

Загрязнение почв селитебной зоны Москвы и его связь с природными и антропогенными факторами

© 2009. А.М. Юзевович, аспирант, Н.Е. Кошелева, д.г.н., в.н.с.,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
e-mail: al.yuzefovitch@gmail.com, natalk@mail.ru

Проведена эколого-геохимическая оценка почв селитебной зоны Москвы. Отмечено практически повсеместное превышение фоновых содержаний 3,4-бенз(а)пирена и нефтепродуктов (до 17 и 10 раз соответственно), ртути и мышьяка (до 8 и 7 раз соответственно). Наибольшая частота превышений ПДК отмечена у органических загрязнителей и мышьяка. С помощью регрессионного анализа выявлены зависимости между содержанием приоритетных загрязнителей в почвах и комплексом природных и антропогенных факторов. Установлена ведущая роль автотранспорта в загрязнении селитебной зоны цинком, свинцом, нефтепродуктами и мышьяком. Загрязнение почв селитебной зоны медью, ртутью и 3,4-бенз(а)пиреном в большей степени определяют стационарные источники – ТЭЦ и промзоны.

An ecological-geochemical assessment of soils in residential areas of Moscow has been done. Concentrations of 3,4-benzopyrene and oil products exceeded the background values in 17 and 10 times accordingly, also mercury and arsenic in 8 and 7 times. The most frequent exceed of MPC has been found for organic contaminants and arsenic. Using regression analysis, the relation between pollutant concentrations and soil and anthropogenic factors was revealed. The leading role of vehicle exhausts as the source of zinc, lead, oil products and arsenic was confirmed. The heating power stations and industries mostly cause the contamination with copper, mercury and 3,4-benzopyrene.

Ключевые слова: почвы, загрязнение, тяжёлые металлы, селитебная зона, эколого-геохимическая оценка

Введение

В крупных городах находится множество источников эмиссии загрязняющих веществ (ЗВ), поступление которых в почву и другие депонирующие среды может иметь негативные последствия для состояния экосистем. В настоящее время во многих мегаполисах экологическая ситуация близка к критической, поэтому парадигма экологической безопасности приобретает всё большую значимость в различных сферах городского хозяйства. Обзор публикаций по экогеохимии городов свидетельствует об активном развитии данного направления. Общим вопросам геохимии городских ландшафтов посвящён ряд монографий как отечественных, так и зарубежных авторов [1 – 3]. Особенности поступления, миграции и аккумуляции отдельных компонентов техногенного загрязнения рассматриваются в работах [4 – 9]. Значительное число публикаций посвящено вопросам динамики и пространственного распределения ЗВ в почвах различных функциональных зон [8, 10 – 12]. Наибольшее число публикаций относится к транспортной зоне [6, 9, 13 – 15]. Для селитебной зоны таких исследований мало, поэтому цель данной работы – эколого-геохимическая оценка почв

селитебной зоны Москвы и выявление зависимости между содержанием поллютантов в почвах и комплексом природных и антропогенных факторов.

В основу исследования положены данные о содержании приоритетных загрязнителей – тяжёлых металлов (ТМ), As, 3,4-бензпирена (БП) и нефтепродуктов (НП) – в почвах 18 участков селитебной зоны Москвы. Решались следующие задачи: 1) определение уровней содержания ЗВ в поверхностных горизонтах почв ключевых участков; 2) характеристика пространственного распределения ЗВ в почвах; 3) оценка роли антропогенных и почвенно-геохимических факторов в загрязнении почв селитебной зоны. Исследование проведено на основе полевых материалов и результатов лабораторных анализов, полученных в Научно-исследовательском и проектно-изыскательском институте экологии города в 2007 – 2008 гг.

Объекты исследования

Для решения поставленных задач было проведено опробование почвенного покрова 17 ключевых участков в пределах селитебной зоны, расположенных в различных частях г. Москвы, и одного фонового в районе Мол-

