Н.Е. Кошелева, Д.В. Власов, И.Д. Корляков, Н.С. Касимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ВЛИЯНИЕ ЗАСТРОЙКИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Искусственный рельеф в городах может создать значительную пространственную геохимическую неоднородность, перераспределяя атмосферные потоки поллютантов и формируя зоны осаждения в городских почвах и других депонирующих средах. Однако влияние застройки на загрязнение городской среды до настоящего времени остается малоизученным вопросом. Цель работы – оценить барьерные функции городской застройки путем совместного анализа данных о содержании тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в поверхностном горизонте городских почв, их физико-химических свойствах, определяющих фиксирующую способность по отношению к ТММ, и параметрах зданий. В качестве объекта исследования выбрана жилая зона Восточного административного округа (ВАО) г. Москвы, где в 2015 г. была проведена почвенно-геохимическая съемка. Параметры зданий вблизи точек пробоотбора определены путем обработки данных из БД Open Street Map, космического снимка GeoEye-1 в программных пакетах ArcGis 10.0 и Statistica 7.0. Выявлен высокий уровень загрязнения почв жилой зоны ВАО Cd, W, Bi, Zn, As, Cr, Sb, Pb, Cu. С помощью многомерного регрессионного анализа установлено, что загрязнение почв дифференцировано в зависимости от параметров застройки, которая на расстоянии от зданий менее 23–36 м при их суммарной площади более 660 м² и высоте более 7,5–21 м создает защитные барьеры-экраны для внутридворовых территорий, уменьшающие концентрации в почвах As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, W в 1,2–3 раза. Противоположное, т.е. загрязняющее воздействие застройки проявляется в «колодцах-ловушках», образующихся в зависимости от металла на расстоянии менее 25–30 м от окружающих зданий при их высоте более 8,5–20 м, средней площади более 118–323 м² и общей площади более 323–1300 м². В этих условиях концентрации Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, W, Zn в почвах увеличиваются в 1,2–1,9 раза. Влияние этих двух конфигураций застройки проявляется только при определенном направлении атмосферных потоков. В Восточной Москве преобладают южные, западные и восточные ветры, защитой от которых служат здания, расположенные в северо-западном секторе относительно точки исследования. Увеличение их высоты и уменьшение расстояния до точки способствуют уменьшению концентраций As, Cr, Mo, Ni, Pb, Sn, W в поч-

Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Корляков И.Д., Касимов Н.С. Влияние застройки на загрязнение городских почв тяжелыми металлами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 36–55. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.03

Kosheleva N., Vlasov D., Korlyakov I., Kasimov N. Effect of build development on contamination of urban soils with heavy metals. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 1. Pp. 36-55. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.03

вах. При увеличении средней или суммарной площади зданий в северо-восточном и юго-западном секторах формируются зоны осаждения из атмосферы Cd, Pb и Co.

Ключевые слова: городская застройка, селитебная зона, почвы, загрязнение, техногенные выбросы, тяжелые металлы и металлоиды.

Введение. Поведение поллютантов в городской среде определяется не только размещением источников загрязнения, заметное влияние оказывают рельеф, структура застройки и метеорологические факторы, контролирующие рассеивающую и накапливающую способности атмосферы, а также формирование и распространение городских островов тепла [1–5]. Многоэтажные городские кварталы представляют собой сложную систему разновысотных поверхностей с разным уклоном, продуваемых воздушными потоками. Здания сильно изменяют ветровой режим в приземном слое атмосферы, создавая участки «ветровой тени» в замкнутых дворах и эффект «каньона» на крупных улицах [6, 7]. Влияние различных типов подстилающих поверхностей на изменение скорости ветра в условиях города изучено достаточно детально [8, 9]. Однако сам ветровой режим, как повторяемость ветров различных направлений в различные сезоны, требует дальнейших исследований. Установлено, что он видоизменяется под воздействием острова тепла, который формирует циркуляцию по типу бриза или циклона [10].

В этих условиях расчет распространения загрязнений от техногенных источников становится очень сложной задачей, особенно в мегаполисах, где имеется множество антропогенных источников в виде автомагистралей, промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных и разного рода мастерских. Они формируют довольно высокий уровень содержания загрязненных аэрозолей в воздухе, который при этом сильно варьирует, поскольку частицы разной крупности переносятся на разное расстояние [11]. Это приводит к значительной неоднородности поля загрязнения городской среды, которую необходимо учитывать при эколого-геохимическом мониторинге урбанизированных территорий.

Для почв, аккумулирующих поллютанты в течение многолетнего периода, решение этой задачи в настоящее время возможно на основе многомерного статистического анализа почвенно-геохимических данных и параметров искусственного рельефа. Цель данной работы – оценить барьерные функции городской застройки путем совместного анализа данных о содержании тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в поверхностном горизонте городских почв, их физико-химических свойствах, определяющих фиксирующую способность по отношению к ТММ, и параметрах зданий. В качестве объекта исследования выбрана селитебная зона Восточного административного округа (ВАО) г. Москвы.

В ходе исследования необходимо было решить следующие задачи:

- оценить физико-химические свойства, изменчивость содержания и интенсивность загрязнения ТММ городских почв;
- на основе космических снимков высокого разрешения определить параметры городской застройки вблизи точек пробоотбора почв: расстояние до зданий, их высоту и площадь по разным сторонам света;
- выявить пороговые параметры искусственного рельефа, способствующие увеличению или уменьшению концентраций ТММ в городских почвах.

