	0.145	0.036	0.050	0.096	0.103	0.077	0.078	0.130	0.092	0.099	0.023	0.035	0.062	0.012
дибенз(a,h)антрацен	0.050	0.021	0.121	0.136	0.015	0.007	0.010	0.003	0.090	0.003	0.003	0.002	0.021	0.001	0.012	0.019	0.000	0.017	0.007	0.013	0.010	0.001
бензо(g,h,i)перилен	1.338	0.161	0.192	0.045	0.175	0.110	0.180	0.091	0.187	0.083	0.121	0.161	0.183	0.175	0.176	0.149	0.351	0.142	0.072	0.161	0.112	0.056

Приложение 5. Содержание ПАУ в верхних горизонтах почв, отобранных весной, мкг/г:

А) в природно-рекреационной функциональной зоне

	П-1	**П-3**	**П-11**	**П-29**	**П-35**	**П-37**	**П-38в**	**П-38д**
фенантрен	0.112	0.230	0.056	0.038	0.178	0.065	0.128	0.103
антрацен	0.271	0.357	0.260	0.236	0.283	0.033	0.110	0.115
флуорантен	0.354	0.525	0.271	0.112	0.213	0.045	0.281	0.241
пирен	0.117	0.181	0.054	0.029	0.116	0.016	0.080	0.032
бензо(а)антрацен	0.073	0.113	0.078	0.019	0.082	0.004	0.032	0.026
хризен	0.057	0.081	0.034	0.017	0.045	0.003	0.019	0.012
бензо(b)флуорантен	0.234	0.322	0.237	0.087	0.110	0.032	0.118	0.086
бензо(k)флуорантен	0.052	0.079	0.050	0.035	0.045	0.003	0.012	0.019
бензо(а)пирен	0.060	0.088	0.038	0.014	0.060	0.005	0.027	0.023
дибенз(a,h)антрацен	0.088	0.036	0.017	0.000	0.012	0.004	0.018	0.007
бензо(g,h,i)перилен	0.107	0.105	0.113	0.009	0.065	0.012	0.042	0.015

Б) в общественно-деловой функциональной зоне

	П-6	**П-5а**	**П-5б**	**П-5в**	**П-7**	**П-8**	**П-17**	**П-19**	**П-25**	**П-26**	**П-33**	**П-36**
фенантрен	0.155	0.132	0.108	0.337	0.095	0.239	0.075	0.062	0.048	0.098	0.132	0.027
антрацен	0.765	0.042	0.845	0.634	0.044	0.301	0.098	0.082	0.102	0.211	0.093	0.165
флуорантен	0.945	0.063	1.120	0.603	0.185	0.299	0.089	0.090	0.154	0.271	0.134	0.113
пирен	0.432	0.077	0.532	0.159	0.043	0.133	0.002	0.073	0.063	0.113	0.034	0.072
бензо(а)антрацен	0.201	0.046	0.205	0.325	0.024	0.072	0.028	0.023	0.031	0.082	0.012	0.045
хризен	0.145	0.036	0.165	0.062	0.032	0.060	0.015	0.012	0.039	0.039	0.009	0.027
бензо(b)флуорантен	0.428	0.123	0.332	0.309	0.110	0.248	0.040	0.061	0.119	0.200	0.098	0.110
бензо(k)флуорантен	0.110	0.014	0.095	0.102	0.012	0.049	0.009	0.010	0.020	0.035	0.018	0.028
бензо(а)пирен	0.178	0.012	0.097	0.038	0.022	0.068	0.019	0.030	0.049	0.093	0.015	0.038
дибенз(a,h)антрацен	0.063	0.018	0.045	0.042	0.068	0.042	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002	0.012
бензо(g,h,i)перилен	0.321	0.038	0.238	0.185	0.023	0.133	0.028	0.012	0.022	0.040	0.014	0.023

В) в транспортной функциональной зоне

	П-10	**П-2**	**П-4а**	**П-4б**	**П-12**	**П-13**	**І-16а**	**І-16б**	**П-18**	**П-21**	**І-22а**	**І-22б**	**І-23а**	**І-23б**	**П-24**	**П-27**	**І-28а**	**І-28б**	**П-30**	**П-31**	**П-32**	**П-34**
фенантрен	0.173	0.267	0.175	0.215	0.240		0.142	0.104	0.309	0.144	0.277	0.112	0.107	0.000	0.207	0.136	0.301	0.089	0.065	0.063	0.144	0.056
антрацен	0.279	0.351	0.297	0.903	0.213	0.189	0.256	0.132	0.979	0.203	0.886	0.108	0.234	0.000	0.469	0.276	0.375	0.267	0.110	0.198	0.283	0.103
флуорантен	0.232	0.364	0.316	0.912	0.208	0.132	0.360	0.274	1.108	0.214	0.480	0.412	0.324	0.335	0.286	0.320	0.256	0.381	0.113	0.145	0.324	0.094
пирен	0.080	0.116	0.156	0.874	0.106	0.920	0.098	0.045	0.317	0.100	0.191	0.132	0.116	0.179	0.185	0.118	0.119	0.098	0.042	0.098	0.096	0.032
бензо(а)антрацен	0.059	0.089	0.101	0.415	0.032	0.021	0.070	0.040	0.261	0.052	0.108	0.056	0.073	0.079	0.096	0.069	0.067	0.072	0.024	0.038	0.118	0.019
хризен	0.032	0.070	0.080	0.148	0.021	0.028	0.035	0.019	0.173	0.035	0.086	0.042	0.064	0.062	0.054	0.045	0.029	0.041	0.015	0.014	0.047	0.016
бензо(b)флуорантен	0.185	0.228	0.318	0.823	0.154	0.167	0.304	0.187	0.711	0.224	0.320	0.238	0.168	0.280	0.398	0.119	0.192	0.290	0.072	0.178	0.319	0.062
бензо(k)флуорантен	0.036	0.074	0.047	0.132	0.019	0.015	0.037	0.028	0.177	0.037	0.075	0.048	0.023	0.052	0.050	0.040	0.025	0.032	0.009	0.013	0.065	0.007
бензо(а)пирен	0.035	0.043	0.036	0.089	0.039	0.024	0.035	0.029	0.173	0.039	0.077	0.078	0.073	0.068	0.061	0.062	0.064	0.058	0.019	0.027	0.051	0.016
дибенз(a,h)антрацен	0.000	0.001	0.037	0.020	0.000	0.002	0.002	0.000	0.070	1.250	0.151	0.002	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.007	0.017	0.001
бензо(g,h,i)перилен	0.112	0.007	0.107	0.021	0.000	0.031	0.061	0.100	0.236	0.297	0.185	0.001	0.090	0.000	0.282	0.080	0.020	0.090	0.027	0.092	0.097	0.045

