

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 504.53.054:669.4

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ СВИНЦОМ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ОКРУГА МОСКВЫ)

© 2007 г. Е. М. Никифорова, Н. Е. Кошелева

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119992, Москва, Ленинские горы

Поступила в редакцию 04.08.2006 г.

Выявлены пространственно-временные тренды в загрязнении почв Москвы свинцом, как приоритетным загрязнителем, выделяемым с выбросами автотранспорта. По данным 1989 и 2005 гг. составлены карты техногенных ореолов свинца в почвах Восточного округа, оценена средняя годовая скорость прироста содержания элемента и сделан прогноз времени его удвоения. Определены эколого-индикационные свойства почв, контролирующие аккумуляцию свинца.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост парка автомашин, наблюдаемый в последние годы, явился причиной резкого ухудшения экологической обстановки в столице. Вырос уровень загрязнения свинцом городской среды и особенно почв, обладающих способностью к его сорбции и депонированию. Накоплению свинца в почвах благоприятствует также слабая подвижность большинства его соединений при высоких рН [4,6,26]. К тому же педогеохимические аномалии свинца более статичны и долговечны, чем в другие, так как почвы способны аккумулировать его на протяжении всего периода техногенного воздействия. Поэтому индикация и картографирование содержания свинца в почвах являются одними из основных методов оценки экологического состояния городов [12].

В настоящее время вклад автотранспорта в загрязнение воздуха Москвы считается доминирующим и составляет 92.7% от общего объема загрязняющих веществ, поступающих в городскую среду [31]. На долю промышленности приходится всего 6.3%. Столичные автомобили выбрасывают в атмосферу 1.6 млн. т вредных примесей в год, а загрязнение городской среды превосходит средний уровень по России в 2 раза. Количество машин в столице за последнее десятилетие увеличилось почти в 6 раз и продолжает ежегодно возрастать на 115 тыс. единиц. Поэтому ожидается дальнейшее ухудшение экологически неблагоприятной ситуации, сложившейся в Москве.

Свинец относится к группе тяжелых металлов 1-го класса экологической опасности, способных вызывать у человека и животных различные токсикозы и канцерогенные наследственные мутации. По эффекту воздействия на живые организмы свинец принадлежит к биохимически активным веществам, образующим контрастные техногенные ореолы загрязнения и представляющим большую опасность для биоты и человека.

Содержание и распределение свинца в почвах Москвы анализировались многими исследователями [13, 16, 19-21, 23-27, 31 и др.]. Вместе с тем такие актуальные вопросы экологии города, как многолетняя динамика загрязнения почв свинцом и прогноз скорости его прироста в разных функциональных зонах изучены очень слабо и преимущественно зарубежными учеными [33-35, 37].

Цель статьи - на примере одного из наиболее загрязненных районов Москвы оценить многолетние изменения и пространственное распределение свинца в городских почвах. В основу работы положены данные геохимического опробования почв Восточного округа Москвы в 1989 г. [19,20] и повторной съемки этой территории в 2005 г. Задачи исследования: 1) оценка средних уровней и вариабельности содержания свинца в почвах разных функциональных зон округа; 2) составление карт состояния и динамики техногенных ореолов свинца в почвах с расчетом средней годовой скорости его прироста; 3) прогноз развития экологической ситуации в округе в связи с загрязнением свинцом; 4) выявление физико-химических свойств почв, контролирующих накопление и миграцию свинца.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследована южная, наиболее загрязненная часть Восточного округа в пределах районов Перово, Вешняки, Ивановское, Косино-Ухтомский, Новогирьево, Новокошино. Эта территория занимает особое положение в столичной агломерации в силу высокого промышленного потенциала, большой концентрации населения и наличия крупных автомагистралей (МКАД, шоссе Энтузиастов, Вешняковская улица, Зеленый проспект, Перовская улица и др.), являющихся основными источниками загрязнения почв свинцом. О повышенной плотности улиц на данной территории

свидетельствует их большая площадь, которая составляет 0.68 тыс. га, то есть около 500 м² на 1 га [28].

Наряду с автотранспортом определенный вклад в загрязнение почв свинцом вносят промышленные предприятия и ТЭЦ. В многоотраслевой структуре округа ведущее место занимают машиностроение и металлообработка. Наиболее значительные выбросы загрязняющих веществ поступают от Перовского завода торгового машиностроения, Прожеского завода, Перовского ремонтно-механического завода, Кусковского химического завода, АО ММЗ "Сerp и Молот", специализирующего на производстве качественной стали и прокатной продукции, и др.

Рассматриваемая территория расположена в подзоне южной тайги, в пределах Подмоскoвнoй Мещеры. Представляет собой плоскую зандровую равнину со средними отметками абсолютных высот около 140 м, сложенную водно-ледниковыми песками и супесями, подстилаемыми днепровской мореной. Пески олигомиктовые с абсолютным господством кварца, лишены оснований и обеднены микроэлементами, в частности, свинцом. Его содержание в почвообразующих породах не превышает 3-5 мг/кг [18].

Геохимические исследования почв на территории Восточного округа проводились летом 1989 и 2005 г. по общепринятой методике на основе предварительного ландшафтно-геохимического районирования и природно-функционального зонирования территории [12, 13]. Во всех выделенных зонах опробовались два верхних горизонта почв: дерново-гумусовый (0-15 см) и гумусовый (15-30 см). Всего на исследуемой территории отобрано 98 образцов почв в 1989 г. и 102 образца в 2005 г. С учетом главного источника загрязнения густота точек опробования увеличивалась вдоль крупных улиц и автомагистралей с интенсивным движением транспорта.

В качестве эталонов при анализе свойств почв и расчете контрастности техногенных педогеохимических аномалий свинца использованы фоновые почвы Мещерской равнины, а также городские эталоны - почвы Метеообсерватории Московского университета, расположенные в юго-западной, наименее загрязненной части Москвы и принятые за урбанизированный фон. Экологическая опасность загрязнения почв оценивалась по общепринятому санитарно-гигиеническому нормативу - ПДК свинца, равному 32 мг/кг [8], хотя для Москвы с 1999 г. существует другой норматив, равный 65 мг/кг .

Валовые содержания свинца, железа и марганца в почвенных пробах определялись методом

атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе "Хитачи 180-70". Основные физико-химические свойства почв, влияющие на накопление свинца: содержание гумуса, биогенных элементов (N, P, K), физической глины, pH, емкость катионного поглощения - исследовались общепринятыми методами [22].

Полученный аналитический материал был сгруппирован по зонам функционального назначения и подвергнут статистической обработке в программном пакете Statistica 6. Она включала вычисление выборочных средних, стандартных отклонений, коэффициентов вариации и амплитуд колебаний. Значимость различий средних оценивалась по /-критерию, однородность дисперсий - с помощью F-статистики. Распределение концентраций свинца в почвах функциональных зон за разные годы характеризовалось составными диаграммами размаха. Карты изоконцентрат и средней годовой скорости прироста свинца в почвах построены в пакете Arc View 3.2 методом Spline.

Влияние почвенно-геохимических свойств на аккумуляцию свинца исследовалось с помощью корреляционного и многофакторного регрессионного анализов. Последний выполнялся по методу решающих деревьев в пакете S-Plus 2000 Professional (MathSoft, 1999).

Объектом исследования послужил почвенный покров в южной части Восточного округа Москвы. Естественные (зональные) дерново-подзолистые, подзолисто-болотные и болотные почвы в районе исследования сохранились только в его периферийной части, а также на отдельных участках крупных лесопарков и парков. На большей части территории сформировались специфические городские почвы: урбаноземы - антропогенно-преобразованные и техноземы - искусственно созданные почвы [5], развитые на культурном слое, насыпных, переотложенных и перемешанных грунтах и только в редких случаях - на естественных почвообразующих породах. Местами почвенный покров в районе целиком отсутствует и заменен культурным насыпным грунтом различной мощности с включением большого количества скелетного материала антропогенного происхождения. Значительные площади поверхности почвенного покрова закрыты асфальтобетоном или находятся под жилыми или промышленными постройками.