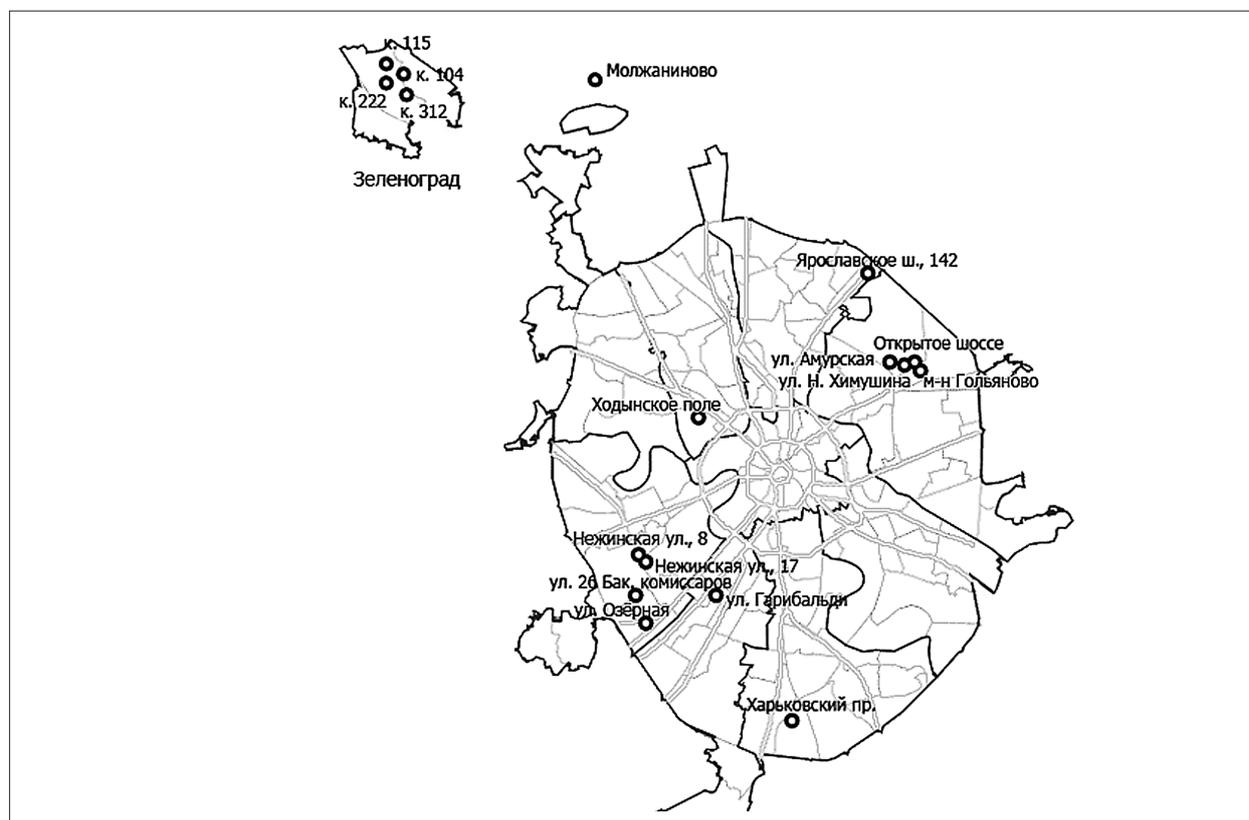


Рис. 1. Расположение ключевых участков на территории Москвы

жаниново, находящегося за пределами МКАД (рис. 1). Полученные для него содержания ТМ соответствуют региональным кларкам [16] и поэтому могут быть использованы в качестве фоновых.

Москва располагается на территории трёх крупных ландшафтных комплексов – Мещёрской низменности, Теплостанской и Смоленско-Московской возвышенностей, однако вследствие урбанизации и интенсивной техногенной нагрузки городские ландшафты лишь в малой степени наследуют особенности природных аналогов. В пределах города фактор рельефа, как и фактор растительности в значительной степени нивелированы вследствие застройки и длительного антропогенного освоения. Почвенный покров всюду представлен урбанозёмами разной степени гумусированности и частично экранозёмами, формирующимися преимущественно на кровных суглинках, подстилаемых песчаными и супесчаными отложениями или культурным слоем. Таким образом, ландшафтные условия в пределах города довольно однородны.

Выбор ключевых участков был продиктован их различным положением по отношению к техногенным источникам загрязнения. Ряд участков находится вблизи крупных автомагистралей и улиц с интенсивным движением:

на ул. Гарибальди (приблизительно в 100 м от Ленинского проспекта), Ярославском шоссе (внутриквартальная территория в 100 метрах от шоссе, «закрытая» 17-этажным жилым корпусом), а также в Восточном округе Москвы – на ул. Амурской, ул. Н. Химушина, Открытом шоссе и в микрорайоне Гольяново. Другие участки расположены на значительном удалении (более 150-200 м) от крупных автомагистралей, основным источником ЗВ для них служат внутриквартальные проезды и автомобильные стоянки [13]. Участки на ул. Амурской, Н. Химушина, Открытом и Ярославском шоссе и в Харьковском проезде находятся в зоне сильного воздействия промзон, для первых трёх участков дополнительным фактором техногенной нагрузки является ТЭЦ-23.