Объект и методы исследования. Исследовались почвы южной части ВАО в муниципальных районах Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский. Низкоэтажная застройка (до 5 этажей) характерна для старых жилых кварталов в районах Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки и индивидуальной застройки в Косино-Ухтомском районе; средней (6–9) этажности – для жилой зоны в пределах МКАД; повышенной (10 и более этажей) – за МКАД в Новокосино и Косино-Ухтомском районе [12]. В зависимости от взаимного расположения зданий здесь можно выделить четыре типа застройки: периметральная, групповая, строчная и усадебная. Основным источником загрязнения атмосферы и городских ландшафтов – автотранспорт, поставляющий около 80 % суммарных выбросов [13]. Наиболее крупные автомагистрали – МКАД, ш. Энтузиастов, Свободный и Зеленый проспекты, ул. Кетчерская, Перовская, Плеханова и др. Стационарные источники техногенного воздействия сосредоточены в основном в промышленных зонах «Соколиная гора», «Прожектор», «Перово», «Карачарово», «Серп и Молот», «Выхино», «Руднево», «Косино-1» и «Косино-2», где размещены предприятия теплоэнергетики, металлообработки и машиностроения, химии и нефтехимии, производства строительных материалов, целлюлозно-бумажной, пищевой и некоторых других, выбросы которых содержат различные ТММ. За пределами МКАД, в юго-восточной части территории располагаются предприятия пищевой промышленности (теплицы) и электроэнергетики. Выбросы стационарных и передвижных источников обуславливают довольно высокий уровень концентраций многих поллютантов в атмосфере [14, 15].

В природном плане эта территория расположена в краевой части Мещерской слаборасчлененной заболоченной озерно-ледниковой равнины с общим уклоном на юго-восток и относительно большой мощностью четвертичных водно-ледниковых, аллювиальных и техногенных отложе-

ний [16]. Почвенный покров представлен антропогенными урбаноземами, экраноземами, реплантоземами и рекреаземами. В рекреационной зоне развиты естественные и антропогенно-преобразованные почвы: дерново-подзолистые и дерново-урбоподзолистые и их оглеенные, глеевые и заболоченные разности; на пойме р. Рудневки – аллювиальные и перегнойно-торфяные почвы; в постагрогенной зоне – постагрогенные агроземы и агродерново-подзолистые реградированные почвы [16, 17].

В течение года преобладают ветры южного, западного и восточного направлений, что обуславливает привнос загрязнителей на территорию Восточной Москвы с расположенных западнее и юго-восточнее промышленных объектов [14]. Повторяемость штилей составляет 3–22 %, что характеризует относительно хорошую продуваемость и вынос поллютантов за пределы территории. На севере и северо-востоке территории преобладают воздушные потоки северо-восточного направления, в центре – северо-западного, на юге – юго-западного, т.е. вероятен привнос загрязнителей с прилегающих промышленных зон, а также их вынос в Подмоскovie [9].

Для выяснения особенностей распределения поллютантов в почвенном покрове ВАО Москвы использованы данные геохимического опробования, проведенного в июле 2015 г. на территории жилой зоны вблизи одной из крупных автомагистралей Восточного округа – ул. Вешняковской по регулярной сетке с шагом 200 м. Методом конверта из поверхностного (0–10 см) слоя почв отобраны 24 смешанные пробы (рис. 1). Также использованы данные по 28 смешанным образцам, полученным авторами летом 2011 г. в селитебной зоне ВАО [17].

Химиико-аналитические работы включали анализ основных физико-химических свойств и концентраций ТММ в городских почвах. Валовое содержание ТММ определялось масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионными методами (ICP-AES) с индуктивно связанной плазмой на приборах Elan-6100 и Optima-4300 DV (Perkin-Elmer, США) во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского. Для детального анализа выбраны 14 элементов, относящиеся к I (Zn, As, Pb, Cd), II (Co, Ni, Mo, Cr, Cu, Sb), III (V, W) классам опасности [18], а также Sn и Bi. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ определены следующие физико-химические свойства почв: pH, содержание органического углерода (C_{org}), физической глины (частиц с диаметром менее 10 мкм) и оксидов Fe и Mn. В зависимости от компонента почвы, фиксирующего ТММ, определялся класс геохимического барьера [19].

Рис. 1. Источники техногенного воздействия и точки опробования почв в селитебной зоне Восточной Москвы. Точки опробования вблизи ул. Вешняковской показаны на отдельной врезке. Система координат UTM

Параметры искусственного рельефа оценивались в зоне радиусом 50 м с центром в точке пробоотбора (рис. 2). Определялись общая (суммарная) площадь всех зданий в 4 секторах (северо-восточном, северо-западном, юго-восточном и юго-западном), средняя площадь и средняя высота отдельных зданий, а также среднее расстояние до зданий для учета степени закрытости участка по отношению к ветрам. Контуры зданий получены из открытой БД OpenStreetMap. Высоты зданий (H) определялись путем визуального дешифрирования космического снимка GeoEye-1 2015 г. с использованием БД

2GIS. Для расчета остальных геометрических характеристик слой с высотами и контурами зданий загружался в программный пакет ArcGis 10.0. Площади зданий (S) определялись с помощью инструмента расчета геометрии (*Calculate Geometry, Area*). Расстояния (L) от точек пробоотбора до зданий измерялись одним из инструментов анализа близости (*Generate Near Table*). С применением однофакторного дисперсионного анализа ANOVA в программном пакете Statistica 7.0 значения параметров застройки суммировались (ΣS), а затем усреднялись ($\bar{S}$, $\bar{L}$, $\bar{H}$) для каждой точки.

Рис. 2. Пример определения параметров искусственного рельефа в зоне радиусом 50 м

Пространственная геохимическая неоднородность почвенного покрова и влияние ландшафтно-геохимических факторов оценивались в программном пакете S-PLUS с помощью метода регрессионных деревьев, который заключается в последовательном делении таблицы данных по одному из факторов на две части таким образом, чтобы каждая из них была максимально однородной [20]. Однородность полученных групп характе-

ризуется вариабельностью прогнозируемого признака $D = \sum_i (y_i - \bar{y})^2$,

где i – количество наблюдений в группе; $\bar{y}$ – среднее значение y_i по всем наблюдениям. Каждая из групп затем делится еще на две части и т.д. Каждое деление можно рассматривать как ветвление по одной из переменных-предикторов; структура и количество ветвей результирующего дерева зависят от числа уровней деления.