Урбанизация и интенсивное техногенное воздействие сильно изменили физико-химические свойства городских почв. По своим показателям они уже не соответствуют зональным дерново-подзолистым почвам легкого гранулометрического состава, развитым на флювиогляциальных отложениях Мещерской равнины (табл. 1). Сильнокислая и кислая реакция среды фоновых почв сменилась на слабокислую, нейтральную и ще-

Таблица 1. Средние показатели и пределы колебаний физико-химических свойств поверхностных (0–30 см) горизонтов фоновых дерново-подзолистых супесчаных почв Мещерской равнины (I) и городских почв Ленинского района (II) и Восточного округа (III–IV) Москвы. Над чертой – средние значения, под чертой – амплитуда колебаний показателей

Объект исследования	Количество определений	Общий углерод, %	Гумус, %	рН водный	Емкость поглощения, мг-экв/100 г	N общ*, %	Подвижные формы*, мг/100 г почвы		Физическая глина, %	Содержание металлов		
							K ₂ O	P ₂ O ₅		Fe	Mn	Pb
I. Ногинский район Московской обл. (природный фон, данные 1990 г.)	12	$\frac{0.73}{0.42-0.96}$	$\frac{1.3}{0.7-1.7}$	$\frac{4.9}{4.5-5.4}$	$\frac{9.8}{7.4-12.5}$	$\frac{0.06}{0.03-0.09}$	$\frac{7.8}{4.5-10.6}$	$\frac{5.3}{4.6-6.2}$	$\frac{12}{9-16}$	$\frac{3624}{3012-4340}$	$\frac{321}{252-381}$	$\frac{8.0}{5.0-11.0}$
II. Ленинский район Москвы, Метеообсерватория МГУ (урбанизированный фон, данные 1990 г.)	14	$\frac{0.99}{0.62-1.31}$	$\frac{1.7}{1.3-2.3}$	$\frac{5.6}{5.3-6.1}$	$\frac{15.1}{10.7-20.2}$	$\frac{0.09}{0.06-0.15}$	$\frac{9.2}{8.1-10.2}$	$\frac{16.7}{14.4-19.8}$	$\frac{15}{8-20}$	$\frac{4476}{4126-5020}$	$\frac{401}{362-469}$	$\frac{17.4}{9.1-22.6}$
III. Восточный округ Москвы (данные 1989 г.)	98	$\frac{2.47}{0.47-6.0}$	$\frac{4.27}{0.82-10.3}$	$\frac{7.12}{5.68-8.19}$	$\frac{23.2}{8.2-43.4}$	$\frac{0.134}{0.06-0.22}$	$\frac{15.6}{9.1-30.6}$	$\frac{27.9}{11.4-58.9}$	$\frac{25.9}{14-41}$	$\frac{4956}{2451-9885}$	$\frac{400}{89-788}$	$\frac{34.1}{8.6-123}$
Коэффициент накопления, Kc		3.4	3.3	2.2	2.4	2.2	2.0	5.3	2.2	1.4	1.2	4.3 (2.0)
IV. Восточный округ Москвы (данные 2005 г.)	102	$\frac{2.70}{0.60-6.87}$	$\frac{4.73}{1.03-12.0}$	$\frac{7.50}{6.08-8.3}$	$\frac{35.3}{13.6-57.8}$	$\frac{0.252}{0.15-0.41}$	$\frac{18.4}{10.7-32.2}$	$\frac{33.2}{14.8-68.2}$	$\frac{31.4}{16-48}$	$\frac{5529}{3106-10\ 560}$	$\frac{472}{206-856}$	$\frac{76.2}{15.8-300}$
Коэффициент накопления, Kc		3.7	3.6	2.6	3.6	4.2	2.4	6.3	2.6	1.5	1.5	9.5 (4.4)

* Показатели приводятся для горизонта 0–15 см.

Примечания. Kc рассчитан относительно природного фона; в скобках приводится Kc свинца относительно урбанизированного фона.

лочную. В настоящее время доминирующий рН городских почв - нейтральный и щелочной, его средние значения составляют 7.5. Динамика изменений реакции среды за период 1989—2005 г. указывает на дальнейшее развитие процесса подщелачивания почв, что связано с осаждением на их поверхность техногенной пыли, содержащей карбонаты кальция и магния. Этому также способствует состав атмосферных осадков, содержащих растворенную уголекислоту. В результате в городских почвах образуются бикарбонаты, являющиеся гидролитически щелочными солями, способными трансформировать реакцию среды в щелочную сторону.

По сравнению с фоном в поверхностных (0—30 см) горизонтах городских почв Восточного округа значительно возросло содержание органических веществ: в 3.3 и 3.6 раза для 1989 и 2005 г. соответственно. Это связано с поступлением в почвы с автомагистралей и других источников сажи, нефтепродуктов, битуминозных веществ, а также пыли, содержащей органические вещества. Еще более интенсивно по сравнению с фоном возросли концентрации элементов питания растений. Почвы округа характеризуются высокой обогащенностью валовым азотом, подвижными калием и особенно фосфором; прослеживается тенденция к дальнейшему накоплению элементов питания: в поверхностных горизонтах превышения концентраций N, K, P над фоном в 1989 г. составили 2.2, 2.0 и 5.3 раза, в 2005 г. - 4.2, 2.4 и 6.3 раза соответственно. Увеличилось также содержание валовых железа и марганца - к 2005 г. превышение над фоном составило 1.5 раза.

В связи с повышенной пылевой нагрузкой и широким распространением в городе привезенных и перемещенных грунтов в поверхностных горизонтах почв резко утяжелился гранулометрический состав - от супесчаного и легкосуглинистого в фоновых аналогах до средне- и тяжелосуглинистого и даже легкоглинистого в городских почвах. Среднее содержание фракции физической глины (частиц менее 0.01 мм) по сравнению с фоном увеличилось к 1989 г. в 2.2, к 2005 г. - в 2.6 раза.

Рост содержания в почвах тонкодисперсных частиц, органических и биогенных веществ отразился на величине емкости поглощения - в поверхностных горизонтах она выросла до 23.2 (1989 г.) и до 35.3 мг-экв/100 г почвы (2005 г.) при 9.8 мг-экв/100 г в гумусовом горизонте фоновых почв, то есть в 2.4 и 3.6 раза. Изменение свойств почв привело к образованию щелочного и сорбционного барьеров в их поверхностных горизонтах, способствующих ослаблению миграции свинца и росту его концентрации.

Все рассмотренные физико-химические свойства почв различаются по зонам функционально-

го назначения и характеризуются большой пространственной изменчивостью (табл. 2). По данным 1989 г., наиболее высокие средние значения и показатели варибельности физико-химических свойств установлены в почвах крупных автомагистралей и промзон, а также старых жилых кварталов и внутрирайонных улиц. Наиболее низкие - в почвах новостроек и рекреационной зоны. Сравнительную однородность значений в почвах всех зон имеет показатель рН, коэффициенты его вариации (C_v) лежат в диапазоне 1.9-8.1%. Самую высокую неоднородность содержаний имеют валовый марганец и органическое вещество в почвах крупных автомагистралей и промзон ($C_v = 45.6-50.5\%$). Анализ данных 2005 г. обнаруживает те же закономерности в распределении средних значений и показателей варибельности свойств почв по функциональным зонам при несколько большей однородности показателей в выборках. Это указывает на постепенное выравнивание свойств городских почв.

Таким образом, по своим физико-химическим свойствам городские почвы в значительной степени антропогенно-преобразованы и геохимически трансформированы. Они сохранили только некоторые реликтовые признаки природных (зональных) почв и приобрели ряд эпигенетических черт, связанных с воздействием урбанизации и техногенных процессов. В городских почвах отмечается развитие антропогенных свойств, и эта тенденция со временем может привести к полной деградации в них зонального почвообразовательного процесса и потере основных экологических функций. Наиболее кардинальные изменения свойств в поверхностных горизонтах почв происходят вблизи крупных автомагистралей и в промзонах, а также в старых жилых кварталах и на внутрирайонных улицах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Накопление свинца в почвах разных функциональных зон. Статистически обработанные данные о концентрациях свинца в городских почвах за два года наблюдений приводятся в табл. 3 и на рис. 1. Наиболее высокие содержания свинца установлены в самом верхнем (0—15 см) горизонте почв. Концентрации свинца в нижележащем (15-30 см) горизонте уменьшаются незначительно, в среднем в 1.4 раза. Наблюдаемая локализация свинца в поверхностных гумусовых горизонтах, характерная для большинства техногенных почв, выявлена и в других исследованиях почв Москвы [16, 21, 23-25, 27, 28, 31].