Приложение 6. Содержание ПАУ в твердых аэральных выпадениях на территории Национального парка «Лосиный остров», мкг/м^2

А) для листопадных растительных сообществ

2012	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**	**П-44а**	**П-45а**	**П-47**	**П-48а**
фенантрен	238.400	64.478	15.370	7.600	5.613	7.100	4.527	11.313	1.900
антрацен	286.200	114.480	15.840	4.067	10.027	3.228	5.660	9.280	3.787
флуорантен	239.600	76.830	22.400	16.533	8.520	11.600	4.060	7.927	2.460
пирен	235.200	66.430	15.080	8.667	3.287	5.460	1.813	4.160	1.573
бензо(a)антрацен	111.000	28.170	9.300	6.000	1.013	7.590	1.580	3.287	0.960
хризен	26.600	7.216	2.400	0.833	0.481	0.506	0.567	0.800	0.091
бензо(b)флуорантен	93.200	32.337	20.970	5.200	1.967	4.340	4.113	6.733	0.940
бензо(k)флуорантен	22.400	7.700	2.620	1.627	0.693	1.360	0.620	1.067	0.278
бензо(a)пирен	15.480	5.030	1.560	0.820	0.229	0.465	0.353	0.600	0.128
дибенз(a,h)антрацен	-	-	0.990	1.360	-	1.304	0.080	0.400	-
бензо(g,h,i)перилен	-	-	3.770	-	-	-	0.827	2.187	-

2011	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**	**П-44а**	**П-45а**	**П-47**	**П-48а**
фенантрен	36.967	14.387	4.327	4.460	5.427	5.207	3.027	2.867	3.393
антрацен	70.520	36.580	16.987	18.887	18.533	15.667	9.180	11.973	12.313
флуорантен	58.153	29.820	11.200	12.167	12.267	11.960	8.040	9.473	11.107
пирен	47.680	15.927	6.107	6.513	6.187	5.993	3.920	4.600	5.580
бензо(a)антрацен	22.147	10.260	4.927	4.927	4.453	4.520	3.073	3.773	3.707
хризен	5.557	2.813	1.520	1.613	1.507	1.420	0.987	1.353	1.387
бензо(b)флуорантен	52.653	23.960	12.227	11.980	11.127	10.640	7.193	9.267	11.378
бензо(k)флуорантен	6.760	3.760	1.940	1.947	1.920	1.733	1.180	1.553	1.938
бензо(a)пирен	4.020	2.847	1.633	1.727	1.613	1.447	1.007	1.373	1.460
дибенз(a,h)антрацен	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
бензо(g,h,i)перилен	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

2010	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**	**П-44а**
фенантрен	32.2000	31.9400	9.8733	9.5200	5.0100	5.7133
антрацен	66.6000	57.4000	17.2333	21.0667	11.1500	14.3333
флуорантен	39.3800	52.9400	15.8467	13.3600	8.4900	9.0133
пирен	70.2600	44.2400	9.2867	9.7333	4.2200	5.4467
бензо(а)антрацен	24.4800	25.0200	6.2533	6.1867	3.1100	3.8933
хризен	8.2800	7.0000	1.7867	1.9067	1.1700	1.4267
бензо(b)флуорантен	72.9600	44.5800	17.8600	18.0133	7.2500	13.6200
бензо(k)флуорантен	8.8200	7.1000	1.9933	1.8000	1.0200	1.6800
бензо(а)пирен	8.6000	4.7800	2.2533	2.0200	0.9600	2.0533
дибенз(a,h)антрацен	0	0	0	0	0	0
бензо(g,h,i)перилен	0	0	0	0	0	0

Б) для хвойных растительных сообществ

2012	**П-41б**	**П-42б**	**П-43б**	**П-44б**	**п-45б**
фенантрен	56.400	16.707	12.780	14.453	4.760
антрацен	94.700	24.067	3.560	17.127	6.767
флуорантен	81.800	18.347	18.933	14.093	4.740
пирен	63.300	12.087	12.267	6.733	2.220
бензо(а)антрацен	32.100	8.860	10.740	5.447	1.900
хризен	6.710	1.087	1.393	1.100	0.540
бензо(b)флуорантен	29.200	7.573	6.867	9.333	3.967
бензо(k)флуорантен	7.600	1.939	2.000	1.447	0.600
бензо(а)пирен	3.580	1.253	1.327	0.827	0.393
дибенз(a,h)антрацен	1.070	0.131	1.367	0.693	0.187
бензо(g,h,i)перилен	6.060	1.514	2.153	3.713	1.067

2011	**П-41б**	**П-42б**	**П-43б**	**П-44б**	**п-45б**
фенантрен	11.7067	10.2733	8.1533	7.2200	6.2333
антрацен	21.5467	23.3400	16.7733	16.5467	18.7600
флуорантен	17.2000	15.9533	12.1067	12.0067	13.2200
пирен	11.7867	9.3467	7.6467	6.7533	7.4267
бензо(а)антрацен	7.3778	6.1067	4.9200	4.6867	4.8820
хризен	2.0800	1.8067	1.7067	1.7067	1.7987
бензо(b)флуорантен	17.8844	13.3067	12.2533	11.5733	11.7400
бензо(k)флуорантен	2.6222	2.2133	2.0267	1.9267	1.9800
бензо(а)пирен	1.7956	1.8400	1.8267	1.8133	1.8533
дибенз(a,h)антрацен	0	0	0	0	0
бензо(g,h,i)перилен	0	0	0	0	0

