
ВЛИЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА И ВОЗРАСТА ЛЕСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ (на примере лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им.К.А. Тимирязева)

Э.А. Довлетярова¹, Л.В. Мосина²,
А.Г. Столярова¹

¹Кафедра ландшафтной архитектуры и дизайна
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

²Кафедра экологии
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Россия, 127550

Состояние лесных насаждений в лесопарковых экосистемах мегаполисов и выполнение ими частных санитарно-экологических функций в значительной степени зависит от интенсивности воздействия антропогенных факторов города и корректируется также составом древесных пород: установлено, что за столетний период (1909—2000 гг.) загрязнение почв Лесной опытной дачи (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева тяжелыми металлами значительно возросло: по свинцу — в 40—50 раз, по меди — в 17—24 раза и цинку — в 4—9 раз. Накопление тяжелых металлов в почве тесно связано с удалением от источника загрязнения (городских автомагистралей, промышленных предприятий), с комплексом свойств почвы, обусловленных ее уплотнением при интенсивной рекреационной нагрузке, а также с составом древесно-кустарниковый насаждений.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, загрязнение, урбанизация.

Лесная опытная дача (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева расположена почти в центре города Москвы (семь километров от Кремля). Территория лесной опытной дачи в связи с ее уникальностью привлекает внимание многих ученых и практиков в области лесоводства, почвоведения, экологии, ботаники, агрохимии и т.д. [8]. Уникальный лесной массив площадью 232,3 га расположен в северо-западном округе г. Москвы, составляет юго-западную часть землепользования РГАУ [7].

ЛОД представляет собой почти правильный прямоугольник, вытянутый с северо-запада на юго-восток, в длину 2,3 км, в ширину 1,6 км.

Ни в одном городе мира нет такого крупного и разнообразного по составу и строению насаждений лесного участка, как ЛОД. Профессор Н.С. Нестеров назвал ее «научной лабораторией и сокровищницей знаний» [16]. Здесь классиком отечественного лесоводства М.К. Турским было заложено около 150 пробных площадей, на которых более 100 лет ведутся регулярные таксационные исследования.

Разнообразие породного состава и структуры древостоя, длительное (более 100 лет) произрастание и отсутствие оборота рубки делает этот объект уникальным для экологических исследований.

Значение этого лесного массива, «зеленых легких», обусловлена напряженностью экологической обстановки, сложившейся в Москве, в частности, в ее Северном административном округе (Тимирязевский район), на территории которого расположена ЛОД РГАУ-МСХА.

На севере дача граничит с землями плодовой и овощной станций РГАУ-МСХА; на востоке граница проходит по Тимирязевской улице, на юге — по Чукинскому тупику, на западе к даче прилегают многоэтажные дома, а уже далее идет линия железной дороги Москва—Рига.

Территория ЛОД имеет более чем вековую историю. С XVI столетия до 1828 г. земли Лесной опытной дачи входили в состав частных владений, в том числе князей Шуйского, Прозоровского, Нарышкина, царей А.М. Романова, Петра I, Елизаветы Петровны, графов К. Разумовского и Л. Разумовского, Уварова, князей Долгорукова и Горчакова [7].

Впервые насаждения Дачи были обследованы в 1862 г. известным ученым Варгасом де Бедемаром, который провел таксацию лесных насаждений, заложил первые 16 пробных площадей, большинство из которых — типичные, естественного происхождения насаждения коренного типа («сложного сосняка») со вторым ярусом из дуба и с подлеском из лещины. Со временем количество постоянных пробных площадей на территории лесной дачи было доведено до 266, на них непрерывно проводились исследования и наблюдения. Однако к 1962 г. их число по различным причинам сократилось до 147. В настоящее время количество пробных площадей составляет 156. Все они расположены в 14 кварталах Лесной опытной дачи [6].