Сравнение кларков свинца городских почв с природным фоном (табл. 1) показало увеличение средних содержаний металла в целом по исследованному району в 4.3 раза в 1989 г. и в 9.5 раз в 2005 г. По сравнению с урбанизированным фоном

Таблица 2. Средние значения и показатели вариабельности физико-химических свойств верхнего (0–15 см) горизонта почв разных функциональных зон Восточного округа Москвы за 1989 и 2005 гг. *n* – число разрезов

Статистические показатели	C общ, %	Гумус, %	pH водный	N общ, %	K ₂ O подв, мг/100 г	P ₂ O ₅ общ, мг/100 г	Fe вал, мг/кг	Mn вал, мг/кг	Емкость поглощения мг-экв/100г	Содержание физической глины, %
1989										
Крупные автомагистрали и промзоны (<i>n</i> = 12)										
Среднее	3.84	6.67	7.59	0.158	18.7	41.4	6306	442	34.7	36.9
<i>C_v</i>	45.6	45.6	3.6	30.3	39.3	27.1	25.2	50.5	33.7	18.1
Min-max	1.75–6.32	3.02–10.9	7.23–8.11	0.09–0.22	10.1–30.6	27.2–58.9	3079–8650	182–906	13.1–49	20–44
Внутрирайонные улицы (<i>n</i> = 16)										
Среднее	3.38	5.76	7.54	0.144	15.8	27.1	5542	340	22.0	25.1
<i>C_v</i>	30.8	32.8	3.6	17.2	29.2	15.6	37.6	29.4	38.0	29.7
Min-max	1.30–5.26	2.24–9.07	7.15–8.03	0.10–0.21	10.8–28.4	22.9–41.2	2279–9570	157–514	9.6–36.2	16–40
Старые жилые кварталы (<i>n</i> = 5)										
Среднее	3.66	6.37	7.40	0.158	18.1	28.5	4881	463	33.3	28.75
<i>C_v</i>	45.1	45.2	5.6	30.1	20.1	10.4	12.4	21.3	41.1	13.7
Min-max	1.04–5.16	1.79–8.98	6.72–7.72	0.08–0.20	11.9–21.1	25.0–32.0	3900–5342	329–600	10.0–44.3	23–32
Новостройки (<i>n</i> = 5)										
Среднее	0.656	1.14	6.38	0.066	10.3	16.0	3162	260	13.8	15.2
<i>C_v</i>	14.2	13.9	1.9	13.5	11.5	8.6	5.2	48.1	40.4	7.2
Min-max	0.56–0.79	0.97–1.36	6.28–6.59	0.06–0.08	9.4–12.3	14.1–17.6	3002–3410	95–412	9.4–23.2	14–17
Рекреационная зона (<i>n</i> = 6)										
Среднее	2.18	3.79	6.67	0.108	9.80	14.6	4481	512	19.6	25.0
<i>C_v</i>	26.1	26.0	8.1	19.8	5.5	18.4	18.5	31.8	33.6	14.1
Min-max	1.57–2.95	2.71–5.14	6.05–7.18	0.08–0.13	9.1–10.5	11.4–18.9	3602–5631	310–745	12.4–29.3	20–29
Сельскохозяйственная зона (<i>n</i> = 5)										
Среднее	1.78	3.10	6.57	0.114	16.0	25.5	4632	535	29.5	31.2
<i>C_v</i>	10.9	10.9	2.8	4.8	7.5	2.9	2.4	20.5	38.0	23.9
Min-max	1.63–2.11	2.83–3.67	6.41–6.89	0.11–0.12	14.2–17.3	24.8–26.5	4521–4764	419–676	10.5–39.4	18–36
2005 г.										
Крупные автомагистрали и промзоны (<i>n</i> = 14)										
Среднее	4.38	7.649	8.23	0.287	22.5	49.6	7401	518	51.4	45.0
<i>C_v</i>	37.4	37.0	2.28	20.7	28.3	23.0	20.6	39.0	15.1	12.8
Min-max	2.38–7.63	4.28–13.3	8.05–8.65	0.24–0.41	13.1–32.2	34.1–68.2	4491–10211	303–1014	39.6–66.8	36–56
Внутрирайонные улицы (<i>n</i> = 18)										
Среднее	3.73	6.49	7.98	0.236	18.7	32.2	6124	406	22.5	30.7
<i>C_v</i>	25.2	25.1	4.94	19.8	26.3	12.9	30.4	21.7	24.6	22.6
Min-max	2.4–5.38	4.18–9.34	7.16–8.81	0.16–0.31	13.6–30.8	27.6–43.0	3614–10103	267–568	18–39	19–43
Старые жилые кварталы (<i>n</i> = 5)										
Среднее	3.64	6.34	8.13	0.288	19.8	31.3	5469	558	52.7	35.3
<i>C_v</i>	40.9	41.0	3.99	16.6	15.6	9.16	22.1	12.4	16.0	14.0
Min-max	1.76–5.24	3.06–9.12	7.81–8.49	0.22–0.33	15.2–22.0	28.1–34.4	4238–6940	484–622	45.2–64	32–41
Новостройки (<i>n</i> = 5)										
Среднее	1.05	1.83	6.62	0.170	11.7	17.6	3329	240	14.6	18.0
<i>C_v</i>	45.0	45.1	2.58	10.2	7.78	5.42	6.13	14.4	9.96	14.7
Min-max	0.75–1.60	1.30–2.78	6.51–6.82	0.15–0.18	10.7–12.5	16.6–18.5	3180–3562	202–269	13.6–16.3	16–21
Рекреационная зона (<i>n</i> = 6)										
Среднее	2.44	4.25	7.14	0.176	12.1	16.7	4463	521	28.3	29.6
<i>C_v</i>	29.5	29.6	7.66	9.51	6.71	10.5	17.4	16.6	24.4	17.3
Min-max	1.83–3.48	3.18–6.06	6.41–7.86	0.16–0.20	11.2–13.3	14.8–19.6	3822–5765	420–634	22.5–40.2	23–36
Сельскохозяйственная зона (<i>n</i> = 5)										
Среднее	1.84	3.21	7.20	0.212	18.8	29.2	4764	685	46.3	36.8
<i>C_v</i>	4.57	4.62	5.40	8.04	3.51	7.23	2.73	2.76	7.91	16.2
Min-max	1.75–1.93	3.04–3.36	6.86–7.69	0.19–0.23	18.1–19.6	27.1–32.0	4623–4903	658–702	41.4–49.6	28–41

Таблица 3. Статистические и геохимические показатели, характеризующие накопление свинца в почвах различных функциональных зон Восточного округа Москвы

Показатели	1989 г.			2005 г.			Ka**
	0–15 см	15–30 см	$\frac{Kc_1}{Kc_2}$ *	0–15 см	15–30 см	$\frac{Kc_1}{Kc_2}$	
Крупные автомагистрали и промзоны							
Среднее	60.5	46.9	$\frac{3.1}{6.7}$	172	130	$\frac{8.6}{18.9}$	2.8
C _{вр} %	53.8	64.4		46.9	35.3		
Min–max	16.6–127	10.5–119		106–371	88.4–228		
Внутрирайонные улицы							
Среднее	26.5	18.1	$\frac{1.3}{2.8}$	35.1	26.6	$\frac{1.7}{3.7}$	1.3
C _{вр} %	57.7	52.8		28.0	30.2		
Min–max	10.1–73.4	7.20–40.6		20.1–53.9	12.6–38.4		
Старые жилые кварталы							
Среднее	72.4	37.4	$\frac{3.2}{6.9}$	167	72.1	$\frac{6.9}{15.0}$	2.2
C _{вр} %	70.5	44.0		48.7	55.8		
Min–max	11.4–147	8.80–50.1		92.5–281	12.6–101		
Новостройки							
Среднее	16.4	12.2	$\frac{0.8}{1.8}$	16.8	16.2	$\frac{0.9}{2.1}$	1.2
C _{вр} %	43.5	11.9		6.5	5.4		
Min–max	11.0–28.5	10.8–14.6		15.9–18.0	15.2–16.8		
Рекреационная зона							
Среднее	21.1	17.4	$\frac{1.1}{2.4}$	33.8	25.3	$\frac{1.7}{3.7}$	1.5
C _{вр} %	26.4	37.0		22.1	11.3		
Min–max	13.1–25.8	6.0–22.5		28.6–46.8	22.1–28.6		
Сельскохозяйственная зона							
Среднее	45.6	32.8	$\frac{2.3}{4.9}$	89.1	72.6	$\frac{4.6}{10.1}$	2.1
C _{вр} %	48.0	50.0		14.0	15.7		
Min–max	12.3–68.8	9.50–55.5		74.1–102	62.6–88.6		

* Kc – коэффициенты накопления свинца в слое 0–30 см; числитель Kc₁ рассчитан по сравнению с урбанизированным фоном; знаменатель Kc₂ – относительно природного фона.