Процесс разбиения заканчивается, если n становится меньше заранее установленного (6–8) или если проверка гипотезы о значимости различий между средними значениями с помощью t -теста дает отрицательный результат. Для каждого конечного узла дендрограммы по n точкам опробования рассчитываются средняя концентрация металла и коэффициент ее вариации C_v . Метод позволяет прогнозировать уровни содержания поллютантов в почвах при различных сочетаниях факторов, а также оценить значимость последних [21–24].

Антропогенная геохимическая трансформация городских почв оценивалась коэффициентами концентрации $K_C = C_r/C_\phi$ и рассеяния $K_p = C_\phi/C_r$ относительно фоновых почв в Национальном парке «Мещера» примерно в 150 км к востоку от города [25], где C_ϕ , C_r – концентрация элемента в фоновых и городских образцах соответственно. Суммарное загрязнение почв ТММ оценивалось с помощью показателя Z_c : $Z_c = \sum K_C - (n - 1)$, где n – число элементов с $K_C > 1$ [26]; гигиеническая опасность загрязнения почв – на основе принятых в РФ предельно допустимых концентраций (ПДК) Sb (4,5 мг/кг) и V (150) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) Ni (80 мг/кг), Cu (132), Zn (220), As (10,0), Cd (2,0) и Pb (130) [27, 28]. Рассчитывался коэффициент опасности K_o , представляющий собой кратность превышения элементом ПДК (ОДК).

Парагенетические ассоциации ТММ, обладающих сходством поведения в почвах и поступающих из общих источников, выделялись с помощью кластерного и корреляционного анализов.

Результаты и их обсуждение. *Физико-химические свойства и содержание ТММ в городских почвах.* На территории Восточной Москвы по сравнению с фоновыми условиями также повышается pH поверхностных горизонтов почв селитебной зоны до нейтральной (7,5), местами до щелочной (8,6) реакции, что связано с выбросами пыли, золы или с растворением содержащихся в почвах различных техногенных включений: pH бетона, осколков черепицы, клинкерного кирпича составляет около 8, а штукатурки и частей шифера – 11–12 [29, 30]. Техногенное подщелачивание почв и связанная с ним смена классов водной миграции в ландшафтах установлены во многих городах мира [23, 29, 31–33].

В почвах ВАО увеличивается количество $C_{\text{орг}}$ и физической глины. При варьировании от 0,2 до 9,0 % среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в поверхностном горизонте составляет 3,9 %, что в 1,6 раза выше фона. Почвы селитебной зоны супесчаные (содержание физической глины в среднем 11 %), в отдельных точках слабо- и среднесуглинистые (до 29,7 %). Утяжеление гранулометрического состава городских почв на некоторых участках связано с повышенным уровнем иммиссии техногенной пыли, а также с привносом почвенных масс в результате рекультивационных работ городских служб.

Сравнение содержания ТММ в почвах Восточной Москвы с фоновыми показало, что в селитебной зоне ВАО накапливаются $\text{Cd}_{8,6}\text{W}_{6,3}\text{Bi}_{5,5}\text{Zn}_{5,1}\text{As}_{4,2}\text{Cr}_{3,8}\text{Sb}_{3,6}\text{Pb}_{3,5}\text{Cu}_{3,0}$ (нижний индекс – значения K_C) (табл. 1). Такая геохимическая специализация отражает влияние нескольких источников загрязнения. Ведущим является автотранспорт, что подтверждают данные о составе дорожной пыли и ее отдельных гранулометрических фракций, в которых высоки концентрации Cd, Sb, W, Bi, Pb [11].

Таблица 1

Содержание ТММ в поверхностном горизонте почв селитебной зоны Восточной Москвы, фоновых дерново-подзолистых почв Подмосковной Мещеры и кларки ТММ в верхней части континентальной земной коры

ТММ	Городские почвы, мг/кг			Фоновые почвы, мг/кг	K_C
	среднее	мин.	макс.		
Cd	1,8	0,3	19	0,09	8,6
W	4,3	0,72	16	2,03	6,3
Bi	0,69	0,12	4,4	0,23	5,5
Zn	190	46	750	75	5,1
As	8,3	3	55	5,6	4,2
Cr	98	24	530	92	3,8
Sb	1,3	0,45	3,7	0,81	3,6
Pb	50	13	200	17	3,5
Cu	61	13	290	27	3,0
Ni	27	11	67	50	2,5
Sn	10,1	1,5	38	2,5	2,3
Co	7,2	3	11	15	1,7
V	55	18	93	106	1,5
Mo	1,2	0,54	2,7	1,1	1,4

Определенный вклад в загрязнение почв вносят выбросы предприятий машиностроения, металлообработки, нефтехимии, электроэнергетики, производства стройматериалов и мусоросжигательного завода [11, 26, 34]. Как известно [26], зола сжигаемого мусора концентрирует (нижний

индекс – коэффициент накопления относительно кларка литосферы) $\text{Bi}_{10000}\text{Cd}_{380-770}\text{Zn}_{120-360}\text{Cr}_{10-200}\text{Cu}_{15-64}$ и другие ТММ, а в почвах вблизи мусоросжигательных заводов аккумулируются (нижний индекс – K_C) $\text{Cd}_{27}\text{Cu}_{11}\text{Zn}_9\text{Sn}_6$ и другие ТММ [32]. В почвы селитебной зоны вносят органические и минеральные удобрения, в том числе фосфорные, содержащие в повышенных концентрациях элементы-примеси Cd, As, Sn, Pb [35].

Рассматриваемые ТММ образуют в почвах 4 устойчивые ассоциации ТММ, обладающих сходным характером пространственного распределения: Cr-Cd-Cu-Zn-Bi-W-Ni (коэффициент корреляции $r = 0,83 \dots 0,95$), Sb-Pb ($r = 0,87$), V-Co ($r = 0,76$) и Mo-Sn ($r = 0,43$). Если первые две объединяют в основном техногенные элементы, то последние две – это аниогенные элементы (кроме Co), не накапливающиеся или слабо накапливающиеся в городских почвах.