За почти 150-летнюю историю Лесная опытная дача стала базой научно-исследовательской и учебной работы. Долголетние стационарные исследования, проводимые на пробных площадях, имеют огромное значение не только для лесоводственной науки, но и для смежных отраслей знаний. Наиболее полная таксационно-лесоводческая характеристика пробных площадей Лесной опытной дачи приведена в работе проф. В.П. Тимофеева и др. [12].

Окружение ЛОД кольцом шоссейных дорог, нерегулируемая рекреация (в отдельные выходные дни ее посещает более 5 тыс. человек), а также близость бензозаправочной станции создают на фоне общего экологического неблагополучия дополнительную антропогенную нагрузку на эти «зеленые легкие» [7].

ЛОД является многолетней экспериментальной базой для научных и практических исследований, кроме того, входящий в нее лесной массив имеет колоссальное значение для оздоровления атмосферы города. Лесные насаждения ЛОД поглощают 12 тыс. тонн углекислого газа, выделяют 10 тыс. тонн кислорода, 1 тонну фитонцидов, каждый килограмм которых стерилизует воздух на площади от 300 до 500 га [5].

Одним из приоритетных загрязнителей почвы, содержащихся в выхлопных газах автомобилей, являются тяжелые металлы. Кроме того, некоторые тяжелые металлы (Cd и Zn) входят в состав смазочных масел и добавок к бензину и попадают в окружающую среду в результате истирания автомобильных покрышек (Cd) [5]. Поэтому в крупных городах имеется угроза загрязнения почв тяжелыми металлами, в частности, Москва подвержена этой тенденции.

К тяжелым металлам относятся химические элементы с атомной массой более 40 атомных единиц или с плотностью более 5 г/см³. По токсичности и способности накапливаться в трофических цепях наиболее опасными являются: ртуть, свинец, кадмий, медь, ванадий, олово, цинк, молибден, кобальт, никель. Три элемента

(ртуть, свинец, кадмий) считаются наиболее токсичными. Повышенные концентрации их в живых организмах приводят к угнетению роста и развития [14].

Тяжелые металлы (ТМ) являются протоплазматическими ядами, токсичность их возрастает по мере увеличения атомной массы. Токсичность металлов проявляется различно. При увеличении концентрации тяжелые металлы способны замедлять деятельность ферментов [14].

О высоком антропогенном загрязнении ТМ почв Московского региона свидетельствуют многочисленные данные [5; 11; 13]. Исследования почвенной фауны в столице и регионе установили наличие сильнейшего антропогенного воздействия на почвенные покровы города Москвы, степень которого приближает данные почвы по экологическим характеристикам к техногенным почвам [11]. При этом некоторые исследователи, оценивая состояние загрязненности почв Москвы тяжелыми металлами, делают прогноз о невозможности данных почв к самоочищению [10].

Объекты и методы исследования. В качестве объекта изучения были выбраны почвы различных пробных площадей ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Специальные исследования включали:

- изучение содержания и форм тяжелых металлов (ТМ),
- лесоводственно-таксационные исследования.

Валовое содержание тяжелых металлов определяли на рентгено-флуоресцентном анализаторе модели ТЕФА-6Ш фирмы Ортек (США). Содержание подвижных форм ТМ — методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре ААС 450 и РС-5100 фирмы «Perkin-Elmer» в пламени ацетилен—воздух по методике Н.Г. Зырина и др. (1981) и на плазменном анализаторе методом связанной аргонной плазмы (ICAP-метод) [6].

Для определения степени токсичности тяжелых металлов использовали методику определения фракционного состава элементов [4], которая выявляет степень подвижности их по мере нарастания прочности связи: обменные (вытяжка 1 н $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); доступные (вытяжка $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, рН 4,8); потенциально доступные (вытяжка 1 н HCl) и прочно сорбированные — недоступные (вытяжка 6 н HCl). Доступные формы тяжелых металлов определяли ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8 [7].

Промышленные выбросы, загрязняя окружающую среду, нарушают функционирование рекреационных лесных экосистем, что снижает их санитарно-гигиенические функции. Так, осаждаясь на листьях, они вызывают их ожоги, приводят к сокращению площади фотосинтетического аппарата, нарушают ионный обмен и др. [15; 2].