** Ka – коэффициент аномальности: содержание свинца (слой 0–30 см) в 2005 г. по отношению к 1989 г.

содержание свинца в почвах района выросло соответственно в 2 и 4.4 раза. На это указывают коэффициенты накопления (Kc), устанавливающие превышение концентраций металла в городских почвах над его фоном. Анализируя динамику концентраций свинца в почвах различных функциональных зон (табл. 3), отметим, что в 1989 г. загрязнение металлом отмечалось только в почвах крупных автомагистралей и промзон, старых жилых кварталов и агроландшафтов. В 2005 г., в связи с усилением техногенного воздействия, загрязнение стало проследиваться практически повсеместно, включая зоны отдыха и новостройки. Наибольшие концентрации свинца в поверхностном (0–15 см) слое почв выявлены в транспортной и промышленной зонах (371 мг/кг) и в жилых кварталах старой застройки (281 мг/кг). За период с 1989 по 2005 г. концентрации свинца в почвах

увеличились в среднем в 2.2 раза. Судя по коэффициентам аномальности (Ka), максимальные темпы накопления свинца наблюдались в почвах крупных автомагистралей и промзон (Ka = 2.8), минимальные – новостроек и внутрирайонных улиц (Ka = 1.2–1.3).

По интенсивности загрязнения почв свинцом зоны различного функционального назначения образуют следующий ряд: крупные автомагистрали и промзоны > старые жилые кварталы > агроландшафты > внутрирайонные улицы > рекреационная зона > новостройки. Следует отметить очень высокие уровни концентраций свинца в почвах старых жилых кварталов, которые в несколько раз превосходят таковые на соседствующих с ними внутрирайонных улицах и имеют тот же порядок величин, что и почвы крупных автомагистралей и промзон. Столь значительному накопле-

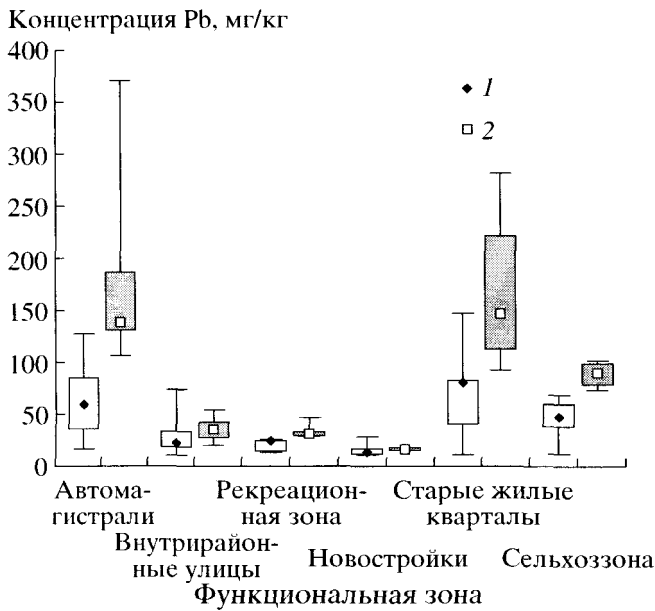


Рис. 1. Составная диаграмма размаха для концентраций свинца в поверхностном (0–15 см) слое почв Восточного округа Москвы в 1989 (1) и 2005 (2) гг. Маркерами отмечены средние значения, прямоугольниками – 25 и 75%-ные квартили, отрезками – минимальные и максимальные значения.

нию свинца в почвах этой функциональной зоны способствуют два обстоятельства. Во-первых, плотная застройка резко снижает скорость ветра, что приводит к осаждению аэрозолей свинца во дворах жилых кварталов. Во-вторых, почвы старых жилых кварталов обладают наибольшей сорбционной емкостью по отношению к свинцу (табл. 2), что ведет к его интенсивному накоплению в поверхностных горизонтах.

Установленные нами уровни содержания свинца в природных (фоновых) и загрязненных (городских) почвах соответствуют региональным, мировым и техногенным кларкам элемента в почвах южнотаежной зоны [1, 7, 10, 15, 19–21]. Сравнение полученных результатов с данными по распределению свинца в почвах Национального парка "Лосиный остров" [23], расположенного севернее рассматриваемой территории, показало совпадение диапазонов концентраций свинца в почвах большей части парка и исследованной нами рекреационной зоны. Для полосы, прилегающей к МКАД в пределах парка, определены существенно меньшие – в 2–3 раза – уровни загрязнения свинцом, чем для крупных автомагистралей, расположенных в южной части округа, что можно объяснить отсутствием здесь выбросов промышленных предприятий.

Показатели вариабельности свинца (табл. 3, рис. 1) обнаруживают наибольший разброс его содержаний в почвах крупных автомагистралей и

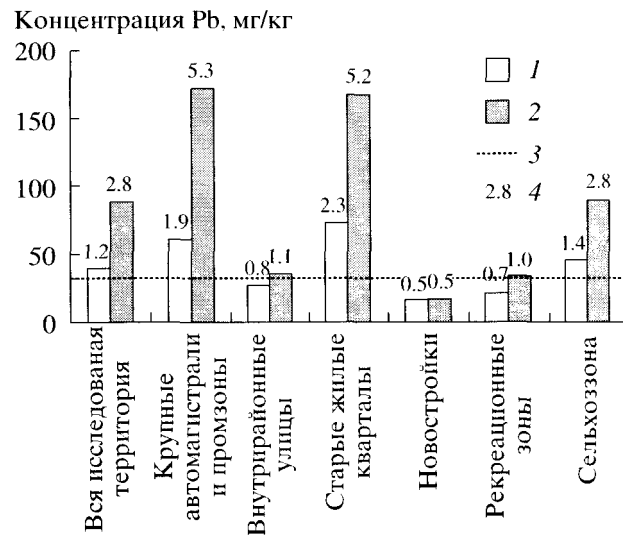


Рис. 2. Сравнение средних концентраций свинца в поверхностном (0–15 см) слое почв различных функциональных зон Восточного округа Москвы с ПДК (по данным 1989 (1) и 2005 (2) гг.), 3 – ПДК свинца в почвах; 4 – коэффициенты накопления Pb в почвах (относительно ПДК).

промзон, в старых жилых кварталах и на внутривыех улицах. За рассматриваемый 16-летний период произошло снижение этих показателей, что можно объяснить постепенным нивелированием различий основных физико-химических свойств городских почв, контролирующих уровень концентраций и миграционные свойства элемента.

Для оценки экологической опасности загрязнения почв металлом проводилось сравнение средних валовых содержаний свинца в почвах различных функциональных зон с ПДК (рис. 2). Видно, что в 1989 г. свинец накапливался выше ПДК, только в почвах крупных автомагистралей и промзон, в жилых кварталах старой застройки, а также в сельскохозяйственной зоне (превышение составило в 2,3, 1,9 и 1,4 раза соответственно). Содержание металла в почвах остальных зон было ниже ПДК ($K_c = 0.5-0.8$). Спустя 16 лет, в 2005 г. произошло увеличение загрязнения свинцом почв всех функциональных зон; превышение над ПДК составило 5,3 для крупных автомагистралей и промзон, 5,2 – для старых жилых кварталов и 2,8 – для агроландшафтов. Содержание свинца в почвах остальных зон приблизилось к нормативу ($K_c = 1.0-1.1$), и только в зоне новостроек оно осталось ниже ПДК ($K_c = 0.5$).