Материалы и методы

Опробовался слой 0-50 см, характеризующий поверхностное загрязнение почв. Отбор проб на участке проводился через 20-40 м методом «конверта». Всего была отобрана 121 поверхностная смешанная проба, в которой определялись рН, гранулометрический состав почв, валовое содержание Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Hg, As, а также БП и НП. Концентрации Hg

определялись на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С методом бесплазменной атомной абсорбции, остальных металлов – атомно-абсорбционным методом. Органические загрязнители определялись флуорометрическим методом.

Для оценки загрязнения почв ключевых участков использовались два показателя – коэффициент техногенной концентрации Кс, вычисляемый как отношение концентрации ЗВ к фоновой, и суммарный показатель загрязнения Zc [16]. Статистический анализ полученных данных проводился в программном пакете Statistica 7 (Mathsoft, 2004). Помимо расчёта основных статистических характеристик, он включал группировку ключевых участков по содержанию ЗВ методом кластерного анализа (алгоритм Complete Linkage). Степень сходства участков определялась в зависимости от евклидова расстояния, которое рассчитывалось по разностям концентраций девяти ЗВ, представленных в безразмерном виде:

$$\xi_{ij} = \frac{C_{ij} - \bar{C}_i}{\sigma_i},$$

где C_{ij} – концентрация i -го ЗВ на j -м участке, $j=1, 17$; \bar{C}_i , σ_i – его среднее и стандартное отклонение.

Влияние почвенно-геохимических и антропогенных факторов на загрязнение почв селитебной зоны оценивалось методом регрессионных деревьев, построенных с помощью пакета SPLUS (MathSoft, 1999). Среди учитываемых факторов – почвенно-геохимические свойства (рН и гранулометрический состав) и характеристики антропогенной нагрузки (расстояние до крупных автодорог и внутриквартальных проездов, удалённость от промышленных зон и ТЭЦ, экранированность жилой застройкой).

Результаты и их обсуждение

Уровни содержания ЗВ в почвах селитебной зоны. Представление о средних содержаниях ЗВ в поверхностных горизонтах почв на каждом ключевом участке даёт таблица 1.

В *Северо-Западном округе* Москвы отмечены высокие уровни содержания отдельных поллютантов относительно фона в западной части Ходынского поля – Hg (Кс до 12), НП (Кс = 3), БП (2,7) и Pb (1,5). Коэффициенты вариации (Cv) у большинства ЗВ также выше, чем на фоновом участке, что свидетельствует о значительной неравномерности антропогенного воздействия. Это подтверждает наличие

точечного максимума Hg 6,2 мг/кг, который превышает ПДК в 2,9 раза. Локальной аномалии Hg соответствует высокое содержание Pb (61 мг/кг), Zn (179 мг/кг) и As (6 мг/кг). Такие колебания содержания ТМ в почве можно объяснить наличием мелких стихийных свалок бытового мусора.

Ключевые участки в *Западном округе* Москвы значительно различаются по содержанию ЗВ в поверхностных горизонтах почв. Наибольшие концентрации ЗВ наблюдаются на ул. Гарибальди, где значительные превышения фоновых концентраций отмечены фактически у всех поллютантов: НП (Кс=8,9), Hg (7,9), As (6,5), БП (5,4), Pb (3,8), Zn и Cu (3,7 и 3,2). Это связано с тем, что участок попадает в зону влияния автодорог, которая распространяется на 100-150 м от дорожного полотна [14]. Точечные превышения ПДК зафиксированы у НП (1144 мг/кг, что в 3,81 раза больше ПДК), Pb, Zn (в 3,6 раза) и As (в 2 раза). Значительной вариабельностью на участке обладают также Cd (Cv = 157 %) и НП (91,6 %).

Ключевые участки на ул. 26 Бакинских комиссаров, Нежинской и Озёрной имеют близкие уровни концентраций ЗВ в верхних горизонтах почв, т. к. находятся в схожих условиях антропогенной нагрузки. Наибольшие Кс установлены для Hg на ул. Нежинской (Кс=7,53, Cv = 114 %) и для БП на ул. Озёрной (Кс= 5,29, Cv = 129 %). Содержание БП на участках превышает ПДК в 1,8 – 3,4 раза.