2010	**П-41б**	**П-42б**	**П-43б**	**П-44б**	**п-45б**
фенантрен	10.3333	7.2733	6.8667	6.5867	6.6667
антрацен	21.8533	19.5733	19.4800	18.8400	18.9800
флуорантен	18.1200	11.8267	10.3733	9.0800	11.6467
пирен	13.2867	5.9600	6.2600	4.6467	5.3800
бензо(а)антрацен	9.0867	4.8000	4.7733	3.8200	4.5000
хризен	2.2200	1.4400	1.2333	1.1800	1.5733
бензо(b)флуорантен	22.7867	11.3600	12.4267	9.4133	11.1067
бензо(k)флуорантен	2.3667	1.4000	1.4267	1.2333	1.4800
бензо(а)пирен	2.1667	1.3533	1.1333	1.3533	1.5067
дибенз(a,h)антрацен	0	0	0	0	0
бензо(g,h,i)перилен	0	0	0	0	0

Приложение 7. Содержание ПАУ в растительном материале, отобранном на территории Национального парка «Лосиный остров», мкг/г

А) в опаде (лиственных растительных сообществ)

2010	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**	**П-44а**	**П-45а**	**П-47**	**П-48а**
фенантрен	0.1348	0.0760	0.0806	0.0624	0.0973	0.1018	0.0838	0.1285	0.5291
антрацен	0.0525	0.0160	0.0148	0.0072	0.0113	0.0123	0.0042	0.0048	0.0242
флуорантен	0.2021	0.1071	0.0644	0.0589	0.0890	0.1295	0.1121	0.1024	0.2109
пирен	0.0870	0.0525	0.0691	0.0312	0.0411	0.0603	0.0489	0.0529	0.0879
бензо(а)антрацен	0.0485	0.0286	0.0338	0.0158	0.0261	0.0331	0.0255	0.0271	0.0398
хризен	0.0188	0.0116	0.0110	0.0071	0.0081	0.0109	0.0094	0.0092	0.0179
бензо(b)флуорантен	0.1113	0.0799	0.0540	0.0312	0.0400	0.0562	0.0499	0.0464	0.0669
бензо(k)флуорантен	0.0164	0.0102	0.0082	0.0063	0.0068	0.0091	0.0083	0.0076	0.0129
бензо(а)пирен	0.0156	0.0145	0.0087	0.0050	0.0068	0.0100	0.0098	0.0088	0.0238
дибенз(a,h)антрацен	0.0212	0.0130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
бензо(g,h,i)перилен	0.0951	0.0602	0.0451	0.0244	0.0235	0.0488	0.0284	0.0369	0.1012

2009	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**
фенантрен	0.0830	0.0909	0.0823	0.0596	0.0791
антрацен	0.0516	0.0160	0.0109	0.0058	0.0116
флуорантен	0.1196	0.0887	0.0459	0.0383	0.0685
пирен	0.0782	0.0568	0.0323	0.0324	0.0429
бензо(а)антрацен	0.0362	0.0283	0.0181	0.0163	0.0242
хризен	0.0178	0.0145	0.0080	0.0067	0.0098
бензо(b)флуорантен	0.1148	0.0778	0.0418	0.0286	0.0384
бензо(k)флуорантен	0.0114	0.0100	0.0061	0.0008	0.0017
бензо(а)пирен	0.0147	0.0136	0.0043	0.0054	0.0081
дибенз(a,h)антрацен	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
бензо(g,h,i)перилен	0.0894	0.0609	0.0463	0.0206	0.0482

Б) в листьях

2009	**П-39**	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**
фенантрен	0.1710	0.1349	0.2869	0.2336	0.1427
антрацен	0.0554	0.0509	0.0484	0.0351	0.0289
флуорантен	0.1892	0.1523	0.1126	0.0858	0.1184
пирен	0.1063	0.0831	0.0598	0.0380	0.0614
бензо(а)антрацен	0.0551	0.0491	0.0256	0.0173	0.0280
хризен	0.0241	0.0186	0.0090	0.0063	0.0097
бензо(b)флуорантен	0.1360	0.0987	0.0421	0.0292	0.0379
бензо(k)флуорантен	0.0134	0.0116	0.0052	0.0039	0.0051
бензо(а)пирен	0.0191	0.0134	0.0072	0.0056	0.0035
дибенз(a,h)антрацен	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
бензо(g,h,i)перилен	0.0955	0.0667	0.0393	0.0205	0.0547

В) в подстилке (хвойных растительных сообществ)

2010	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**
фенантрен	0.1181	0.0663	0.0687	0.1510
антрацен	0.0190	0.0065	0.0034	0.0289
флуорантен	0.2164	0.1418	0.1212	0.0994
пирен	0.0709	0.0541	0.0485	0.0443
бензо(а)антрацен	0.0460	0.0279	0.0260	0.0226
хризен	0.0165	0.0125	0.0112	0.0666
бензо(b)флуорантен	0.0983	0.0624	0.0563	0.0396
бензо(k)флуорантен	0.0185	0.0114	0.0096	0.0072
бензо(а)пирен	0.0231	0.0146	0.0112	0.0080
дибенз(a,h)антрацен	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
бензо(g,h,i)перилен	0.0813	0.0696	0.0395	0.0312

Приложение 8. Содержание ПАУ в почвах на территории Национального парка «Лосиный остров», мкг/г

А) отобранных осенью под лиственными:

	П-39	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**	**П-44а**	**П-45а**	**П-47**	**П-48а**
фенантрен	0.056	0.028	0.018	0.008	0.019	0.019	0.006	0.008	0.039
антрацен	0.160	0.082	0.082	0.028	0.129	0.054	0.050	0.059	0.069
флуорантен	0.165	0.095	0.072	0.031	0.134	0.057	0.056	0.065	0.081
пирен	0.061	0.027	0.019	0.004	0.027	0.008	0.006	0.009	0.019
бензо(а)антрацен	0.068	0.045	0.038	0.018	0.078	0.029	0.030	0.031	0.032
хризен	0.020	0.007	0.007	0.002	0.013	0.004	0.004	0.004	0.007
бензо(b)флуорантен	0.182	0.105	0.085	0.048	0.172	0.074	0.070	0.087	0.077
бензо(k)флуорантен	0.026	0.016	0.014	0.007	0.027	0.011	0.011	0.014	0.012
бензо(а)пирен	0.021	0.006	0.005	0.002	0.010	0.003	0.003	0.003	0.005
дибенз(a,h)антрацен	0.005	0.004	0.004	0.002	0.011	0.005	0.003	0.004	0.005
бензо(g,h,i)перилен	0.050	0.023	0.019	0.010	0.039	0.014	0.010	0.018	0.038

под хвойными:

	П-39	**П-40**	**П-41а**	**П-42а**	**П-43а**
фенантрен	0.042	0.044	0.058	0.040	0.057
антрацен	0.141	0.011	0.010	0.013	0.216
флуорантен	0.193	0.061	0.092	0.053	0.239
пирен	0.057	0.052	0.045	0.042	0.058
бензо(а)антрацен	0.079	0.051	0.055	0.068	0.143
хризен	0.013	0.012	0.014	0.011	0.010
бензо(b)флуорантен	0.172	0.152	0.119	0.103	0.269
бензо(k)флуорантен	0.023	0.009	0.009	0.011	0.035
бензо(а)пирен	0.016	0.004	0.010	0.012	0.009
дибенз(a,h)антрацен	0.005	0.001	0.001	0.001	0.015
бензо(g,h,i)перилен	0.026	0.014	0.017	0.011	0.080

Б) отобранных весной под лиственными:

	П-39	П-40	П-41а	П-42а	П-43а	П-44а	П-45а	П-47	П-48а
фенантрен	0.064	0.024	0.067	0.007	0.235	0.071	0.022	0.007	0.091
антрацен	0.174	0.057	0.118	0.058	0.430	0.098	0.109	0.058	0.087
флуорантен	0.184	0.078	0.163	0.060	0.693	0.152	0.171	0.089	0.144
пирен	0.070	0.025	0.051	0.009	0.221	0.037	0.045	0.016	0.037
бензо(а)антрацен	0.069	0.032	0.057	0.031	0.218	0.045	0.068	0.038	0.043
хризен	0.019	0.006	0.017	0.004	0.068	0.015	0.017	0.007	0.013
бензо(b)флуорантен	0.159	0.071	0.117	0.073	0.425	0.108	0.138	0.088	0.098
бензо(k)флуорантен	0.025	0.011	0.021	0.012	0.075	0.019	0.024	0.015	0.018
бензо(а)пирен	0.020	0.005	0.012	0.003	0.061	0.011	0.010	0.004	0.010
дибенз(a,h)антрацен	0.010	0.004	0.010	0.004	0.028	0.008	0.008	0.006	0.007
бензо(g,h,i)перилен	0.050	0.020	0.046	0.020	0.087	0.038	0.040	0.024	0.064

под хвойными:

	П-39	П-40	П-41а	П-42а
фенантрен	0.0776	0.0786	0.0675	0.0590
антрацен	0.1568	0.0268	0.0570	0.0737
флуорантен	0.1897	0.0558	0.0545	0.0373
пирен	0.0685	0.0257	0.0191	0.0369
бензо(а)антрацен	0.0894	0.0260	0.0379	0.0548
хризен	0.0189	0.0397	0.0400	0.0253
бензо(b)флуорантен	0.1590	0.0474	0.0775	0.0393
бензо(k)флуорантен	0.0270	0.0805	0.0514	0.0420
бензо(а)пирен	0.0163	0.0156	0.0014	0.0115
дибенз(a,h)антрацен	0.0114	0.0235	0.0058	0.0107
бензо(g,h,i)перилен	0.0568	0.0144	0.0334	0.0408

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапкина Г.И., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б. Полициклические ароматические углеводороды в почвах парково-рекреационной зоны Москвы // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов. – 2009. – Выпуск №11. – С. 27-29.

2. Агапкина Г.И, Чиков П.А, Шелепчиков А.А, Бродский Е.С, Фешин Д.Б, Буханько Н.Г, Балашова С.П. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2007. №3, с 38-46.

3. Акопова Г.С. Образование полициклических ароматических углеводородов и их содержание в окружающей среде // Безопасность жизнедеятельности.- 2002.- № 9.- С 45-51.

4. Атлас «Компас Москвы». Периодическое справочное картографическое издание. Выпуск №50. - М.: ООО «Геоцентр-Гроуп» (Роскартография). - 2011.

5. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.У., Шамсутдинова Л.Р., Саитова Л.Р., Хакимова А.А. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Том 17. - №5. -С. 9-15.

6. Басова Е.М., Иванов В.М. Современное состояние высокоэффективной жидкостной хроматографии полициклических ароматических углеводородов // Вестник Московского университета. – 2011. – Т. 52. – №3. – С. 163-174.

7. Белинская Е.А., Зыкова Г.В., Семенов С.Ю., Финаков Г.Г. Мониторинг стойких токсических веществ в почве г. Москвы // Экология. – 2015. – Т. 16. – С. 1-7.

8. Белюченко И. С. Сложный компост и детоксикация агроландшафтных систем // Научный журнал КубГАУ -. 2014. - №97. - С.86-96.

9. Борисюк Н.В, Дмитриев С.М. Автомобильно-дорожный комплекс в системе городской экологии // Экология и жизнь.-2013.- №1.- С.63-67.

10. БСТ-МВИ-03-03. Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в продовольственном сырье, пищевых продуктах и почве методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М. 2003.

11. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона.ФГБУ «Центральное УГМС».-2014.

12. Габов Д.Н, Безносиков В.А, Кондратенок Б.М. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги. // Почвоведение. – 2008. - №11. – с. 1334-1343.