Картографирование содержаний свинца в почвах. Пространственную структуру загрязнения почв исследуемой территории отражают карты техногенных ореолов загрязнения свинцом поверхностного (0–15 см) горизонта почв, построенные по данным 1989 и 2005 гг. (рис. 3), и сред-

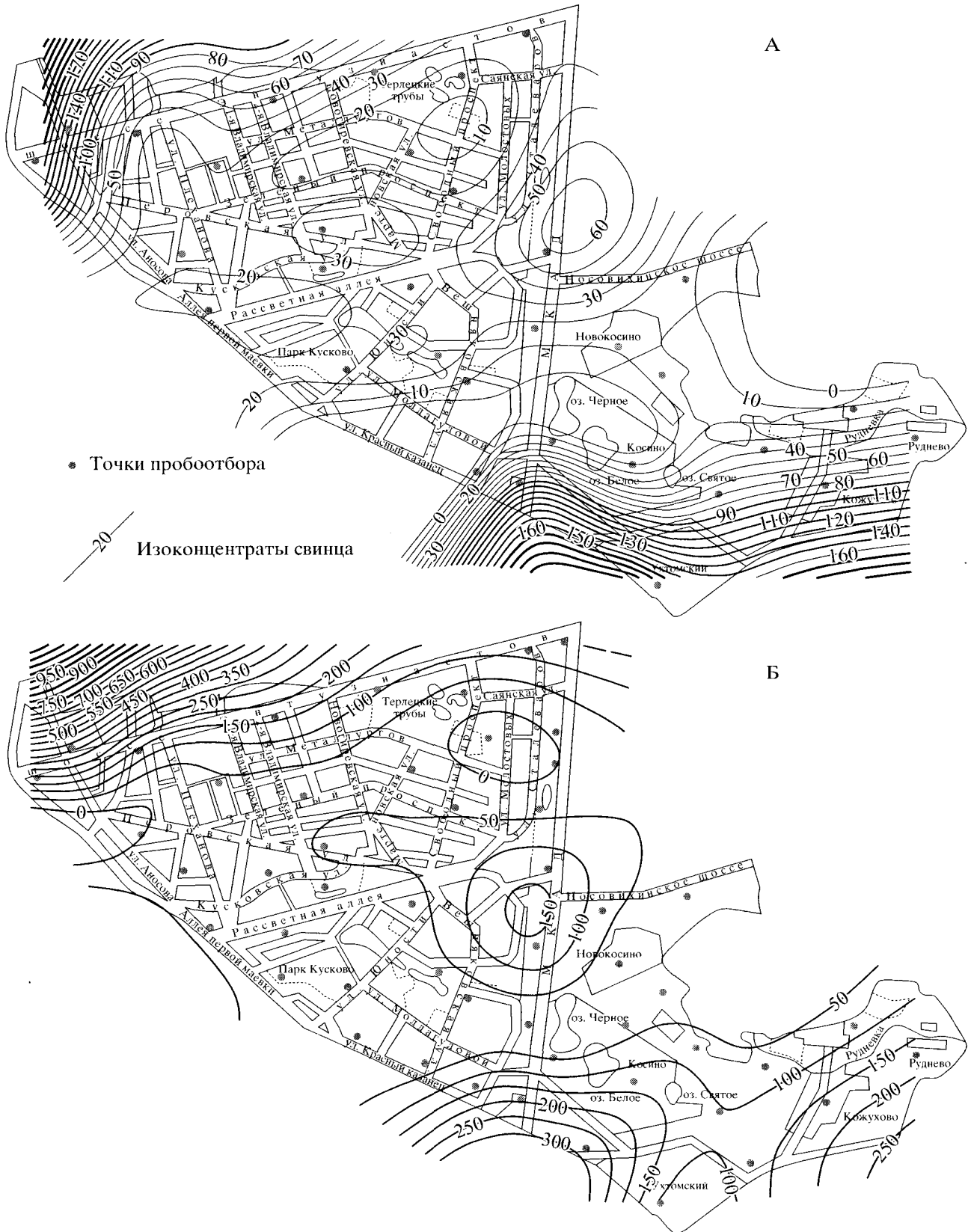


Рис. 3. Техногенные ореолы загрязнения свинцом поверхностного (0–15 см) слоя почв Восточного округа Москвы по данным 1989 (А) и 2005 (Б) гг.

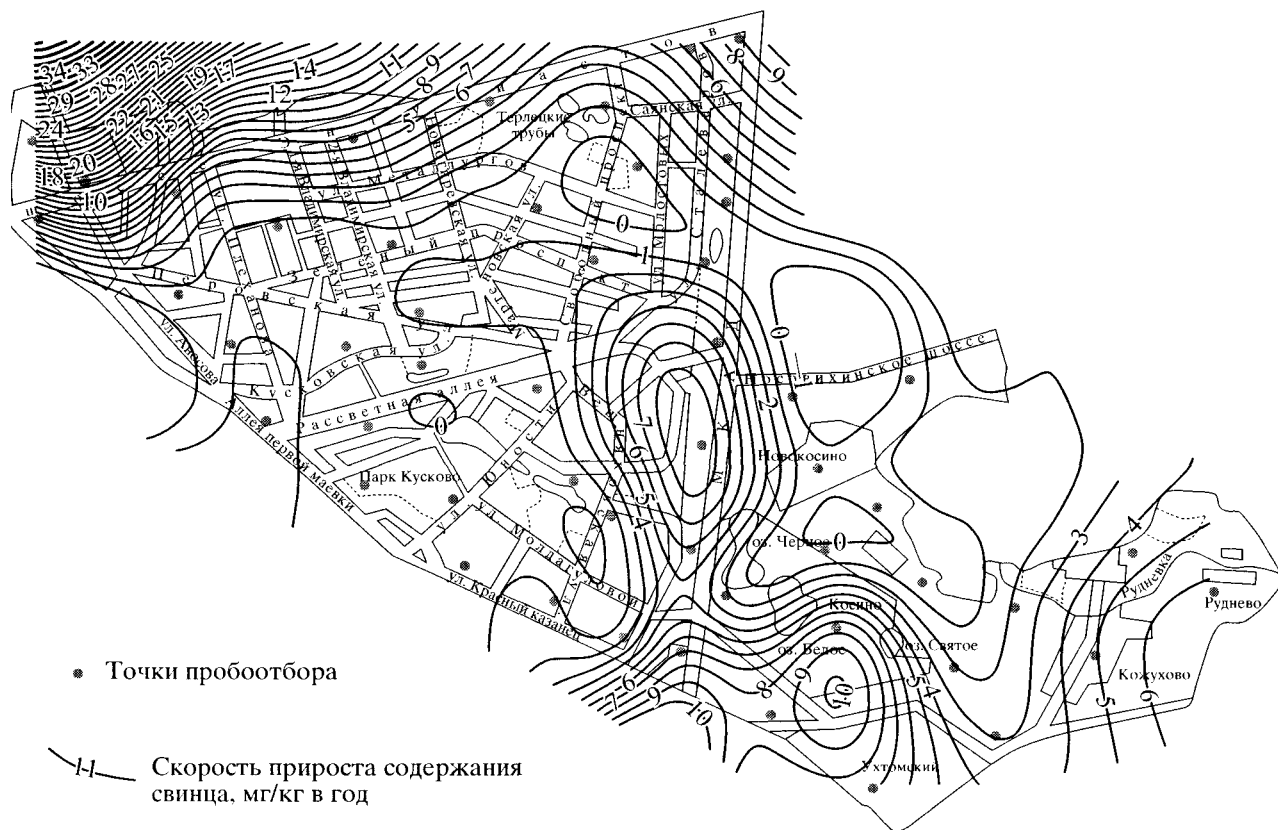


Рис. 4. Средняя скорость прироста содержания свинца в поверхностном (0–15 см) слое почв Восточного округа Москвы за период 1989–2005 гг.

ней годовой скорости прироста содержания свинца в почвах за тот же период (рис. 4).

На карте 1989 г. хорошо прослеживаются три техногенных ореола загрязнения почв свинцом, которые занимают северо-западную, центральную и юго-восточную части территории. Северо-западный ореол характеризуется наиболее высокими концентрациями свинца - от 30 до 190 мг/кг и выше, что составляет от 1.0 до 5.9 ПДК. Этот ореол связан преимущественно с влиянием двух источников загрязнения - металлургического комбината "Серп и Молот" и шоссе Энтузиастов. Юго-восточный ореол менее контрастен, с концентрациями от 30 до 140 мг/кг (от 1.0 до 4.4 ПДК). Он сформировался в старых жилых кварталах пос. Ухтомский, Кожухово и Руднево.