Ключевые участки в *Восточном округе* Москвы расположены вблизи промзоны Калошино и ТЭЦ-23, что обуславливает более высокое содержание ЗВ в поверхностных горизонтах почв по сравнению с другими округами. Наибольшие значения Кс для БП и НП отмечаются на участке ул. Н. Химушина (17 и 10 соответственно), при этом максимальными Cv обладают Pb и As (169 и 152 %). Наибольшие значения Кс для Pb выявлены в микрорайоне Гольяново (3,13), для Zn – на ул. Амурской (2,06), причём меньшим концентрациям ряда ЗВ соответствует более высокая вариабельность, которая обусловлена неравномерностью загрязнения почв. На участках зафиксировано превышение санитарно-гигиенического норматива у БП (наибольшее – на ул. Н. Химушина, в 11,2 раза), НП (до 2 раз), As (1,9) и Zn (1,7).

Почвы ключевого участка на Ярославском шоссе, 142 в *Северном округе* Москвы характеризуются значительным превышением фоновых значений практически для всех

Таблица 1

Среднее содержание загрязняющих веществ в поверхностных (0-0,5 м) горизонтах почв ключевых участков

	Среднее содержание загрязняющих веществ, мг/кг									Число проб
	Zn	Pb	Cd	As	Hg	Ni	Cu	БП	НП	
ПДК	55	32	0,5	2	2,1	20	33	0,02	300	
Фон	52,5	9,38	0,189	3,01	0,03	11,8	12,2	0,01	56,0	
Ключевой участок										
26 Бакинских комиссаров	81,3	12,3	0,15	4,55	0,13	11,5	14,3	0,064	250	4
Зеленоград, 104	303	8,3	0,19	2,75	0,04	7,8	7,2	0,034	48,3	4
Зеленоград, 115	67,3	8,8	0,23	2,85	0,04	8,6	8,9	0,003	172	4
Зеленоград, 222	95,5	9,4	0,14	1,95	0,03	9,0	7,6	0,003	44,3	4
Зеленоград, 312	62,5	10,7	0,13	2,55	0,03	7,9	7,8	0,003	132	4
Нежинская, 8	77,3	18,3	0,20	3,80	0,22	12,0	14,7	0,038	90,4	4
Нежинская, 17	103	14,0	0,16	4,33	0,11	12,8	19,3	0,037	97,5	4
Озёрная, 29	91,3	13,3	0,18	3,88	0,11	9,0	11,8	0,069	78,8	4
Гольяново	125	29,4	0,20	4,32	0,10	9,4	24,8	0,061	257	5
ул. Амурская, 21	108	14,5	0,33	3,30	0,11	10,7	18,7	0,071	327	4
Харьковский пр., 11	90,3	11,6	0,28	3,53	0,06	9,0	15,3	0,026	40,0	4
Ярославское ш., 144	104	15,9	0,18	4,88	0,14	6,6	26,8	0,109	178	13
Открытое шоссе	140	67,2	0,75	3,72	0,16	10,9	32,6	0,090	343	5
ул. Н. Химушина	92,0	31,0	0,34	3,78	0,08	15,6	18,8	0,223	588	5
Ходыньское поле (восток)	46,5	14,2	0,27	2,71	0,05	7,3	9,8	0,031	93,0	8
Ходыньское поле (запад)	49,1	15,2	0,18	3,35	0,61	6,7	9,4	0,040	226	11
ул. Гарибальди	197	35,5	1,23	4,08	0,23	19,8	39,3	0,066	501	4

неорганических – Zn, Pb, As, Hg, Cu ($K_c = 1,62-4,87$) и органических поллютантов – БП (8,36) и НП (3,18). В одной точке установлено экстремально высокое содержание БП – 0,67 мг/кг (точечное превышение ПДК – в 33,5 раза при среднем превышении на участке в 5,4 раза). Основным источником загрязнения дворовой территории, по всей видимости, являются внутриквартальные проезды и строительный мусор.