13. Габов Д.Н, Безносиков В.А, Кондратенок Б.М. Полициклические ароматические углеводороды в подзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почвах фоновых ландшафтов. // Почвоведение. – 2007. - №3.- С. 282-291.

14. Габов Д.Н. Закономерности формирования состава полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растение европейского северо-востока России // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2007. - №5 с. 181

15. Геннадиев А.Н, Пиковский Ю.А, Флоровская В.Н, Алексеева Т.А, Козин И.С ,Оглоблина А.И, Раменская М.Е, Теплицкая Т.А, Шурубор Е.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. - М.:Изд-во МГУ, 1996.196 с

16. Геннадиев А.Н, Пиковский Ю.И, Чернянский С.С, Алексеева Т.А, Ковач Р.Г. Формы и факторы накопления ПАУ в почвах при техногенном загрязнении (Московская область) // Почвоведение, 2004, №7, с.804-818.

17. Геннадиев А.Н, Пиковский Ю.И, Чернянский С.С, Алексеева Т.А. Геохимия полициклических ароматических углеводородов при техногенном

загрязнении окружающей среды // Геохимия биосферы.- Москва-Смоленск, 2006.- С 17-19.

18. Геннадиев А.Н, Чернянский С.С, Ковач Р.Г. Сферические магнитные частицы как микрокомпоненты почв и трассеры массопереноса // Почвоведение.- 2004.- №5.- С. 566-580.

19. Герасимова С.А. Загрязнение городских почв 3,4-бензапиреном и проблемы обращения с экологически опасными почвами и грунтами при строительстве на территории г. Москвы // II Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». Сборник докладов, Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007

20. Глушков А.Н. Канцерогенез: основные понятия, источники и классификация канцерогенов // Медицина в Кузбассе.- 2003.- № 2.- С 8-13.

21. Голохваст К.С, Христофорова Н.К, Кику П.Ф, Гульков А.Н. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных частиц в атмосферном воздухе // Бюллетень физиологии и патологии дыхания.-2011.-№40.- С. 94-100.

22. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В.С. Хомич и др., Мн.: Беларус. наука, 2013. – С. 301 с.

23. Горшков А.Г, Михайлова Т.А, Бережная Н.С, Верещагин А.Л. Хвоя сосны как тест-объект для оценки распространения органических поллютантов в региональном масштабе // Доклады Академии наук.- 2006.- Т. 408.- С 138-145.

24. Горшков А.Г., Маринайте И.И., Оболкин В.А., Барам Г.И., Ходжер Т.В. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове Южного Побережья оз. Байкал // Оптика атмосферы и океана. – 1998. - №8. – С.913-918.

25. Горький А.В., Петрова Е.А. Загрязнение Санкт-Петербурга органическими токсикантами // Отчет РГЭЦ ФГУП "Урангео" МПР РФ, 2012

26. Госдоклад «О состоянии почв в городе Москве за 2008». 7.4.1.2008.

27. Гречищева Н.Ю. Взаимодействие гумусовых кислот с полиядерными ароматическими углеводородами: химические и токсикологические аспекты: дис. ... канд. хим. наук. МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 2000.

28. Дикун П.П. Бенз(а)пирен. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галоген-производные углеводородов. - Л.: Химия, 1990

29. Другов Ю.С, Родин А.А. Мониторинг органических загрязнений природной среды. - М.: Бином, 2009.

30. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе. М.: Бином. 2009.

31. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н., Жангуров Е.В., Низовцев Н.А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почвы // Лесоведение. – 2015. - №1. – с. 52-62.

32. Егорова А.В, Мамонтова В.Н, Афти И.А, Никифорова В.А, Янкевич М.И, Жаковская З.А. Бактериальная деградация полициклических ароматических углеводородов в городских почвах // Известия СПбГТИ(ТУ). Химия и химическая технология. Экология и системы жизнеобеспечения.-2014.- №23.- С. 75-78.

33. Ересько М.А. Изменение почвенного покрова в зонах размещения промышленных объектов Беларуси // Экологический вестник. Научно-практический журнал. 2012. - №3(21).

34. Ершов Г.Л, Парасич Р.Г. Оценка степени загрязнения снега вблизи автодорог с интенсивным движением автотранспорта // Вестник Омского государственного педагогического университета.- 2006.- С. 57-60.

35. Завгородняя Ю.А., Бочарова Е.А., Кольцов Г.И. Определение уровня загрязнения почв методом автоматизированной ускоренной экстракции в субкритических условиях // Экология и промышленность России. - 2012. - №2. - С.30-33.

36. Запевалов М.А, Хесина А.Я, Кривошеева Л.В, Хитрово И.А, Макаренко А.А, Савкин А.Е, Полканов М.А, Голобоков С.М. Полициклические

ароматические углеводороды в выбросах установки сжигания производственных отходов // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН.- 1996.- № 2.- С 34-39.

37. Ильницкий А.П. Природные источники канцерогенных углеводородов // Канцерогенные вещества в окружающей среде. М.: Гидрометеоиздат.-1979.- С 25-28.

38. Канило П.М, Соловей В.В, Костенко К.В. Проблемы загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными супертоксикантами // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.- 2011.- №52.- С 47-53.

39. Капелькина Л.П. Загрязняющие вещества в почвах мегаполисов. Проблемы и парадоксы нормирования // Экология урбанизированных территорий. – 2010. - №3. - С. 13-19.

40. Карташова Е., Юрина Т., Терешкина С. Роль мико-и микробиоты в проблемах, связанных с озеленением крупных городов // Проблемы озеленения крупных городов // Прима-Пресс Москва, 2008. — С. 133–135.

41. Киреева Н.А, Новоселова Е.И, Ерохина Н.И, Григориади А.С Накопление бенз(а)пирена в системе «почва-растение» при загрязнении нефтью и внесении активного ила // Вестник ОГУ.- 2009.- №6 .- С. 156-160

42. Киселева В.В, Чуенков В.С. Факторы, определяющие состояние насаждений НП «Лосиный остров» // Научные труды национального парка «Лосиный остров», выпуск 1 (к 20-тилетию со дня организации национального парка) [Сб.ст.] / Под ред. В.В.Киселевой. М.:2003 , с 31-36.