Суммарный показатель загрязнения почв ТММ (Z_c) равен в среднем 68, что соответствует очень опасной экологической ситуации ($64 < Z_c < 128$) [26, 36]. Она выявлена на 25 % территории. Большая часть (62 %) территории занята почвами с высоким, опасным уровнем ($32 < Z_c < 64$), а 10 % – с максимальным, чрезвычайно опасным уровнем загрязнения ТММ ($Z_c > 128$). Лишь 3 % селитебной зоны характеризуется умеренно опасным уровнем загрязнения ($16 < Z_c < 32$).

В почвах селитебной зоны Восточной Москвы наиболее сильно превышены гигиенические нормативы Cd (до 9,5) и As (Ко до 5,5). Менее опасные уровни характерны для Zn (Ко < 3,4), Cu (< 2,2) и Pb (< 1,5). Превышения ОДК Zn наблюдаются почти на 23 % территории, As – на 19 %, Cd – на 14 %, Cu – 10 %, Pb – 2 %. Концентрации V, Ni и Sb повсеместно ниже своих нормативов.

Влияние параметров застройки на распределение ТММ в городских почвах. Статистические модели, характеризующие поля загрязнения ТММ почв в селитебной зоне ВАО, строились в зависимости от следующих факторов и условий:

- параметры искусственного рельефа в 4 секторах по сторонам света – суммарная площадь всех зданий в радиусе 50 м от точки пробоотбора, их средняя площадь и высота, а также среднее расстояние до зданий;
- характеристики почвенных компонентов, являющихся основными фазами-носителями ТММ [37]: содержание органического углерода ($C_{орг}$), физической глины (частиц с диаметром менее 10 мкм) и оксидов Fe и Mn;
- кислотно-основные условия (pH), влияющие на миграционную способность ТММ.

Результаты многофакторного регрессионного анализа (табл. 2, рис. 3) показали, что искусственный рельеф – один из важнейших факторов перераспределения для большинства ТММ в городских почвах Восточной Москвы, который может привести либо к уменьшению, либо к усилению загрязнения в зависимости от параметров зданий и их взаимного расположения по отношению к преобладающим ветрам.

Во-первых, здания могут выступать в роли механических барьеров-экранов на пути выбросов от автомагистралей и промышленных объектов к внутридворовым территориям. В защищенных от ветров дворах резко снижается поступление обогащенной ТММ пыли из атмосферы и, как следствие, уменьшаются концентрации поллютантов в почвах. Данный эффект выявлен для As, Co, Pb, Sb, Sn, W по положительной связи между их содержанием в почвах и средним расстоянием от точки исследования до окружающих зданий – концентрация Sn уменьшалась в 3 раза (см. рис. 3), а остальных ТММ – в 1,2–1,8 раза, если здания находились на расстоянии менее 23–35,7 м. Для большинства элементов экранирующая роль зданий проявилась в северо-западном секторе, что согласуется с направлением преобладающих ветров.

На барьерную функцию застройки указывает также отрицательная связь между содержанием Cr, Mo, Ni, Sn и средней высотой зданий. Для Cr защитный эффект проявляется во дворах только относительно высоких зданий со средней высотой более 20,7 м, где его концентрация в почвах уменьшается в 1,3 раза. Для Sn и Ni при средней высоте зданий более 15 и 11 м соответственно их содержание уменьшается в 1,9 раза (см. рис. 3); для Mo при высоте зданий более 7,5–8,5 м его содержание снижается в 1,4 раза. Плотная застройка защищает почвы от загрязнения As – при общей площади зданий в секторе радиусом 50 м более 657 м² содержание в почвах As снижается в 1,3 раза.

Загрязняющее влияние искусственного рельефа на почвы проявляется при достаточно плотной и высокой застройке, когда во дворах жилых домов образуются «колодцы-ловушки» для атмосферных потоков, резко снижающие скорость ветра, и загрязненные пылевые частицы выпадают из атмосферы и аккумулируются в почвах. Такой эффект застройки проявился у Cd, Bi и Cu: их концентрации в почвах положительно коррелируют со средней высотой зданий (увеличение содержания этих элементов в 1,5–1,7 раза фиксируется при высоте зданий более 20; 18,5 и 8,5 м соответственно, причем для Cd и Cu – только в северо-западном секторе).

Таблица 2

Влияние параметров искусственного рельефа и физико-химических свойств почв на накопление ТММ в поверхностном горизонте почв Восточной Москвы

Факторы	Тяжелые металлы и металлоиды												
	As	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	V	Zn
Искусственный рельеф – параметры зданий:													
среднее расстояние	4+ NW			3+	3-				1+ NW	2+ NW	2+ NW 3-		3+ NW
средняя высота		3+	3+ NW		4-	3+ NW	4-	2-			1-		
средняя площадь				3+ SW					3+ NE	3+			
общая площадь	4-		2+ NE			4+	3+						3+
Свойства почв:													
pH				2-			2-	3-	2-	1-		2-	
$C_{орг}$							2,5+						4+
физ. глина	2-	1-	1-	1+	1,3-, 2+	1,3-, 2+		4+	4-	2-	2-	1,2+	1-, 2+
Fe_2O_3	1,3+		5-	2,3+				1+		4+	3+	3+	
MnO	5+	2+, 3-					1+	2-	3+				3+

Примечание. Ранги от 1 до 5 показывают уменьшение значимости фактора, знаки «+» и «-» означают положительную или отрицательную корреляцию, соответственно. Здесь и на рис. 3 буквами указано влияние параметров в секторах по сторонам света: NW – северо-западном, SW – юго-западном, NE – северо-восточном.

47

У Cd, Cu, Zn, W и Mo выявлена положительная связь их содержания с общей площадью зданий в радиусе 50 м (пороговые значения, при которых наблюдается увеличение содержания этих ТММ в почвах в 1,2–1,7 раза, равны 323, 760, 760, 1000 и 1300 м² соответственно), у Co, Sb и Pb – положительная связь со средней площадью зданий в северо-восточном и юго-западном секторах (см. рис. 3). Пороговые значения – 118, 311 и 323 м² соответственно, при превышении которых концентрации этих поллютантов в почвах увеличиваются в 1,3–1,7 раза.