Сернистый ангидрид, например, вызывает ожоги листьев уже в концентрации 0,0001%; фтористый водород — 0,00035%; хлор — 0,002%. Твердые вещества, оседая на листьях, нарушают процессы ассимиляции, дыхания, транспирации и др. [17].

Существенную роль в повышении уровня загрязнения играет автотранспорт, на долю которого в крупных городах приходится около 80% наиболее опасных загрязняющих веществ из группы тяжелых металлов — свинца, кадмия, цинка [1; 9].

Увеличение содержания поллютантов в окружающей среде снижает устойчивость лесных фитоценозов, что особенно опасно для рекреационных территорий в условиях мегаполиса. Например, 100 лет тому назад сосна в ЛОД имела зеленую, здоровую хвою с продолжительностью жизни в три года, давала ежегодные урожаи семян и высокий прирост [7]. В настоящее время хвоя с желтыми пятнами, более короткая, срок ее жизни уменьшился в среднем до двух лет, шишек и семян образуется очень мало, семена характеризуются пониженной всхожестью [3].

Несмотря на актуальность данной проблемы, вопрос этот изучен еще недостаточно, поэтому нами были выполнены исследования по влиянию урбанизации на загрязнение почв токсичными тяжелыми металлами в зависимости от породного состава и возраста древостоев.

Исходя из того, что основная масса ТМ аккумулируется в верхнем гумусовом слое и имеет слабую миграцию по почвенному профилю, наиболее детальный анализ почвенных образцов проводили для верхнего десятисантиметрового слоя [7].

При выполнении исследований образцы почв отбирали попарно на пробных площадях с одинаковым составом и возрастом лесных насаждений, при этом на площадях 11, 7, 10, расположенных вблизи автомагистралей, образцы отбирали на расстоянии 50—100 м от дороги, а на пробных площадях 6, 8, 9 расстояние от автодорог до места отбора образцов составляло 500 м. Кроме того, на пробных площадях 6, 8, 9 почва не была подвержена повышенному рекреационному воздействию, имела естественную для конкретного типа насаждений плотность, в то время как на площадях 11, 7, 10 почва характеризуется значительным уплотнением [7].

Результаты исследования (табл. 1) показали повышенное содержание тяжелых металлов на лесных участках ЛОД, прилегающих к городским магистралям, по сравнению с лесными массивами в центре лесной опытной дачи.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в верхнем 10-см слое почв ЛОД МСХА в зависимости от удаленности от городских магистралей и состояния насаждений (мг/кг)

№ пробной площадки	Главная порода, класс возраста	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					
		Pb		Zn		Cu	
		удаленность от автомагистралей, м					
		500	100	500	100	500	100
		состояние насаждений					
+	—	+	—	+	—		
6, 11	Дуб, X—XII	62,20 ± 4,12	120,01 ± 10,4	73,06 ± 5,51	114,0 ± 9,82	10,0 ± 0,90	77,09 ± 5,65
8, 7	Дуб, VII—VIII	86,12 ± 8,15	114,0 ± 8,04	86,4 ± 7,1	100,0 ± 8,68	10,02 ± 0,84	108,02 ± 9,14
9, 10	Сосна с березой IX—XI	77,04 ± 7,85	139,0 ± 10,41	96,08 ± 7,13	211,0 ± 16,44	36,03 ± 2,92	92,00 ± 7,64

*Примечание: «+» — насаждения в условиях естественного для ЛОД антропогенного воздействия; «—» — насаждения в условиях повышенного для ЛОД антропогенного воздействия.