Третий ореол загрязнения почв свинцом, состоящий из ряда отдельных аномалий и приуроченный к МКАД, имеет концентрации элемента от 30 до 150 мг/кг (от 1.0 до 4.7 ПДК). Он обязан своим возникновением воздействию выбросов автотранспорта, поступающих с МКАД, а также техногенному влиянию г. Реутов, расположенного северо-восточнее автомагистрали. Пространственная неоднородность концентраций свинца вдоль МКАД объясняется усилением нагрузки на

дорогу в местах пересечений с крупными радиальными магистралями, а также чередованием насыпей и выемок в профиле автотрассы, которое влияет на дальность переноса пыли и латеральную миграцию свинца с внутрипочвенным стоком. На остальной части рассматриваемой территории содержание свинца в почвах ниже ПДК: от 10 до 20 мг/кг.

К 2005 г. ранее сформировавшиеся техногенные ореолы загрязнения почв свинцом значительно увеличили свои размеры и интенсивность. Концентрации свинца в наиболее контрастном северо-западном ореоле увеличились до 450-500 мг/кг, что равняется 14.1-15.6 ПДК. Содержания свинца в юго-восточном ореоле загрязнения также "подросли" до уровня 160-240 мг/кг, то есть до 5.0-7.5 ПДК. В центральном ореоле загрязнения, сформированном по обе стороны МКАД, концентрации свинца достигли 260 мг/кг, что составляет 8.1 ПДК.

С ростом техногенного воздействия площадь почв, слабозагрязненных свинцом, значительно сократилась и занимает в настоящее время центральную часть рассматриваемого района - от парка Кусково на юге до зоны отдыха "Терлецкие пруды" на севере, а также жилую зону Новокосино. Эта наиболее экологически благоприят-

ная территория для проживания населения с концентрациями свинца в почвах менее 30 мг/кг, то есть ниже ПДК.

Прогноз уровней накопления свинца в почвах.

По данным 1989 и 2005 гг. рассчитаны средние годовые скорости прироста содержания свинца в поверхностном (0-15 см) слое почв района исследования, и построена карта средней скорости прироста (рис. 4). Наибольшая скорость прироста свинца в почвах, равная 5-20 мг/кг в год, отмечается в центре северо-западного ореола загрязнения. Юго-восточный и центральный ореолы имеют меньшую интенсивность прироста, которая в центре этих ореолов составляет 7-9 мг/кг в год. Следует отметить достаточно высокую скорость увеличения содержания металла в центральном ореоле по обе стороны МКАД, которая сочетается со сравнительно небольшим возрастом этого очага загрязнения — ореол начал зарождаться только в 1989 г. Краевые части всех трех выявленных ореолов имеют меньшую среднюю скорость прироста содержания свинца, равную 1-2 мг/кг в год. На остальной территории, охватывающей центральную часть района и жилые кварталы Новокосино, прирост концентраций свинца в почвах за исследуемый период времени составляет менее 1 мг/кг в год.

Полученные значения скоростей прироста свинца в почвах округа были использованы для расчета времени удвоения его концентраций. В качестве базового уровня приняты содержания свинца в поверхностном слое почв разных функциональных зон в 2005 г. По нашим оценкам, в трех наиболее загрязненных зонах округа время удвоения не превышает 30 лет и имеет пределы колебаний от 23.7 до 29.8 лет. Для внутрирайонных улиц и рекреационной зоны время удвоения равняется 39.8 и 43.7 годам соответственно. Максимальное время удвоения содержания свинца имеют почвы новостроек в районе Новокосино, составляющее 55 лет.

Рассчитанные значения времени удвоения концентраций свинца в почвах округа существенно ниже величин, установленных другими авторами для почв фоновых территорий южнотаежной зоны, и совпадают с оценками для техногенно измененных почв. Так, по данным Глазовской [7], удвоение содержания свинца в поверхностном (0—10 см) слое малогумусных почв легкого гранулометрического состава южнотаежных экосистем может наступить через 150-300 лет. Согласно оценкам Учватова [29], теоретическое время удвоения концентраций свинца в почвах фоновых районов центра Русской равнины в слое 0—10 см составляет 64 года на юге Подмосковья и 252 года в Тульских засеках. Время удвоения концентраций свинца в почвах Тульской промышленной агломерации (гг. Тула, Советск, Серпухов) составляет 8-25 лет.

Свойства почв, контролирующие накопление свинца. Известно, что накопление свинца и подвижность его соединений в почвах определяются рядом почвенно-геохимических показателей. Среди них наиболее важную роль играют кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, содержание органического вещества, гранулометрический состав, содержание оксидов и гидроксидов марганца и железа, подвижного фосфора, карбонатов, состав глинистых минералов [3,4,6,9-11, 17,30].

Наибольшие концентрации свинца наблюдаются в гумусовых горизонтах, что объясняется образованием стабильных Pb^{2+} -органических комплексов [2, 11]. Органическое вещество, особенно высокомолекулярные гуминовые кислоты, оказывают большее влияние на иммобилизацию свинца, чем карбонаты или гидроксиды, которые осаждаются в почвах только при высоких значениях pH. Наиболее устойчивыми формами свинца в почвах являются фосфаты свинца, один из которых - пироморфит, обнаружен в почвах городских газонов, вблизи ряда химических заводов, образующих техногенные аномалии свинца [2]. Среди фосфатно-активных сорбентов свинца наиболее труднорастворимыми являются ортофосфаты [4].

Степень растворимости соединений свинца сильно изменяется в зависимости от величины pH [4]. Все соединения свинца наиболее растворимы при низких значениях pH (менее 4). Их растворимость резко уменьшается в интервале pH 6.5-8.0, с ростом pH от 8 до 10 она снова несколько увеличивается. Кислотно-щелочные условия контролируют адсорбцию свинца свежесажеными гидроксидами железа и марганца, их сорбционная емкость существенно увеличивается с повышением pH [3, 26]. На гидроксидах марганца адсорбция свинца наблюдается уже в кислой среде, но наиболее активно гидроксиды железа и марганца сорбируют свинец в диапазоне pH 7.0-8.0. Осаждение свинца на щелочном барьере происходит в результате образования труднорастворимого гидроксида [22].

Влияние основных геохимических факторов на аккумуляцию свинца в почвах Восточного округа оценивалось с помощью корреляционного анализа. По выборке 1989 г. установлены значимые положительные связи между содержанием свинца в горизонте 0—15 см и гумуса ($r = 0.51$), а также подвижным фосфором ($r = 0.63$). Наиболее высокие коэффициенты корреляции с содержанием свинца имеют емкость поглощения и содержание физической глины ($r = 0.89$ и 0.80). В выборке 2005 г. положительные связи, обнаруженные между содержанием свинца и перечисленными физико-химическими свойствами почв, сохранились или еще более усилили свой статус. Ранее незначимые свя-

зи концентраций свинца с рН и содержанием валовых форм железа и марганца стали значимыми ($r = 0.35-0.43$).

По результатам корреляционного анализа, накопление соединений свинца в поверхностных горизонтах исследуемой территории тесно коррелирует с емкостью поглощения, характеризующей сорбционный потенциал всех основных компонентов почвы. Среди этих компонентов наибольшее значение имеет содержание физической глины ($r = 0.80$ в 1989 г. и 0.79 в 2005 г.), второе место занимает подвижный фосфор ($r = 0.63$ и 0.71), на третьем месте - гумус ($r = 0.51$ и 0.42), хотя в 2005 г. влияние оксидов и гидроксидов железа стало таким же, как гумуса ($r = 0.43$).

Однако корреляционный анализ не дает полного представления о степени влияния того или иного фактора, поскольку результирующая величина концентрации свинца одновременно испытывает влияние многих других факторов, и исключить последнее при их скоррелированности не представляется возможным. Коэффициенты корреляции описывают только линейные связи, тогда как для многих факторов, таких как кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, характерна нелинейность. Кроме того, не всегда выполняется требование нормального распределения всех переменных - многие свойства почв и концентрации свинца подчиняются логнормальному распределению.