Отрицательная зависимость содержания Cr и Sn в почвах от расстояния до окружающих зданий также указывает на формирование зоны осаждения этих элементов – при расстоянии меньше 25–30 м наблюдается заметное (в 1,3–1,9 раза) увеличение содержания этих ТММ в почвах.

Различие пороговых значений параметров застройки, при которых происходит увеличение концентраций ТММ в городских почвах селитебной зоны, связано с неоднородностью обогащения ТММ частиц различного диаметра, поступающих с транспортными и промышленными выбросами и переносимых воздушными потоками на разное расстояние. Это подтверждает химический состав гранулометрических фракций дорожной пыли Восточной Москвы. По сравнению с верхней частью континентальной коры частицы PM1 (диаметром < 1 мкм) относительно верхней части континентальной земной коры обогащены Cd₂₅Sb₂₃Zn₁₅Sn₁₂Cu₁₁Pb₁₀W₉Bi₈Mo₆, фракция PM1-10 – Cd₂₃Sb₂₂Sn₁₂Cu₉Bi₉Pb₈Zn₇Mo₇; фракция PM10-50 – Cd₁₂Sb₁₁Zn₇Sn₇W₇Cu₆Mo₆Pb₅Bi₅; фракция PM>50 – Cd₈Sb₆Zn₅Cu₅Mo₅Sn₅ [11]. Отсутствие в рядах накопления As, Co, Cr, Ni, V свидетельствует о незначительной роли атмосферных поставок этих элементов в почвы селитебной зоны.

Уровень загрязнения почв селитебной зоны ВАО большинством ТММ контролируется гранулометрическим составом, т.е. образованием сорбционно-седиментационного геохимического барьера. Положительная связь между глинистой фракцией и содержанием поллютантов указывает на поступление ТММ в почвы вместе с частицами PM10, отрицательная, наоборот, на поставку элементов с частицами более крупного размера. С увеличением доли физической глины в почвах возрастает концентрация Co, Ni, V и уменьшается – As, Bi, Cd, Sb, Pb, Sn (см. табл. 2). Для Cr, Cu, W и Zn эта связь неоднозначна, что можно объяснить наличием нескольких источников этих металлов, выбросы которых имеют разную крупность. Так, согласно данным о составе дорожной пыли и снежного покрова в Восточной Москве [11, 12], с ростом интенсивности движения в дорожной пыли увеличивается процент песка при одновременном

сокращении более тонких фракций; доля ТММ в песчаной фракции увеличивается, в мелкой, средней и крупной пыли уменьшается, в илистой фракции не изменяется. Этот эффект объясняется различием химического состава выбросов и структуры автопарка на разных типах дорог.

Накопление As, Bi, Cd, Co, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V и Zn в почвах также обусловлено наличием хемосорбционного (оксиды Fe и Mn), Mo – органо-минерального ($C_{орг}$), Co, Mo, Ni, Pb, Sb, V – щелочного и кислого (изменение pH) геохимических барьеров.

Полиэлементное загрязнение почв ТММ (Z_c) варьирует в зависимости от содержания физической глины, органического вещества и оксидов Mn (см. рис. 3), что подтверждает участие в формировании геохимических аномалий ТММ сорбционно-седиментационного, органо-минерального и хемосорбционного педогеохимических барьеров. Среди параметров застройки на загрязнение почв комплексом ТММ наибольшее влияние оказывает высота зданий – величина Z_c увеличивается в среднем примерно на 10 единиц в северо-западном направлении от точки исследования (см. рис. 3). При этом аномалии ТММ формируются преимущественно во дворах, расположенных в непосредственной близости от автомагистралей. Наибольшие Z_c обнаружены рядом с ул. Вешняковской в центре, ул. Перовской на северо-западе, Носовихинским шоссе на востоке и Косинским шоссе на юго-востоке территории.

Выводы:

1. В почвах селитебной зоны ВАО г. Москвы интенсивно накапливаются $Cd_{8,6}W_{6,3}Bi_{5,5}Zn_{5,1}As_{4,2}Cr_{3,8}Sb_{3,6}Pb_{3,5}Cu_{3,0}$ (нижний индекс – кратность превышения фона). Большая часть почв селитебной зоны Восточной Москвы характеризуется сильным загрязнением ТММ, создающим очень опасную экологическую ситуацию с превышением гигиенических нормативов As, Cd, Zn, Cu, Pb.

2. Общий уровень загрязнения почв селитебной зоны пространственно дифференцирован в зависимости от параметров застройки, которая на расстоянии от зданий менее 23–36 м при их суммарной площади более 660 м² и высоте более 7,5–21 м в зависимости от металла создает защитные барьеры-экраны для внутридворовых территорий, уменьшающие концентрации As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, W в почвах в 1,2–3 раза. Противоположное, т.е. загрязняющее воздействие застройки проявляется в «колодцах-ловушках», образующихся на расстоянии менее 25–30 м от окружающих зданий при их высоте более 8,5–20 м, средней площади более 118–323 м² и общей площади более 323–1300 м². В этих условиях концентрации Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, W, Zn в почвах увеличиваются в 1,2–1,9 раза.

3. Воздействие этих двух конфигураций застройки проявляется только при определенном направлении атмосферных потоков. В Восточной Москве преобладают ветры южного, западного и восточного направлений, защитой от которых служат здания, расположенные в северо-западном секторе относительно точки исследования. Увеличение их высоты и уменьшение расстояния до точки способствуют уменьшению концентраций As, Cr, Mo, Ni, Pb, Sn, W в почвах. Противоположный эффект, т.е. формирование зон осаждения из атмосферы, наблюдается у Cd, Pb и Co при увеличении средней или суммарной площади зданий в северо-восточном и юго-западном секторах.

Полевые и лабораторные исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083), обобщение данных о загрязнении городских почв ТММ – по гранту Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований (договор №03/2017/РГО-РФФИ), анализ и интерпретация данных о влиянии параметров застройки на загрязнение почв – за счет средств Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-03911).