Для ключевого участка в Харьковском проезде, 11 в Южном округе важную роль играет близость к крупным промзонам, в том числе к мусоросжигательному заводу. Для большинства рассмотренных компонентов отмечается значительное превышение фоновых содержаний – БП ($K_c = 2,3$, превышение ПДК в 1,3 раза), Hg ($K_c=2,06$), Zn (1,72), Pb (1,23), Cu (1,25). Практически все поллютанты обладают малыми C_v , что говорит о равномерности загрязнения почвенного покрова. Исключение составляют Hg, Cd и БП ($C_v=50,0-67,7\%$).

Обследование почвенного покрова в Зеленограде проводилось на территории новых жилых кварталов, вдалеке от крупных автомобильных магистралей и промзон. Поэтому в почвах всех ключевых участков, кроме участка у к. 115, содержание большинства ТМ

и органических загрязнителей не превышает фоновые концентрации, при этом их C_v равны 10-20%. Исключение составляют Zn ($K_c=2$) и БП ($K_c=5,8$), для которых зафиксированы превышения ПДК на участке у к. 104 (в 1,4 и 1,7 раза соответственно).

Пространственное распределение ЗВ в почвах. Для выявления закономерностей распределения техногенных поллютантов был использован метод кластерного анализа. На основе данных о среднем содержании ЗВ в почвах ключевые участки были разбиты на 4 группы (рис. 2):

1. Зеленоград, к. 104, 115, 222, 312; Ходыньское поле (восточная часть);
2. Ул. 26 Бакинских комиссаров; ул. Нежинская, 8, 17; ул. Озёрная; Харьковский проезд, 11; ул. Амурская, 21;
3. Микрорайон Гольяново; Ярославское шоссе, 144;
4. Открытое шоссе; ул. Н. Химушина; Ходыньское поле (западная часть); ул. Гарибальди.

Первая группа участков объединяет новые районы с временем застройки до 10 лет. Они характеризуются относительно малыми превышениями содержания ТМ, As и органических загрязнителей над фоновыми значениями и находятся на относительно

удалении от крупных автодорог и промзон. Единственным источником техногенного загрязнения почв этих участков служат внутриквартальные проезды и улицы, которые в силу малого возраста жилой застройки ещё не стали причиной формирования локальных техногенных аномалий. В данной группе эколого-геохимическое состояние почвенного покрова определяют региональные факторы, главным образом западный атмосферный перенос. Значения Z_c на этих участках не превышают 8, что характеризует их как относительно чистые.

Вторая группа ключевых участков отличается более близким положением по отношению к ТЭЦ и промышленным зонам, что обуславливает более интенсивное накопление ЗВ в их почвах. В силу более длительного существования жилой застройки здесь более заметно кумулятивное влияние выбросов автомобильного транспорта. Участки данной группы характеризуются высоким разбросом значений Z_c – от 3,77 до 13, что соответствует чистым почвам и низкому уровню загрязнения.

Третья группа участков имеет значительный (более 20-30 лет) возраст застройки и расположена в условиях интенсивной техногенной нагрузки со стороны промышленных предприятий (микрорайон Гольяново) и автомобильного транспорта (Ярославское шоссе). По величине Z_c (15,7 и 17,9) почвы этой группы относятся к умеренно опасной категории загрязнения.

Четвертая группа ключевых участков отличается наиболее высоким уровнем загрязнения почв, однако набор приоритетных загрязнителей на каждом участке индивидуален: на участки в Восточном округе ЗВ поступают в основном со стороны ТЭЦ и промзон, на ул. Гарибальди – от автотранспорта, почвы западной части Ходынского поля загрязнены свалками бытового мусора. Группа характеризуется максимальными значениями Z_c – от 26,9 до 34,2, что соответствует умеренно опасной и опасной категориям загрязнения почв.

Роль антропогенных и почвенно-геохимических факторов в загрязнении почв. Влияние комплекса природных и антропогенных факторов на загрязнение почвенного покрова селитебной зоны различными ЗВ было оценено с помощью метода регрессионных деревьев. Факторы были ранжированы по их значимости (табл. 2). Содержание в почвах Pb, Zn, Cu, As зависит преимущественно от воздействия автодорог, для Cd, Ni и БП зависимость проявляется в меньшей степени. Этот результат согласуется с данными о преобладании выбросов со стороны автомобильного транспорта в общем загрязнении городской среды [17]. Поступление Hg, НП и БП в почву определяется в основном воздействием стационарных источников загрязнения.