43. Киселева В.В. Национальный парк «Лосиный остров» // Состояние природной среды Национального парка «Лосиный остров» (по данным мониторинга за 2003-2005гг.). Пушкино. - 2006.- С.12-14.

44. Когут М.Б, Шульц Э, Галактионов А.Ю, Титова Н.А. Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулоденсиметрических фракциях почв парков Москвы // Почвоведение.- 2006.- №10.- С. 1182-1189.

45. Котельникова И.М, Куимова Н.Г, Павлова Л.М, Сергеева А.Г, Шумилова Л.П. Полициклические ароматические углеводороды в твердых частицах снежного покрова как показатели загрязнения городской атмосферы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. -2011.- №1(б).- Т. 13. – С. 1341-1346.

46. Кошелева Н.Е, Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах(на примере ВАО Москвы) // Почвоведение.- 2011.- №2.- С. 25-35.

47. Крылов А.И., Лопушанская Е.М., Александрова А.Г., Конопелько Л.А.. Определение полиароматических углеводородов методом газовой хроматографии- масс-спектрометрии с изотопным разбавлением (ГХ/МС/ИР) // Аналитика.- 2012.- №3.- С.6-16.

48. Кухарчик Т. И, Хомич В.С, Какарека С.В, Курман П.В, Козыренко М.И. Загрязнение почв урбанизированных территорий Белоруссии полициклическими аромтическими углеводородами // Почвоведение.- 2013.- №2.- С. 163-171

49. Кырова С.А, Ситников А.С, Бордунов С.В. Анализ уровня загрязнения приоритетными экотоксикантами в г. Абакане Республики Хакасия // Вестник Томского государственного педагогического университета.- 2006.- № 6.- С 76-81.

50. Максимова Е.Ю. Полициклические ароматические углеводороды в почвах, пройденных верховым и низовым пожаром / Е.Ю. Максимова, А.С. Цибарт, Е.В. Абакумов // Известия Самар. Науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3. – С.63–68.

51. Лебедева Е.А. Охрана воздушного бассейна от вредных технологических и вентиляционных выбросов: Учебное пособие.- Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2010.- 196 с.

52. Лим Т.Е. Влияние транспортных загрязнений на здоровье человека // Экология человека.- 2010.- №1.- С 25-28

53. Лодыгин Е.Д, Чуков С.Н, Безносиков В.А, Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург) // Почвоведение.- 2008.- №12.- С. 1494-1500.

54. Лубкова Т.Н. Оценка и прогноз техногенного загрязнения локальных экосистем химическими элементами на основе балансовых расчетов. Авт. дисс. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2007

55. Майстренко В. Н., Клюев Н. А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. – М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2004.

56. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкотоксикантов. – //М.: Химия. – 1996.

57. Макаров М.И., Малышева Т.И., Маслов М.Н., Кузнецова Е.Ю., Меняйло О.В. Углерод и азот микробной биомассы в почвах южной тайги при определении разными методами // Почвоведение. 2016. № 6. С. 733–744.

58. Мананков А.В., Кара-Сал И.Д. Определение уровня загрязнения пылью снежного покрова г. Кызыла (Республика Тыва) // Вестник ТГАСУ. – 2013. - №3.- с. 308-314.

59. Маркова Ю.Л. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка “Лосиный остров”: Автореф. дис… канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2003.

60. Медведева А.В. Микробная деградация полициклических ароматических углеводородов // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская.- 2013.- № 5.

61. Нгандже Т.Н, Абара Э.А, Ибе К.А, Неджи П.А. Экологическое и токсикологическое воздействие полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на окружающую среду // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов.- 2009.- С 75-81

62. Нейман И.М. Пищевые продукты растительного происхождения и их загрязнение химическими канцерогенами // Растения и химические канцерогены. - Л. Наука, 1979

63. Нефедьев К. В. Влияние автотранспорта на загрязнение почвы г. Уфы комплексом приоритетных полициклических ароматических углеводородов. Химия и компьютерное моделирование // Бутлеровские сообщения.- 2002.- № 8.— С. 42-48.

64. Никифорова Е.М, Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение.- 2011.- №9.- С.1114-1127.

65. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.62-09. Методика выполнения измерений массовых долей полициклических ароматических углеводородов в почве, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах производства и потребления методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М. 2009.

66. Постановление Правительства Москвы от 27.07.2004 №514 «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве».

67. Постановление Правительства г. Москвы от 10.09.2002 №743-ПП «Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы (с изменениями на 30 августа 2016 года)»

68. Почва, город, экология // под общей ред. акад. РАН Г.В.Добровольского. – М:- Фонд за экологическую грамотность, 1997.- 320 с.

69. Приказ Москомархитектуры от 25.04.2002 № 89 «Об утверждении Положения о видах функционального, строительного, ландшафтного назначения участков территории города Москвы».

70. Прокофьева ТВ., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию // Почвоведение, 2011, № 5, С. 611-623.

71. Пшенин В. Н. Загрязнение почвенного покрова придорожных территорий //Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики//Труды IV Международной научно-практической конференции. – 2008. – С. 20-21.

72. Рапута В.Ф, Коковкин В.В, Девятова А.Ю, Чирков В.А, Казьмин О.Е. Закономерности длительного загрязнения атмосферы и снегового покрова г. Новосибирска // Труды Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института, выпуск 106, Проблемы гидрометеорологических прогнозов, экологии и климата Сибири (к 40-летию образования СибНИГМИ), под ред. Крупчатникова В.Н, Климова О.В – Новосибирск, 2011, 133-145 с.

73. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю за загрязнением атмосферы» , 1988

74. Ровинский Ф.Я, Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов.- Л.: Гидрометеоиздат. 1988.