Библиографический список

1. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. – М.: Научный мир, 2002. – 196 с.
2. Towards improving the simulation of meteorological fields in urban areas through updated/advanced surface fluxes description / A. Baklanov, P. Mestayer, A. Clappier, S. Zilitinkevich, S. Joffre, A. Mahura, N.W. Nielsen // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2008. – Vol. 8. – P. 523–543.
3. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Н.С. Касимов, В.Р. Битюкова, С.М. Малхазова, Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова, Н.В. Шартова, Д.В. Власов, С.А. Тимонин, В.Н. Крайнов. – М.: ИП Филимонов М.В., 2014. – 560 с.
4. Глазунов А.В. Численное моделирование устойчиво-стратифицированных турбулентных течений над плоской и городской поверхностями // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 271–281.
5. Роль рельефа в возникновении «острова тепла» в городе Апатиты / В.И. Демин, Б.В. Козелов, Н.И. Елизарова, Ю.В. Меньшов, П.И. Константинов // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2016. – № 2. – С. 95–106.
6. Evaluation of zooming approaches describing multiscale physical processes / N. Moussiopoulos, J. Douros, G. Tsegas, G. Halmer, R. Nuterman, A. Mahura, A. Baklanov, I. Gonzalez // *MEGAPOLI Project Scientific Report 10-03, MEGAPOLI Deliverable 4.1, 2010*. – 41 p.
7. Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Varentsov M.I. Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling // *Urban Climate*. – 2015. – Vol. 13. – P. 122–139.
8. Экология атмосферы крупного промышленного центра в условиях сложного рельефа / Л.М. Фетисова, Г.А. Пужлякова, Е.А. Полянская [и др.]. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2004. – 136 с.
9. Рекомендации по оценке аэрации территории в жилой застройке г. Москвы / под ред. И.К. Лифанова. – М.: МАКС Пресс, 2006. – 160 с.
10. Трехмерная структура атмосферного острова тепла и метеорологические процессы в атмосфере Московской агломерации / М.И. Варенцов, Л.И. Алексеева, И.А. Горлач, А.В. Кислов //

Климат Москвы в условиях глобального потепления / под ред. А.В. Кислова. – М.: Изд-во МГУ, 2017. – С. 199–225.

11. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ г. Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2015. – № 1. – С. 23–33.

12. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, Д.В. Власов, Е.В. Терская // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2012. – № 4. – С. 14–24.

13. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2013 году / под ред. А.О. Кульбачевского. – М.: ЛАРК ЛТД, 2014. – 222 с.

14. Экологический атлас Москвы. – М.: АБФ/ABF, 2000. – 96 с.

15. Чубарова Н.Е., Еремина И.Д., Кислов А.В. Состав атмосферного воздуха и осадков в условиях городского загрязнения // Климат Москвы в условиях глобального потепления / под ред. А.В. Кислова. – М.: Изд-во МГУ, 2017. – С. 226–264.

16. Большой атлас Москвы. – М.: Феория, 2012. – 1000 с.

17. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы / Н.С. Касимов, Д.В. Власов, Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова. – М.: АПР, 2016. – 276 с.

18. ГОСТ 17.4.1.02–83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.

19. Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах: типология, функциональные особенности и экологическое значение // Геохимия ландшафтов и география почв / под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. – М.: АПР, 2012. – С. 26–44.

20. Rawls W.J., Pachepsky Ya.A. Using field topographic descriptors to estimate soil water retention // Soil Science. – 2002. – Vol. 167, no. 6. – P. 423–435.

21. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Динамика загрязнения городских почв свинцом (на примере Восточного округа Москвы) // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 984–997.

22. Пространственно-временные тренды загрязнения городских почв и растений соединениями свинца (на примере Восточного округа Москвы) / Е.М. Никифорова, Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, О.В. Новикова // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2010. – № 1. – С. 11–20.

23. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, О.И. Сорокина, С.Н. Бажа, П.Д. Гунин, С. Энх-Амгалан // Почвоведение. – 2011. – № 7. – С. 771–784.

24. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 536–553.

25. Власов Д.В. Геохимия тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах Восточного округа Москвы: дис. ... канд. геогр. наук. – М., 2015. – 160 с.

26. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

27. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы / Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – М., 2006. – 15 с.

28. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы / Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – М., 2009. – 10 с.

29. Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 189 с.

30. Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J. Urban soils in Zielona Góra // Technogenic soils of Poland. – Toruń: Polish Society of Soil Science, 2013. – P. 31–54.

31. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 336 с.

32. Birke M., Rauch U., Stummeyer J. Urban geochemistry of Berlin, Germany // Mapping the chemical environment of urban areas. – Oxford: John Wiley & Sons, 2011. – P. 245–268.

33. Technogenic soils of Poland / ed. by P. Charzyński, P. Hulisz, R. Bednarek. – Toruń: Polish Society of Soil Science, 2013. – 357 p.

34. Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles // *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. – Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. – P. 63–79.
35. Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. – М.: ИМГРЭ, 1999. – 68 с.
36. Проблемы экогеохимии крупных городов / Н.С. Касимов, В.Р. Битюкова, А.В. Кислов, Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова, С.М. Малхазова, Н.В. Шартова // *Разведка и охрана недр*. – 2012. – № 7. – С. 8–13.
37. Водяницкий Ю.Н. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах // *Агрохимия*. – 2008. – № 9. – С. 87–94.