Дифференциация содержания Pb в почвах селитебной зоны связана с наличием механических барьеров-зданий: при слабой экранированности содержание Pb в почвах достигает в среднем 35,5 мг/кг, при средней

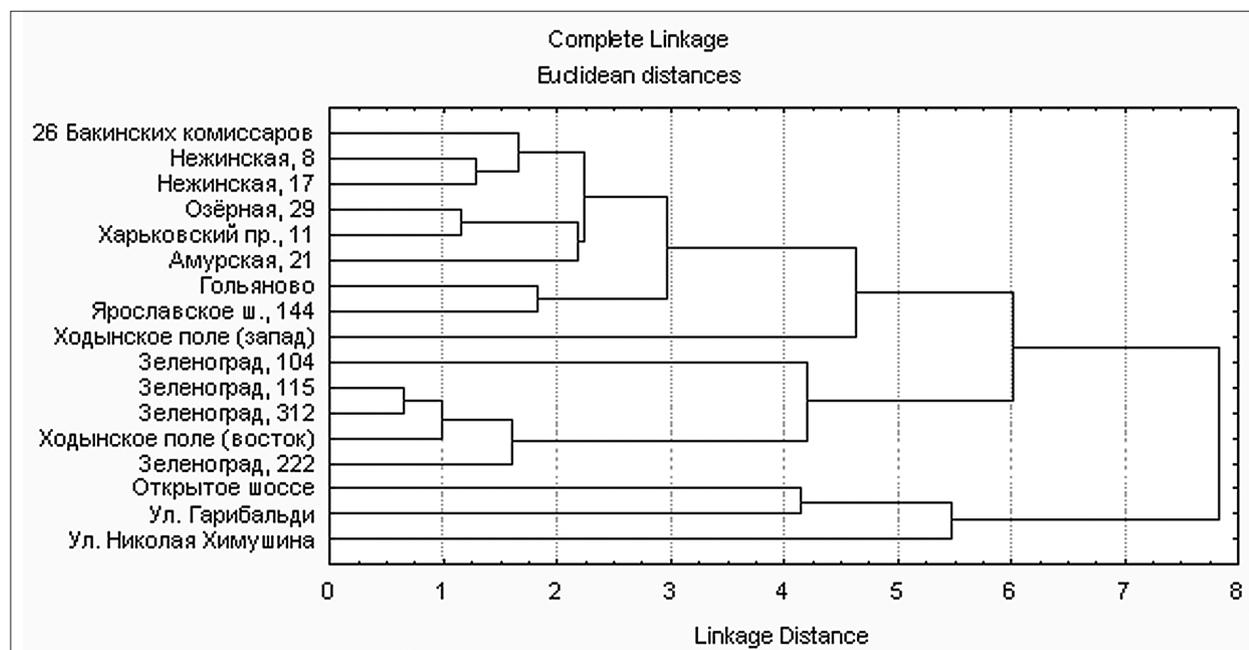


Рис. 2. Группировка ключевых участков по уровню загрязнения почв

Таблица 2

Влияние антропогенных и почвенно-геохимических факторов на вариабельность концентраций загрязняющих веществ в почвах ключевых участков селитебной зоны г. Москвы

Факторы дифференциации	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb	Hg	As	БП	НП
Расстояние до крупных дорог	1	1	2	2	1		1	2	
Влияние ТЭЦ		2	3			1		1	2
Экранированность	2	3	1	1	2		2		1
Расстояние до внутриквартальных проездов	2	2	4		3				3
Расстояние до промзон								3	
pH почв	3	3				2		2	
Гранулометрический состав почв	2	3		2	4		3		

Примечание. Ранги факторов от 1 до 4 показывают уменьшение их влияния на содержание загрязняющих веществ.

и сильной – 13,3 мг/кг (рис. 3 А). Максимальное содержание Рb (49,1 мг/кг) наблюдается на Открытом шоссе и ул. Н. Химушина, где источниками Рb в почвах служат не только выбросы автотранспорта, но и твёрдые выпадения ТЭЦ. Эти выводы о характере распределения Рb в почвах и влиянии на него антропогенных факторов соответствуют данным, полученным другими авторами [6, 9, 10, 15].

Пространственная дифференциация содержания НП в поверхностных горизонтах почв также определяется наличием механических барьеров (рис. 3 Б). Максимум содержания НП (549 мг/кг) приурочен к слабоэкранированным участкам. В условиях средней и сильной экранированности проявляется влияние атмосферной эмиссии ТЭЦ. Результирующий уровень содержания НП (95,3-346 мг/кг) зависит от близости внутриквартальных проездов и крупных автомагистралей – при увеличении расстояния вариабельность содержания НП возрастает, что можно объяснить неравномерностью транспортных потоков.