75. Сафарова В.И, Хатмуллина Р.М, Кудашева Ф.Х, Фатьянова А.Д, Шихова Л.К, Китаева М.И., Шайдулина Г.Ф. Загрязнение бенз(а)пиреном объектов окружающей среды на территории республики Башкортостан // Экологическая химия.- 2002.- Том 11.- №1.- С 54–59.

76. Семенюк О.В., Ильяшенко М.А., Бобрик А.А. Оценка экологических функций парковых почв на основе показателей их биологической активности // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. - №3. – С. 35-39.

77. Слепян Э.И, Шейнерман Д.А, Гребень А.Е, Силина Н.П, Андреева З.А, Фирсов Г.А, Эрик В.А. Бенз(а)пирен в опадающих листьях липы, тополя и ясеня городских зеленых насаждений // Канцерогенные вещества в окружающей среде.- М.: Гидрометеоиздат, 1979.

78. Смит У.Х. Лес и атмосфера. - М.: Прогресс, 1985.

79. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // Почвоведение. – 1997. - №1.- С. 96-101.

80. Суздорф А.Р, Морозов С.В, Кузубова Л.И, Аншиц Н.Н, Аншиц А.Г. Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения // Химия в интересах устойчивого развития. Новосибирск.- 1994.- Том 2. – С. 133-139.

81. Тимощук С.П. Геоэкологическая оценка природных компонентов городской среды на примере города Москвы (донные отложения - поверхностные воды - почвы). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. - Воронеж. - 2011.

82. Фроловская В.Н, Пиковский Ю.И. Некоторые аспекты геохимии полициклических ароматических углеводородов // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: МГУ.- 1982.- С.71-83

83. Хесина А.Я, Кривошеева Л.В, Хитрово И.А, Акопова Г.С, Власенко Н.Л, Шарихина Л.В. Оценка степени загрязнения окружающей среды в Москве некоторыми промышленными объектами, связанными с хранением и переработкой природного газа // Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН.-1997.- Т. 8.- №2.- С. 3-11.

84. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Эколого-геохимические исследования городских ландшафтов Беларуси: результаты, проблемы и перспективы // Геохимия биосферы.- Москва-Смоленск, 2006.- 2004.

85. Цибарт А.С. Полициклические ароматические углеводороды в пирогенных почвах заповедных территорий (Хакасский заповедник) // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – С.50–55.

86. Шаповал Е.В. Происхождение, содержание полициклических ароматических углеводородов в нефтепродуктах и оценка их воздействия на окружающую среду. Автореф. дисс. канд. хим. наук. - Краснодар. - 2014.

87. Шпак А.В, Алексеенок Д.А, Герасимова С.А. Определение ПАУ в заваренном чае и сухом чае методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием // Сборник докладов/Материалы международной конференции «Аналитические методы измерения и приборы в пищевой промышленности», 2005, с 54-58

88. Экологическая карта Москвы 2011. - М.: Эксмо. 2011

89. Экологические очерки / Р.Г. Хлебопрос, О.В. Тасейко, Ю.Д. Иванова [и др.]. - Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. - 130 с.

90. Экологические функции городских почв / Ред. А.С.Курбатова, В.Н.Башкин. М. – Смоленск: Маджента. 2004.

91. Яковлев А.С., Решетина Т.В., Сизов А.П., Прокофьева Т.В., Луковская Т.С., Самухина Т.М., Евдокимова М.В. Управление качеством городских почв. М.:- МАКС Пресс.- 2010

92. Яковлева Е.В. Полициклические ароматические углеводороды в системе почва-растение: дис … канд.биол.наук. МГУ им. М. В. Ломоносова. Москва, 2009.

93. Ямпольская Т.Д, Фахрутдинов А.И, Васильева И.С. Состояние почвогрунтов территорий ряда автозаправочных станций города Сургута // Известия Самарского научного центра Российский академии наук. – 2014. – Том 16. - №1(4).- С. 1134-1138.

94. Янгутов А.И. Организация комплексного мониторинга в Национальном парке «Лосиный остров» // Состояние природной среды Национального парка «Лосиный остров» (по данным мониторинга за 2003-2005гг.). Пушкино. - 2006.- С.6-9.

95. Application Note 324. Dionex Accelerated Solvent Extraction of hydrocarbon contaminants (BTEX, Diesel and TPH) in soils. http://www.dionex.com

96. Application Note 338. Dionex extraction of total petroleum hydrocarbon contaminants (Diesel and Waste Oil) in soils by Accelerated Solvent Extraction. http://www.dionex.com

97. Atanassova I., Brümmer G. W. Polycyclic aromatic hydrocarbons of anthropogenic and biopedogenic origin in a colluviated hydromorphic soil of Western Europe //Geoderma. – 2004. – Т. 120. – №. 1. – С. 27-34.

98. Baek S. O, Field R. A, Goldstone M. E, Kirk P. W, Lester J. N., and Perry R. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior // Water, Air, and Soil Pollution.- 1991. - V 60.- P. 279- 300.

99. Banger K., Toor G.S., Chirenje T., Ma L. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of different land uses in Miami, Florida // Soil and Sediment Contamination. - 2010.- V.19.- P.231–243.

100. EPA Methods. Method 3545A. Pressurized fluid extraction (PFE). Revision 1. 2007.

101. Howsam M, Jones K.C, Ineson P. PAHs associated with the leaves of three deciduous tree species. Concentrations and profiles //Environmental Pollution.- 2000.- V 108.- P. 413-424.

102. Jiang Y. F, Wang X. T, Wang F, Jia Y, Wu MH, Sheng GY, Fu JM. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China //Chemosphere. – 2009. – T. 75. – №. 8. – P. 1112-1118.

103. Jouraeva V. A, Johnson D. L, Hassett J.P, Nowak D J. Differences in accumulation of PAHs and metals on the leaves of Tilia_euchlora and Pyrus calleryana. //Environmental Pollution.- 2002.- V 120.- P 331-338.

104. Kohl S.D, Rice J.A. Contribution of lipids to the nonlinear sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons to soil organic matter // Organic Geochemistry.- 1999.- V 30.- № 8.- P. 929-936.