References

1. Makarov V.Z., Novakovskiy B.A., Chumachenko A.N. *Ekologo-geograficheskoye kartografirovaniye gorodov* [Ecological and geographical mapping of cities]. Moscow, Nauchnyy mir, 2002. 196 p.
2. Baklanov A., Mestayer P., Clappier A., Zilitinkevich S., Joffre S., Mahura A., Nielsen N.W. Towards improving the simulation of meteorological fields in urban areas through updated/advanced surface fluxes description. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008, vol. 8, pp. 523-543.
3. Kasimov N.S., Bityukova V.R., Malkhazova S.M., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Shartova N.V., Vlasov D.V., Timonin S.A., Krainov V.N. *Regiony i goroda Rossii: integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya* [Regions and cities of Russia: the integrated assessment of the environment]. Moscow: IP Filimonov MV, 2014. 560 p.
4. Glazunov A.V. Numerical simulation of stably-stratified turbulent flows over flat and urban surfaces [Chislennoye modelirovaniye ustoychivo-stratifikirovannykh turbulentnykh techeniy nad ploskoy i gorodskoy poverkhnostyami]. *Izvestiya RAN, Ser. FAiO*. 2014, vol. 50, no. 3, pp. 271-281.
5. Demin V.I., Kozelov B.V., Elizarova N.I., Menshov Yu.V., Konstantinov P.I. The role of relief in the heat island phenomenon in the city of Apatity [Rol' rel'yefa v vozniknovenii «ostrova tepla» v gorode Apatity]. *Fundamental and Applied Climatology*. 2016, vol. 2, pp. 95-106.
6. Moussiopoulos N., Douros J., Tsegas G., Halmer G., Nuterman R., Mahura A., Baklanov A., Gonzalez I. Evaluation of zooming approaches describing multiscale physical processes. MEGAPOLI Project Scientific Report 10-03, MEGAPOLI Deliverable 4.1, 2010. 41 p.
7. Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Varentsov M.I. Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling. *Urban Climate*. 2015, vol. 13, pp. 122-139.
8. Ecology of the atmosphere of a large industrial center in conditions of complex relief [Ekologiya atmosfery krupnogo promyshlennogo tsentra v usloviyakh slozhnogo rel'yefa]. L.M. Fetisova, G.A. Puzhlyakova, E.A. Polyanskaya et al. Saratov: Saratov University Publishing House, 2004. 136 p.
9. Recommendations on the assessment of aeration of territory in residential buildings in Moscow [Rekomendatsii po otsenke aeratsii territorii v zhiloy zastroyke g. Moskvy]. Edited by I.K. Lifanov. Moscow: MAX Press, 2006. 160 p.
10. Varentsov M.I., Alekseeva L.I., Gorlach I.A., Kislov A.V. Three-dimensional structure of the atmospheric island of heat and meteorological processes in the atmosphere of the Moscow agglomeration [Trekhnernaya struktura atmosfernogo ostrova tepla i meteorologicheskiye protsessy v atmosfere Moskovskoy aglomeratsii]. In: *Moscow's climate in conditions of global warming*. Edited by A.V. Kislov. Moscow: Izd-vo MGU, 2017, pp. 199-225.
11. Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geochemistry of road dust (Eastern District of Moscow) [Geokhimiya dorozhnoy pyli (Vostochnyy okrug g. Moskvy)]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria Geografiya*. 2015, no. 1, pp. 23-33.
12. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geochemistry of the snow cover in the Eastern District of Moscow [Geokhimiya snezhnogo pokrova v Vostochnom okruge Moskvy]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria Geografiya*. 2012, no. 4, pp. 14-24.
13. Report on the state of the environment in the city of Moscow in 2013 [Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2013 godu]. Edited by A.O. Kulbachevsky. Moscow: LARK LTD, 2014. 222 p.
14. Ecological atlas of Moscow [Ekologicheskii atlas Moskvy]. Moscow: Publishing house ABF/ABF, 2000. 96 p.

15. Chubarova N.E., Eremin I.D., Kislov A.V. Composition of atmospheric air and precipitation in conditions of urban pollution [Sostav atmosfernogo vozdukha i osadkov v usloviyakh gorodskogo zagryazneniya]. In: Moscow's climate in conditions of global warming. Edited by A.V. Kislov. Moscow: Izd-vo MGU, 2017, pp. 226-264.
16. The Great Atlas of Moscow [Bol'shoy atlas Moskvy]. Moscow: Feoriya, 2012. 1000 p.
17. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Landscape geochemistry of Eastern Moscow [Geokhimiya landshaftov Vostochnoy Moskvy]. Moscow: APR, 2016. 276 p.
18. GOST 17.4.1.02-83 Protection of nature (MTSOP). Soil. Classification of chemicals for pollution control [Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya]. Moscow: StandardInform, 2008. 4 p.
19. Glazovskaya M.A. Geochemical barriers in soils: typology, functional features and ecological significance [Geokhimicheskiye bar'yery v pochvakh: tipologiya, funktsional'nyye osobennosti i ekologicheskoye znachenie]. In: Geochemistry of landscapes and geography of soils. Ed. by N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova. Moscow: APR, 2012, pp. 26-44.
20. Rawls W.J., Pachepsky Ya.A. Using field topographic descriptors to estimate soil water retention. *Soil Science*. 2002, vol. 167, no. 6, p. 423-435.
21. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Dynamics of contamination of urban soils with lead in the Eastern District of Moscow. *Eurasian Soil Science*. 2007, vol. 40, no. 8, pp. 880-892.
22. Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Novikova O.V. Spatial-temporal trends of pollution of urban soils and plants by lead compounds (on the example of the Eastern District of Moscow) [Prostranstvenno-vremennyye trendy zagryazneniya gorodskikh pochv i rasteniy soyedineniyami svintsa (na primere Vostochnogo okruga Moskvy)]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria Geografiya*. 2010, no. 1, pp. 11-20.
23. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Sorokina O.I., Bazha S.N., Gunin P.D., Enkh-Amgalan S. Ecological-Geochemical State of Soils in Ulaanbaatar (Mongolia). *Eurasian Soil Science*. 2011, vol. 44, no. 7, pp. 709-721.
24. Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Factors of the accumulation of heavy metals and metalloids at geochemical barriers in urban soils. *Eurasian Soil Science*. 2015, vol. 48, no. 5, pp. 476-492.
25. Vlasov D.V. Geochemistry of Heavy Metals and Metalloids in the Landscapes of the Eastern District of Moscow [Geokhimiya tyazhelykh metallov i metalloidov v landshaftakh Vostochnogo okruga Moskvy]. Ph.D. diss. Moscow, 2015. 160 p.
26. Environmental geochemistry [Geokhimiya okruzhayushchey sredy]. Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin et al. Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
27. GN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in soil: Hygienic standards [Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigiyenicheskiye normativy]. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотrebnadzor, 2006. 15 p.
28. GN 2.1.7.2511-09. Approximate permissible concentrations (ODC) of chemical substances in the soil: Hygienic standards [Oriyentirovochno dopustimyye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigiyenicheskiye normativy]. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотrebnadzor, 2009. 10 p.
29. Volkova V.G., Davydova N.D. Technogenesis and transformation of landscapes [Tekhnogenez i transformatsiya landshaftov]. Novosibirsk: Nauka, 1987. 189 p.
30. Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J. Urban soils in Zielona Góra. In: Technogenic soils of Poland. Toruń, Polish Society of Soil Science, 2013, pp. 31-54.
31. Ecogeochemistry of urban landscapes [Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov]. Edited by N.S. Kasimov. Moscow: Moscow University Publ. House, 1995. 336 p.
32. Birke M., Rauch U., Stummeyer J. Urban geochemistry of Berlin, Germany. In: Mapping the chemical environment of urban areas. Oxford: John Wiley & Sons, 2011, pp. 245-268.
33. Technogenic soils of Poland. Edited by P. Charzyński, P. Hulisz, R. Bednarek. Toruń, Polish Society of Soil Science, 2013. 357 p.
34. Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles. In: Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts. Heidelberg, Springer-Verlag Berlin, 2011, pp. 63-79.