Так, содержание свинца (Pb) возросло приблизительно в два раза на прилегающих к городу территориях — с 62—86 мг/кг почвы в центре лесного массива (пробные площади 6, 8, 9) до 114—139 мг/кг на участках по периферии. Увеличилось и содержание цинка (Zn), однако здесь более выражено влияние древесных пород. Сосново-березовые фитоценозы имеют больший масштаб на приграничных с городом территориях: содержание цинка здесь колеблется от 96 до 211 мг/кг почвы. Под дубовыми насаждениями колебания менее существенны — 73 мг и 114 мг под приспевающими и 100—97 мг — под 70—80-летними спелыми насаждениями. Под влиянием города содержание меди (Cu) в почве возрастает приблизительно в 3—10 раз. Особенно это заметно в дубовых экосистемах — с 10 мг/кг до 77—108 мг/кг.

Сопоставляя полученные результаты с состоянием насаждений, можно сделать вывод, что сосна и береза менее чувствительны к появлению в почве свинца, цинка и меди, как и 70—80-летние насаждения дуба к свинцу и цинку по сравнению с приспевающими дубравами.

Полученные результаты подтверждают, что лесные древостои сдерживают проникновение вредных выбросов городских магистралей, а проникновение меди задерживается значительно сильнее, чем свинца и цинка.

Также можно отметить, что 100—120-летние дубравы более действенно сдерживают проникновение ТМ по сравнению с молодыми одновидовыми древостоями.

Более объективной оценкой концентрации тяжелых металлов в почве является суммарное содержание тяжелых металлов в слое почвы на единице площади, например, рассчитанное в граммах на 1 м² площади в верхнем 10-см слое с учетом плотности почвы [7].

Выраженная в указанных единицах концентрация тяжелых металлов в таком случае является интегрирующей характеристикой, учитывающей большее количество факторов и потому может быть рассмотрена как более объективный показатель степени антропогенного загрязнения почв [7].

Как следует из табл. 2, содержание тяжелых металлов в почвах в расчете на 1 м² по мере приближения к автомобильным магистралям возрастает еще значительнее с учетом плотности почвы. Концентрация свинца увеличивается в 2,6—3,8 раза, цинка — в 1,9—4,4, меди — в 5,1—21,6 раза [7].

Таблица 2

Распределение валового свинца в профиле почв под насаждениями ЛОД РГАУ-МСХА в условиях различного уплотнения (мг/кг)

№ пробной площади	Главная порода, класс возраста	Генетический горизонт	Содержание Pb, мг/кг	
			плотность почвы, г/см ³	
			0,6—0,8	1,4—1,8
6, 11	Дуб, X— XII	A ₁	62,2 ± 4,12	120,0 ± 10,4
		A ₁ ¹	21,4 ± 2,03	45,1 ± 4,02
		A ₁ A ₂	16,1 ± 1,84	24,3 ± 1,96
		A ₂ B	14,0 ± 1,56	19,8 ± 1,34
		B	20,0 ± 1,95	26,4 ± 2,08

№ пробной площади	Главная порода, класс возраста	Генетический горизонт	Содержание Pb, мг/кг	
			плотность почвы, г/см ³	
			0,6—0,8	1,4—1,8
8, 7	Дуб, VII— VIII	A ₁	86,12 ± 8,15	114,0 ± 8,04
		A ₁ ¹	26,30 ± 2,02	49,1 ± 3,81
		A ₁ A ₂	15,0 ± 1,64	21,02 ± 1,94
		A ₂ B	5,09 ± 0,60	15,06 ± 1,12
		B	12,06 ± 1,4	18,11 ± 1,04
9, 10	Сосна с березой, IX— XI	A ₁	77,0 ± 7,85	139,0 ± 10,41
		A ₁ ¹	32,3 ± 2,84	91,2 ± 7,14
		A ₁ A ₂	19,4 ± 1,46	54,4 ± 4,32
		A ₂ B	6,02 ± 0,61	31,6 ± 2,68
		B	16,04 ± 1,42	42,1 ± 3,12