Среди рассмотренных почвенно-геохимических факторов прослеживается влияние гранулометрического состава на содержание Рb, Zn, Ni и pH – на Cu, Zn, Hg, БП. Так, в песчаных почвах Рb накапливается в 1,65 раза слабее по сравнению с супесчаными и суглинистыми. Выявлена тенденция к более интенсивной аккумуляции ТМ и БП при pH > 7.

Выводы

1. Практически на всех ключевых участках селитебной зоны Москвы отмечены высо-

кие содержания органических загрязнителей – БП (Кс до 17,5) и НП (до 10,5). Их экологическую опасность характеризует частота превышения ПДК – 76,5% случаев у БП и 23,5 – у НП. Среди неорганических загрязнителей наиболее контрастные техногенные аномалии выявлены у Hg (Кс до 7,9), Рb (до 7,2) и As (до 6,5). Частота превышения ПДК неорганических поллютантов уменьшается в ряду As–Zn–Pb–Cd от 23,5 до 6%.

2. Максимальные уровни суммарного загрязнения почв с Zc > 32 установлены на ул. Гарибальди и ул. Н. Химушина. Содержание ЗВ в них определяется в основном локальными факторами – аэрогенным поступлением поллютантов со стороны автодорог и промзон.

3. Результаты регрессионного анализа подтвердили значимую роль автомобильного транспорта как основного источника Zn, Рb, As, Cu и частично – Cd и Ni. Загрязнение почв селитебной зоны Hg, НП и БП в большей степени определяют стационарные источники – ТЭЦ и промзоны. Заметное влияние на содержание ЗВ в почвах оказывают их гранулометрический состав (Pb, Zn, Ni) и щёлочно-кислотные условия (Cu, Zn, Hg, БП).

4. Исползованные в работе методические подходы могут быть рекомендованы для оценки эколого-геохимического состояния почв других урбанизированных территорий и выявления факторов, влияющих на загрязнение почвенного покрова. Для повышения точности оценок следует увеличить число ключевых участков, а также расширить состав определяемых физико-химических свойств почв, влияющих на накопление поллютантов, включив в него содержание гумуса, подвижных форм Fe и Mn и др.