35. Yanin E.P. Introduction to ecological geochemistry [Vvedeniye v ekologicheskuyu geokhimiyu]. Moscow: IMGRE, 1999. 68 p.
36. Kasimov N.S., Bityukova V.R., Kislov A.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Malkhazova S.M., Shartova N.V. Problems of ecogeochemistry of large cities [Problemy ekogeokhimii krupnykh gorodov]. *Exploration and protection of mineral resources*. 2012, no. 7, pp. 8-13.
37. Vodyanitskii Yu.N. The affinity of heavy metals and metalloids for carrier phases in soils [Srodstvo tyazhelykh metallov i metalloidov k fazam-nositelyam v pochvakh]. *Agrochemistry*. 2008, no. 9, pp. 87-94.

Получено 26.11.2017

N. Kosheleva, D. Vlasov, I. Korlyakov, N. Kasimov

EFFECT OF BUILD DEVELOPMENT ON CONTAMINATION OF URBAN SOILS WITH HEAVY METALS

Artificial relief in cities can create a significant spatial geochemical heterogeneity, redistributing the atmospheric fluxes of pollutants and forming sedimentation zones in urban soils and other depositing environments. However, the influence of buildings on the pollution of the urban environment still remains a little-studied issue. The aim of this work is to assess the barrier functions of urban development by means of a joint analysis of data on the content of heavy metals and metalloids (HMMs) in the top horizon of urban soils, their physical-chemical properties, which determine the fixing capacity with respect to HMMs, and the parameters of buildings. The residential area of the Eastern Administrative District (EAD) of Moscow, where in 2015 the soil-geochemical survey has been carried out, was chosen as a study object. The parameters of the buildings near the sampling points were determined by processing data from the OpenStreetMap database and GeoEye-1 satellite image in ArcGis 10.0 and Statistica 7.0 software packages. A high level of soil contamination in the residential zone of EAD with Cd, W, Bi, Zn, As, Cr, Sb, Pb and Cu was revealed. The results of multivariate regression analysis showed that soil contamination is differentiated depending on building parameters, which at a distance from buildings $< 23\text{--}36$ m with their total area $> 660\text{ m}^2$ and a height $> 7.5\text{--}21$ m creates protective barrier screens for yard territories that reduce the concentrations of As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn and W in soils by the factor of 1.2 – 3. The opposite, i.e. the polluting effect of urban development appears in "wells-traps" formed at a distance $< 25\text{--}30$ m from the surrounding buildings with their height $> 8.5\text{--}20$ m, an average area $> 118\text{--}323\text{ m}^2$ and a total area $> 323\text{--}1300\text{ m}^2$ depending on the metal. Under these conditions, the concentrations of Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, W and Zn in soils increase by the factor of 1.2–1.9. The impact of these two building patterns becomes apparent only in a certain direction of the atmospheric fluxes. In Eastern Moscow, southern, western and eastern winds prevail, so, the buildings located in the north-western sector relative to the sampling point form the protection against the winds. Increase in their height and decrease of the distance to the sampling point allow reducing the concentrations of As, Cr, Mo, Ni, Pb, Sn and W in soils. Increase in the average or total area of buildings in the northeastern and southwestern sectors leads to precipitation of Cd, Pb and Co from the atmosphere and formation of their deposition zones.

Keywords: urban development, residential area, soils, pollution, technogenic emissions, heavy metals and metalloids.

Кошелева Наталья Евгеньевна (Москва, Россия) – д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, 1, МГУ, e-mail: natak@mail.ru).

Власов Дмитрий Валентинович (Москва, Россия) – канд. геогр. наук, науч. сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, 1, МГУ, e-mail: vlasov.msu@gmail.com).

Корляков Илья Дмитриевич (Москва, Россия) – магистр кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, 1, МГУ, e-mail: ilya.korlyakov@gmail.com).

Касимов Николай Сергеевич (Москва, Россия) – д-р геогр. наук, профессор, академик РАН, завкафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, 1, МГУ, e-mail: secretary@geogr.msu.ru).

Kosheleva Natalia (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Geographical sciences, leading researcher, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Moscow State University, e-mail: natak@mail.ru).

Vlasov Dmitry (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Geographical sciences, Lomonosov Moscow State University, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography (119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Moscow State University, e-mail: vlasov.msu@gmail.com).

Korlyakov Ilya (Moscow, Russian Federation) – Master of the Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Moscow State University, e-mail: ilya.korlyakov@gmail.com).

Kasimov Nikolai (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Geographical sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University (119991 Moscow, Leninskie gory, Moscow State University, e-mail: secretary@geogr.msu.ru).