Поэтому нами проведен многофакторный регрессионный анализ с помощью нелинейного алгоритма решающих деревьев. Он позволяет прогнозировать уровни содержания металла и его вариабельность при различных сочетаниях факторов, а также оценить значимость последних [14, 32]. Построение решающего дерева основано на многократном разбиении исходного массива данных с наблюдениями за результирующим признаком и его факторами на две части. Факторы могут быть представлены не только количественными, но и качественными переменными [36].

Результаты этого анализа представлены на рис. 5. Из числа факторов мы исключили емкость поглощения, поскольку она является обобщенным показателем. При относительно слабом загрязнении почв исследуемой территории в 1989 г. ведущим фактором, контролирующим накопление свинца, является содержание физической глины. В почвах легкого гранулометрического состава (содержание физической глины менее 21 %) депонирование свинца обеспечивают фосфаты - при содержании $P_2O_5 > 25.6$ мг/100 г содержание металла увеличивается в 1.5 раза. В трех наиболее загрязненных функциональных зонах территории при содержании физической глины 30-40% в аккумуляции свинца заметную роль начинают играть оксиды и гидроксиды железа: обогащен-

ные этим элементом почвы накапливают свинца в 2 раза больше. При пониженном содержании Fe (менее 6640 мг/кг) аккумуляция свинца зависит от содержания органического вещества - в почвах с содержанием углерода менее 4% свинца накапливается почти в 1.5 раза меньше.

Качественно иная картина связей наблюдается в 2005 г. На исследуемой территории четко выделяются две области: слабо- и сильнозагрязненная. В первой области наиболее загрязненными свинцом являются почвы агроландшафтов. Уровень загрязнения почв в рекреационной зоне, на внутрирайонных улицах и в жилых кварталах новостроек контролируется содержанием физической глины - в почвах более легкого гранулометрического состава содержание металла увеличивается почти в 2 раза. В наиболее загрязненных функциональных зонах территории максимальное накопление свинца - 270 мг/кг - наблюдается в почвах тяжелого гранулометрического состава, при содержании физической глины более 49%. При меньшем ее содержании аккумуляция свинца зависит от содержания оксидов и гидроксидов марганца: обогащенные этим элементом почвы накапливают свинца в 1.5 раза больше.

Следовательно, по результатам регрессионного анализа, накопление свинца в городских почвах контролируется в основном тремя показателями: содержанием физической глины, железа и марганца; некоторое влияние оказывают также органическое вещество и фосфор. При этом роль перечисленных факторов определяется уровнем техногенной нагрузки. Сопоставление результатов метода решающих деревьев и корреляционного анализа позволяет сделать вывод о большей информативности первого, обеспечивающего более достоверную оценку влияния факторов на дифференциацию свинца в почвах в рассматриваемом диапазоне условий.

ВЫВОДЫ

1. Анализ динамики средних концентраций свинца в поверхностных горизонтах почв Восточного округа показал их увеличение по сравнению с природным фоном в 4.3 раза в 1989 г. и в 9.5 раз в 2005 г. По сравнению с урбанизированным фоном концентрации свинца выросли в 2.0 и 4.4 раза соответственно. За период с 1989 по 2005 гг. средние содержания металла в почвах увеличились в 2.2 раза. По темпам накопления свинца в почвах зоны различного функционального назначения образуют следующий ряд: крупные автомагистрали и промзоны > старые жилые кварталы > агроландшафты > внутрирайонные улицы > рекреационная зона > новостройки. Очень высокие уровни аккумуляции свинца в почвах старых жилых кварталов, сопоставимые с таковыми на крупных автомагистралях и в промзонах, обу-

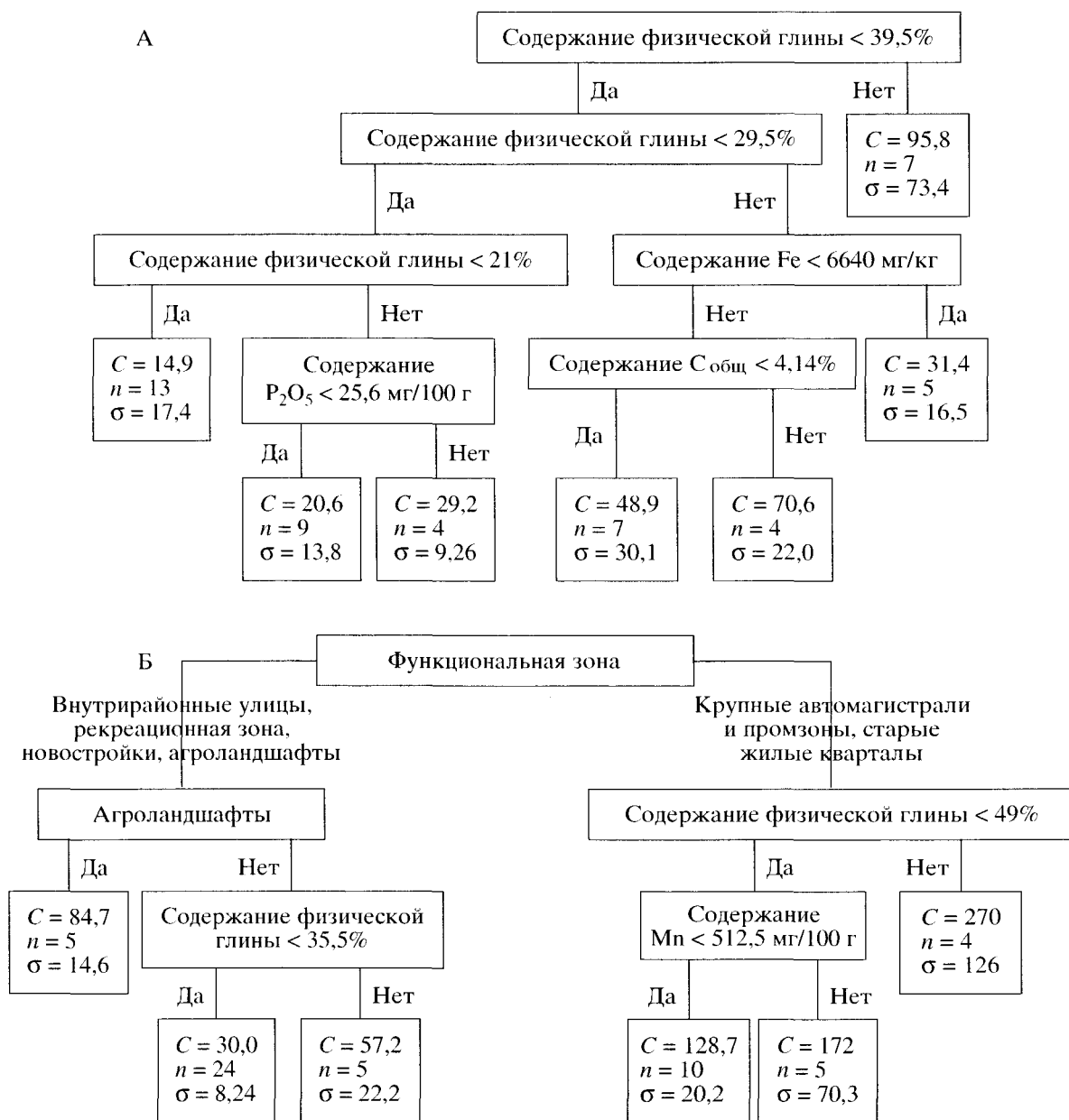


Рис. 5. Решающие деревья для содержания свинца в поверхностном (0–15 см) слое почв Восточного округа в 1989 (А) и в 2005 г. (Б). Для каждого конечного узла приводится среднее значение (С, мг/кг) концентрации металла, число разрывов (n) и среднее квадратичное отклонение (σ).

словлены благоприятным для осаждения аэрозолей свинца ветровым режимом и максимальной сорбционной емкостью почв.

2. В почвах Восточного округа Москвы сформировались техногенные ореолы загрязнения свинцом высокой контрастности и протяженности. Своим возникновением они обязаны выбросам автотранспорта и крупных промышленных предприятий. Наиболее сильным загрязнением почв характеризуется северо-западный ореол почти с трехкратным ростом концентраций за 16-летний период – с 190 мг/кг до 500 мг/кг. Максимум

накопления свинца находится в слое 0–15 см, где его содержание относительно почвообразующих пород возрастает в десятки и сотни раз.