Полученные результаты дают представление о динамике ухудшения экологической обстановки города Москвы под влиянием урбанизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бутковский Р.О. Действие выбросов автотранспорта на энтомофауну: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — М.: МГУ, 1987.
- [2] Васильев Н.Г., Кузнецов Е.В., Химица Е.Г., Автухович Е.В. и др. Комплексные исследования по созданию устойчивых лесных экосистем в условиях антропогенного влияния на примере Лесной опытной дачи ТСХА. — Тез. докл. совещания «Леса Русской равнины». — 16—18 ноября 1993 г. — С. 33—35.
- [3] Итоги экспериментальных работ в Лесной опытной даче ТСХА за 1862—1962 годы. — М.: МСХА, 1964.
- [4] Кукушкин В.К., Наумов В.Д., Тарасов В.М., Фокин А.Д. Методика определения фракционного состава цинка в черноземах Лесостепной зоны. — Сб. науч. тр.: Актуальные вопросы генезиса и мелиорации почв. — М.: ТСХА, 1987. — С. 40—46.
- [5] Лепнева О.М. Влияние антропогенных факторов на химическое состояние почв города (на примере г. Москвы): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — М.: МГУ, 1987.
- [6] Мосина Л.В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москвы: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. — М., 2002.
- [7] Мосина Л.В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москвы: Дисс. ... докт. биол. наук. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. — М., 2002.
- [8] Наумов В.Д., Поляков А.Н. 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. — М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. — С. 6—10.
- [9] Павлова Е.Н. Экология транспорта Москвы. — М., 1998.
- [10] Плеханова И.О., Афонина Е.В., Ларина Г.Е. Прогноз загрязнения почв Москвы тяжелыми металлами. — 1993. — С. 30—31.
- [11] Покаржевский А.Д., Анянцев С.А., Есенин А.В. Экологическое обследование почвенной фауны городских парков Москвы. — С. 32—33.
- [12] Поляков А.Н., Наумов В.Д. Таксационно-лесоводственная и почвенная характеристика пробных площадей лесной опытной дачи МСХА // Известия ТСХА. — 2003. — Вып. 3. — С. 123—156.
- [13] Разенкова Н.И., Филиппова Т.В., Шаранова Е.Н. К методике эколого-геохимического исследования тяжелых металлов в городских почвах. — С. 33—34.

- [14] *Соколов О.А., Черников В.А.* Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. — Пушино, 1999.
- [15] *Тарабрин В.П.* Водный режим и устойчивость древесных растений к промышленным загрязнениям // Газоустойчивость растений. — Новосибирск: Наука, 1980. — С. 18—29.
- [16] *Тимофеев В.П.* Лесная опытная дача ТСХА // Изв. ТСХА. — 1954. — Вып. 1 (5).
- [17] *Шевченко С.В.* Здоровье лесных экосистем. — Львов: Вища школа, 1981.

**INFLUENCE OF AN URBAN ENVIRONMENT
ON POLLUTION OF SOILS BY HEAVY METALS DEPENDING
ON STRUCTURE AND AGE OF WOOD FOREST STANDS
(on an example of wood skilled giving department of ecology
Russian state agrarian university — МТАА
named after K.A. Timiryazev)**

**Е.А. Dovletyarova¹, L.V. Mosina²,
A.G. Stolyarova¹**

¹Department of landscape architecture and design
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198

²Department of ecology
Russian State Agrarian University —
МТАА named after K. A. Timiryazev
Timiryazevskaya str., 49, Moscow, Russia, 127550

The condition of wood plantings in forest-park ecosystems of megalopolises and performance of private sanitary and ecological functions by them substantially depends on intensity of influence of anthropogenic factors of the city. Intensity of these changes is corrected also by structure of tree species: it is established that for the centenary period (1909—2000) pollution of soils of LOD by heavy metals considerably increased: on lead — at 40—50 time, on copper at 17—24 time and to zinc — 4—9 times. Accumulation of heavy metals in the soil is closely connected with removal from a pollution source (city highways, the industrial enterprises), and also with a complex of properties of the soils caused by its consolidation at intensive recreational loading, and also from structure wood and shrubby plantings.

Key words: heavy metals, the soil, pollution, an urbanization.