105. Kuoppamaki K, Setala H, Rantalainen A-L, Kotze D. Urban snow indicates pollution originating from road traffic // Envinronmental pollution.- 2014.-V 195.-P. 56-63.

106. Ma L.L, Chu S.G, Wang X.T, Cheng H.X., Liu X.F., Xu X.B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soils from outskirts of Beijing, China // Chemosphere. – 2005. – V.58. – P.1355-1363.

107. Maisto G., De Nicola F., Maria V.P., Alfani A. 2006. PAHs and trace elements in volcanic urban and natural soils // Geoderma.-2006.-T. 136.-№.1.-P. 20–27.

108. Masih Amit, Taneja Ajay. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations and related carcinogenic potencies in soil at a semi-arid region of India // Chemosphere.- 2006.- № 65.- P. 449-456.

109. Meharg A.A, Wright J, Dyke H, Osborn D. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dispersion and deposition to vegetation and soil following a large scale chemical fire // Environmental Pollution.- 1998.- V 99.- P 29-36

110. Menichini E. Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons : levels and sources of variability // Science of the total environment.- 1992.-V 116.- P 323-327

111. Morillo E, Romero A. S, Maqueda C, Madrid L, F. Ajmone-Marsan,H. Grcman, Davidson cC. M, Hursthouse A. S. and Villaverde J. Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities //Journal of Environmental Monitoring. – 2007. – Т. 9. – №. 9. – С. 1001-1008.

112. Nasr Omar Yousef M.J, M. Radzi Bin Abasa, Kamal Aziz Ketulya, Norhayati Mohd. Tahir. Concentrations of PAHs in atmospheric particles (PM-10) and roadside soil particles collected in Kuala Lumpur, Malaysia // Atmospheric Environment.- 2002.- V 36.- P 247–254.

113. Pistikopoulos E, Masclet E, Mouvier, G. Environmental Pollution and Carcinogenic Risks // Atmospheric Environment.- 1990.- V. 24.-P. 1189-1195.

114. Qiao Min, Wang Chunxia, Shengbiao Huang, Wang Donghong, Zijian Wang. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China // Environment International.- 2006.- V. 32.- P 28–33.

115. Qingyang Liu, Yanju Liu, Dandan Hu and Xinxin Wang. Polycyclic aromatic hydrocarbons in traffic soil and Pinus needles of Beijing, China // Chemical Speciation and Bioavailability.- 2011.-V 23(4).- P. 243-248.

116. Risk assessment studies. Chemical Hazard Evaluation. Polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued meat // Food and Enviromental Hygiene Department. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2004.

117. Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A. Sources of the fine organic aerosol 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks // Environmental Science Technology. - 1993.- N27.- P. 1892–1904.

118. Simonich L.S, Hites A.R. Organic pollutant accumulation in vegetation // Enviromental science & technology.- 1995.- V 29.- № 12.- P 237-240.

119. Slezakova K, Castro Dionisia, Cristina Delerue–Matos, Maria da Conceição Alvim–Ferraza, Simone Morais, Maria do Carmo Pereira. Impact of vehicular traffic emissions on particulate-bound PAHs: Levels and associated health risks // Atmospheric Research. – 2013. – V. 127. – P.141–147.

120. Smith E.C. Kilian, Jones C. Kevin. Particles and vegetation: implications for the transfer of particle-bound organic contaminants to vegetation. // The Science of the Total Environment.-2000.- V .246.- P 207-236.

121. Soren T, Gerhard W. Bioformation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions // Soil Biology & Biochemistry.- 2002.- V 34.- P 733-735

122. Tang Lily, Tang Xiang-Yu, Yong-Guan Zhu, Ming-Hui Zheng, Qi-Long Miao. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils in Beijing, China // Environment International.- 2005. – V. 31.- P. 822–828.

123. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contaminationand profiles // Environmental Pollution.- 1999.- V 105.- P 67-74.

124. Wang G, Zhang Q, Peng MA, Rowden J, Mielke H.W, Gonzales C,Powell E. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils: case studies of Detroit and New Orleans //Soil & Sediment Contamination. – 2008. – T. 17. – №. 6. – C. 547-563.

125. Wang W, Simonich S.L.M, Xue M, Zhao J, Zhang N, Wang R, Cao J, Tao S. Concentrations, sources and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Beijing, Tianjin and surrounding areas, North China //Environmental Pollution. – 2010. – T. 158. – №. 5. – C. 1245-1251.

126. Weiss P., Riss A., Gschmeidler E. Investigation of heavy metal, PAH, PCB patterns and PCDD/F profiles of soil samples from an industrialized urban area with multivariate statistical methods // Chemosphere. - 1994.- №29. – P.2223–2236.

127. Wilcke W., Lillienfein J., do Carmo Lima S., 1999. Contamination of highly weathered urban soils in Uberlandia, Brazil // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 1999. - № 162. - P. 539–548.

128. Wilcke W., Muller S., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in hydromorphic soils of the tropical metropolis Bangkok // Geoderma 91, P. 297–309.

129. Wilcke Wolfgang. Synopsis Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in soil-a Rewiew //Journal of Plant Nutrition and Soil Science.- 2000.- V163.- P 229-248.

130. Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the UK environment: a preliminary source inventory and budget // Environmental Pollution, 1995, V. 88, p. 91–108.

131. Xing-hong LI, Ling-ling MA, Xiu-fen LIU, Shan FU, Cheng Hang-xin, Xiao-bail XU. Polycyclic aromatic hydrocarbon in urban soil from Beijing, China // Journal of environmental science. - 2006.- V 18.- № 5.- P 944-950.

132. Yang S.Y.N., Connell D.W., Hawker D.W. PAHs in air, soil, and vegetation in the vicinity of an urban roadway // Science Total Environment. - 1991. -№ 66. - P. 127–136.

133. Zuo Q., Duan Y.H, Yang Y, Wang X.J, Tao S. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China // Environmental pollution. – 2007. – V 147. – P. 303-310