3. При оценке экологической опасности загрязнения почв свинцом установлено, что в 1989 г. металл накапливался выше ПДК только в почвах крупных автомагистралей и промзон, в жилых кварталах старой застройки, а также в сельскохозяйственной зоне (превышение составило в 2,3, 1,9 и 1,4 раза соответственно). В 2005 г. превышения свинца над нормативом в этих зонах возросли в 2–2,7 раза. За период 1989–2005 гг. площадь

почв, слабозагрязненных свинцом, значительно сократилась и занимает в настоящее время лишь центральную часть рассматриваемой территории и район Новокосино. Эта наиболее экологически благоприятная территория для проживания населения с концентрациями свинца в почвах менее 30 мг/кг, то есть ниже ПДК.

4. Наибольшая скорость прироста содержания свинца в поверхностном слое почв за 16-летний период, равная 5-20 мг/кг в год, отмечена в центре северо-западного ореола загрязнения. Юго-восточный и центральный ореолы имеют меньшую скорость прироста - 2-9 мг/кг в год. В крайних частях всех трех ореолов прирост содержания свинца не превышает 1-2 мг/кг в год, на остальной территории его величина составляет менее 1 мг/кг в год. В трех наиболее загрязненных функциональных зонах района время удвоения концентраций свинца в поверхностном слое почв не превышает 30 лет. Для внутрирайонных улиц и рекреационной зоны время удвоения равняется 39.8 и 43.7 годам соответственно. Максимальное время удвоения содержания свинца, равное 55 годам, имеют почвы новостроек в жилых кварталах Новокосино.

5. Оценка влияния геохимических факторов на накопление свинца в почвах выявила наиболее тесную корреляционную связь содержания свинца в их поверхностном слое с емкостью поглощения, содержанием физической глины и фосфора ($r = 0.63-0.89$). Более достоверные оценки влияния факторов на дифференциацию свинца в почвах получены с помощью многофакторного нелинейного анализа. В качестве основных экологоиндикационных признаков, контролирующих накопление свинца в почвах, выделены: содержание физической глины, оксидов и гидроксидов марганца и железа; несколько меньшее влияние на аккумуляцию свинца оказывают органическое вещество и фосфор. Роль перечисленных факторов определяется уровнем техногенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белицына Г.Д., Пачепская Л.Б.* Особенности поведения свинца в некоторых почвах дерново-подзолистой зоны // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 45-50.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Соединения As, Pb и Zn в загрязненных почвах (по данным EXAFS-спектроскопии) - обзор литературы // Почвоведение. 2006. № 6. С. 681-691.
3. *Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В.* Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный ин-т РАСХН, 1998. 216 с.
4. *Воробьева Л.А., Рудакова Т.А., Лобанова Е.А.* Подвижность железа и свинца в почвах // Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 5-12.
5. *Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. и др.* Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / Под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск.: Ойкумена, 2003. 268 с.
6. *Глазовская М.А.* Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом // Почвоведение. 1994. № 4. С. 110-120.
7. *Золотарева Б.Н., Скрипниченко И.И., Гелетюк Н.И. и др.* Содержание и распределение тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути) в почвах европейской части СССР // Генезис, плодородие и мелиорация почв. Пушкино, 1980. С. 77-80.
8. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 томах. М., Недра, 1994. Кн.1. 304 с. Кн. 2. 303 с. 1996. Кн. 3. 352 с. Экология. 1996. Кн. 4. 409 с. 1997. Кн. 5. 576 с. Кн. 6. 607 с.
9. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2001. 229 с.
10. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 436 с.
11. *Карпунин А.И.* Комплексные соединения гумусовых кислот с тяжелыми металлами // Почвоведение. 1998. № 7. С. 840-847.
12. *Касимов Н.С.* Методология и методика ландшафтно-геохимического анализа городов // Экогеохимия городов / Под ред Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.
13. *Касимов Н.С., Никифорова ЕМ.* Геохимия городов и городских ландшафтов // Экология города / Под ред. А.С. Курбатовой и др. М.: Научный мир, 2004. С. 234-268.
14. *Кошелева Н.Е., Макарова М.Г., Новикова О.В.* Тяжелые металлы в листьях древесных пород городских ландшафтов // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5, география. 2005. № 3. С. 74-81.
15. *Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды / Отв. ред. М.А. Глазовская, Н.С. Касимов. М.: Наука, 1989. 263 с.*
16. *Москаленко Н.Н., Смирнова Р.С.* Геохимическая оценка загрязнения окружающей среды Ленинского района Москвы // Экология и охрана природы Москвы и Московского региона / Под ред. В.А. Садовниченко, С.А. Ушакова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 237 с.
17. *Мотузова Г.В.* Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 117 с.
18. *Никифорова ЕМ.* Свинец в ландшафтах природных экосистем // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука. 1981. С. 220-230.
19. *Никифорова ЕМ., Лазукова ГГ.* Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растений городских экосистем Перовского района Москвы // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5, география. 1991. № 3. С. 44-53.
20. *Никифорова ЕМ., Лазукова ГГ.* Москва. Перовский район. Равнинные ландшафты // Экогеохи-

- мия городских ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1995. С. 57-90.
21. *Обухов А.И., Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д. и др.* Тяжелые металлы в почвах и растениях Москвы // Экологические исследования в Москве и Московской области. М., 1990. С. 148-162.
 22. *Орлов Д.С.* Химия почв. М.: Ичд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
 23. Оценка геохимического загрязнения Национального парка "Лосиный остров". М.: Прима-Пресс, 2000. 111 с.
 24. Почва, город, экология. / Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд за экологическую грамотность, 1997. 320 с.
 25. *Самаев С.Б., Соколов Л.С., Пантелеев А.С.* Загрязнение почвы под воздействием автомобильного транспорта в Москве // Автотранспортный комплекс и экологическая безопасность. М., 1999. С. 266-270.
 26. Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. 181 с.
 27. *Соколов Л.С., Астрахан Е.Д.* Загрязнение территории Москвы металлами // Природа, 1993. № 7. С. 68-73.
 28. Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 1997 г.). Аналитический доклад / Под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-Пресс, 1998. 238 с.
 29. *Учватов В.П.* Геохимические потоки и балансы тяжелых металлов в природных и антропогенных ландшафтах центра Европейской России. Воздействие атмосферной составляющей на почвенный покров // Почвоведение (в печати).
 30. *Цапина М.А.* Трансформация и транспорт оксидов свинца, кадмия и цинка в дерново-подзолистой почве // Почвоведение, 1994. № 1. С. 45-50.
 31. *Якубов Х.Г.* Экологический мониторинг зеленых насаждений в Москве. М.:000 Стагирит-Н, 2005. 264 с.
 32. *Bell J.F.* Tree-based methods // Machine learning methods for ecological application. /Ed. A.H. Fielding. Boston; Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Press, 1999. P. 84-111.
 33. *Ilg K., Wilcke W., Safronov G., Lang F., Fokin A., Kauptenjohnann M.* Heavy metal distribution in soil aggregates: a comparison of recent and archived aggregates from Russia // Geoderma. V. 123. Iss. 1-2. November 2004. P. 153-162.
 34. *Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzi-one D., Violante P.* Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // Environmental Pollution. V. 124. Iss. 2. July 2003. P. 247-256.
 35. *Lin Z., Harsbo K., Ahlgren M., Qyarfort U.* The source and fate of Pb in contaminated soils at the urban area of Falun in central Sweden // The Science of The Total Environment. V. 209. Iss. 1. 1998. P. 47-58.
 36. *Pachepsky Y.A., Rawls W.J.* Development of pedotransfer functions in soil hydrology (Development in Soil Science. V. 30). Elsevier, 2005. 542 p.
 37. *Wong C.S.C., Li X., Thornton I.* Urban environmental geochemistry of trace metals // Environmental Pollution. V. 142. Iss. 1. July 2006. P. 1-16.

Dynamics of Contamination of Urban Soils with Lead in the Eastern District of Moscow

E. M. Nikiforova and N. E. Kosheleva

Spatial-temporal trends were revealed in the contamination of Moscow soils with lead as a priority pollutant emitted with automobile exhaust. From the data of 1989 and 2005, maps of technogenic lead aureoles in soils of the eastern district were compiled, the average annual rate of increase in the element content was estimated, and its doubling time was predicted. Ecological-indication properties controlling the accumulation of lead in soils were determined.