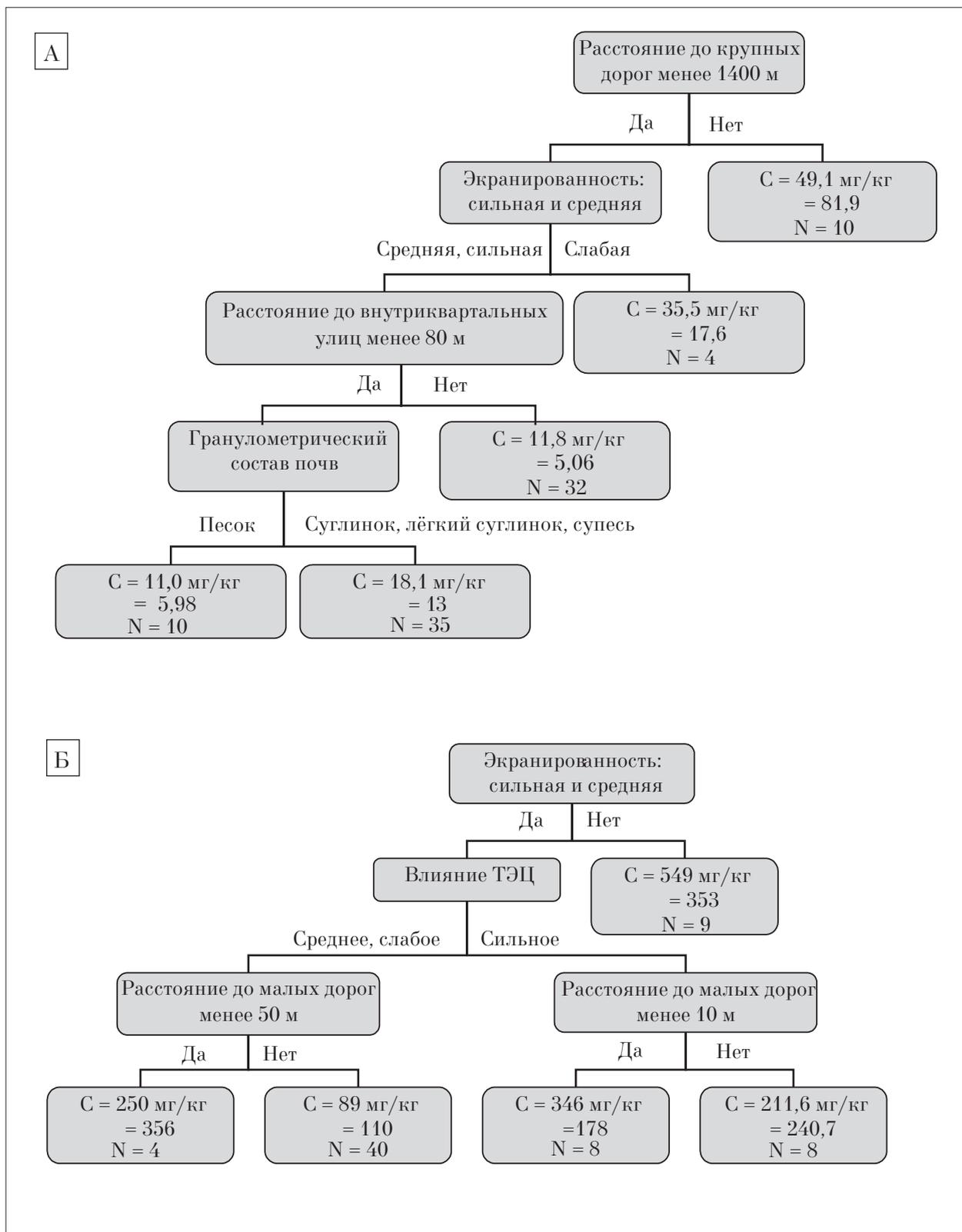


Рис. 3. Дифференциация содержания Рb (А) и НП (Б) в поверхностных (0-0,5 м) горизонтах почв ключевых участков селитебной зоны Москвы

Литература

1. Голубчиков С.Н., Гутников В.А., Ильина И.Н., Минин А.А., Прохоров Б.Б. Экология крупного города (на примере Москвы) / Под ред. А.А. Минина. М.: Изд-во «ПАСЬВА», 2001. 192 с.
2. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1995. 327 с.
3. Braimoh Ademola K., Vlek Paul L.G. Eds. // Land Use and Soil Resources. 2008. XXII. 254 p.
4. 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 Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2007. № 3. С. 38-46.
5. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Перми // Почвоведение. 2005. № 7. С. 782-789.
6. Ладонин Д.В., Пляскина О.В. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106-118.
7. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Фракционный состав соединений свинца в почвах Москвы и Подмосквья // Почвоведение. 2009. № 8. С. 1-12.
8. Обухов А.И., Кутукова Ю.Д. Состояние почв детских садов (на примере Ленинского района Москвы) // Экологические исследования в Москве и Московской области. М. 1990. С. 212-241.
9. Azimi S., Rocher V., Muller M., Moilleron R., Thevenot D.R. Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France) // Sci. Total Environ. 2005. V. 337. P. 223-239.
10. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Динамика загрязнения городских почв свинцом (на примере Восточного округа Москвы) // Почвоведение. 2007. № 8. С. 984-997.
11. Birke M., Rauch U. Urban Geochemistry: Investigations In The Berlin Metropolitan Area // Environmental Geochemistry and Health. 2000. V. 22. P. 233-248.
12. Luo W., Yonglong Lu, Xiojuam T., Wang B., Wang G., Yajuan S., Wang T., Naile J., Giesy J.P. Distribution of Copper, Cadmium and Lead in Soils from Former Industrialized Urban Areas of Beijing, China // Bulletin of Environmental Contamination Toxicology. 2009. V. 82. P. 378-383.
13. Мозолевская Е.Г., Липаткин В.А., Шарапа Т.В. Динамика и современное состояние лесных насаждений на границах МКАД // Экоreal. 2007. № 1. С. 44-49.
14. Никифорова Е.М. Свинец в ландшафтах придорожных экосистем // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 220-230.
15. Turer D., Maynard B.M., Sansalone J.J. Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio // Water, Air and Soil Pollution. 2001. V. 132. P. 293-314.
16. Саг Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 332 с.
17. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зелёных насаждений в Москве. М.: Старгирит-Н, 2005. 264 с.