УДК 504.054; 550.46; 550.47; 631.416.9

Д.В. Власов[1], Н.С. Касимов[2]

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОСКВЫ: ПАРАГЕНЕЗИСЫ ЭЛЕМЕНТОВ И ТИПОЛОГИЯ

Выполнена эколого-геохимическая оценка аномалий металлов и металлоидов в ландшафтах южной части Восточного округа Москвы на основе сравнения техногенной геохимической специализации различных сред (снежный покров, дорожная пыль, поверхностные горизонты почв, листья клена платановидного и одуванчика лекарственного). Для оценки вклада компонентов ландшафта в общую геохимическую аномальность территории предложено создавать эколого-геохимические портреты, представляющие сумму значений коэффициентов концентрации поллютантов в отдельных компонентах. Приоритетные загрязнители ландшафтов в восточной части Москвы – Cd, As, Pb, Mo, Sb. Выявлены атмогеохимический (Sb, Mo, Sn, Ag, W, As), педогеохимический (Sb, Cd, Zn, Pb, Fe, As) и смешанный (Cd, Sb, Pb, Mo) парагенезисы элементов в сопряженных транзитных и депонирующих средах. С использованием системы интегральных показателей предложена типология техногенных геохимических аномалий, включающая прогрессивные, неопрогрессивные, биопрогрессивные, устойчивые, регрессивные, реликтовые и биоаккумулятивные аномалии. Устойчивые аномалии поллютантов с наименее благополучной экологической ситуацией расположены в северо-западной, северо-восточной, центральной и юго-восточной частях исследованной территории рядом с крупными автомобильными дорогами и промышленными зонами.

Ключевые слова: техногенез, биогеохимия, дорожная пыль, экогеохимия, типология аномалий, снег, городские почвы, городские растения.

Введение. Проблемам техногенеза и геохимическим аспектам экологической оценки ландшафтов посвящены многие работы А.И. Перельмана о техногенной миграции химических элементов, технофильности, техногенных геохимических барьерах, полезных и вредных техногенных геохимических аномалиях, геохимических принципах эколого-географической систематики городов и городских ландшафтов [Перельман, Касимов, 1999].

Наиболее сильно техногенное воздействие на природную среду и население проявляется в промышленных городах, которые по интенсивности загрязнения и площади аномалий поллютантов представляют техногенные геохимические и биогеохимические провинции широкого круга химических элементов [Экогеохимия..., 1995]. Москва среди крупных индустриальных центров страны – один из самых загрязненных городов, в ее восточной части расположены десятки предприятий разных отраслей, которые наряду с транспортом служат главными источниками техногенного воздействия.

Комплексные геохимические исследования в восточной части Москвы, выбранной как пример промышленной части города, начаты еще в 1980-х гг. Е.М. Никифоровой [Экогеохимия..., 1995] и продолжаются в настоящее время в южной части Восточного административного округа (ВАО) г. Москвы в муниципальных районах Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский. Более чем за 20 лет накоплен значительный статистический материал и исследованы особенности миграции и многолетняя динамика накопления ряда металлов и металлоидов в разных компонентах ландшафтов и функциональных зонах округа [Регионы..., 2014].

К главным итогам эколого-геохимического анализа городских ландшафтов относятся оценка контрастности и выявление характера пространственного распределения техногенных аномалий поллютантов. В России широко используются суммарные показатели загрязнения (Z_c) почв и снежного покрова металлами и металлоидами [Геохимия..., 1990]. Для оценки эколого-геохимического состояния городских ландшафтов в южной части ВАО нами расширен перечень анализируемых показателей, обобщены данные о распределении моноэлементных и полиэлементных коэффициентов, что позволило выделить парагенезисы ряда металлов и металлоидов, подробно охарактеризовать и типизировать техногенные геохимические аномалии поллютантов в ландшафтах восточной части Москвы.

Цель работы – на основе теории и методологии геохимии ландшафтов выявить техногенные геохимические аномалии металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов этой территории, для чего решались следующие задачи:

– установление геохимической специализации компонентов городских ландшафтов с выявлением аномалий отдельных химических элементов;

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: vlasgeo@yandex.ru

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, заведующий кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, академик РАН; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru

– определение парагенезисов металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов;

– разработка типологии техногенных геохимических аномалий поллютантов для прогнозирования трендов загрязнения городской среды.

Материалы и методы исследований. Основной источник загрязнения городских ландшафтов ВАО – автотранспорт, поставляющий около 80% суммарных выбросов, что несколько меньше по сравнению с их средним количеством в Москве (92%) [Доклад..., 2014]. Стационарные источники техногенного воздействия сосредоточены в ряде промышленных зон: Соколиная гора, Прожектор, Перово, Руднево, Косино-1 и Косино-2 (рис. 1).

леенные, *глеевые* и *заболоченные* разности; на пойме р. Рудневки – *аллювиальные* и *перегнойно-торфяные* почвы; в постагрогенной зоне – *постагрогенные агроземы* и *агродерново-подзолистые реградированные* почвы [Большой..., 2012; Власов, 2015].

На полевом этапе отобрана 51 проба снега, 16 – дорожной пыли, 73 – почв, 49 – листьев одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), 26 – листьев клена платановидного (*Acer platanoides*) (рис. 1). Для характеристики региональных ландшафтно-геохимических условий использовались фоновые пробы снега и растений (по 5), отобранные в 45–50 км на запад от Москвы, недалеко от городов Голицыно

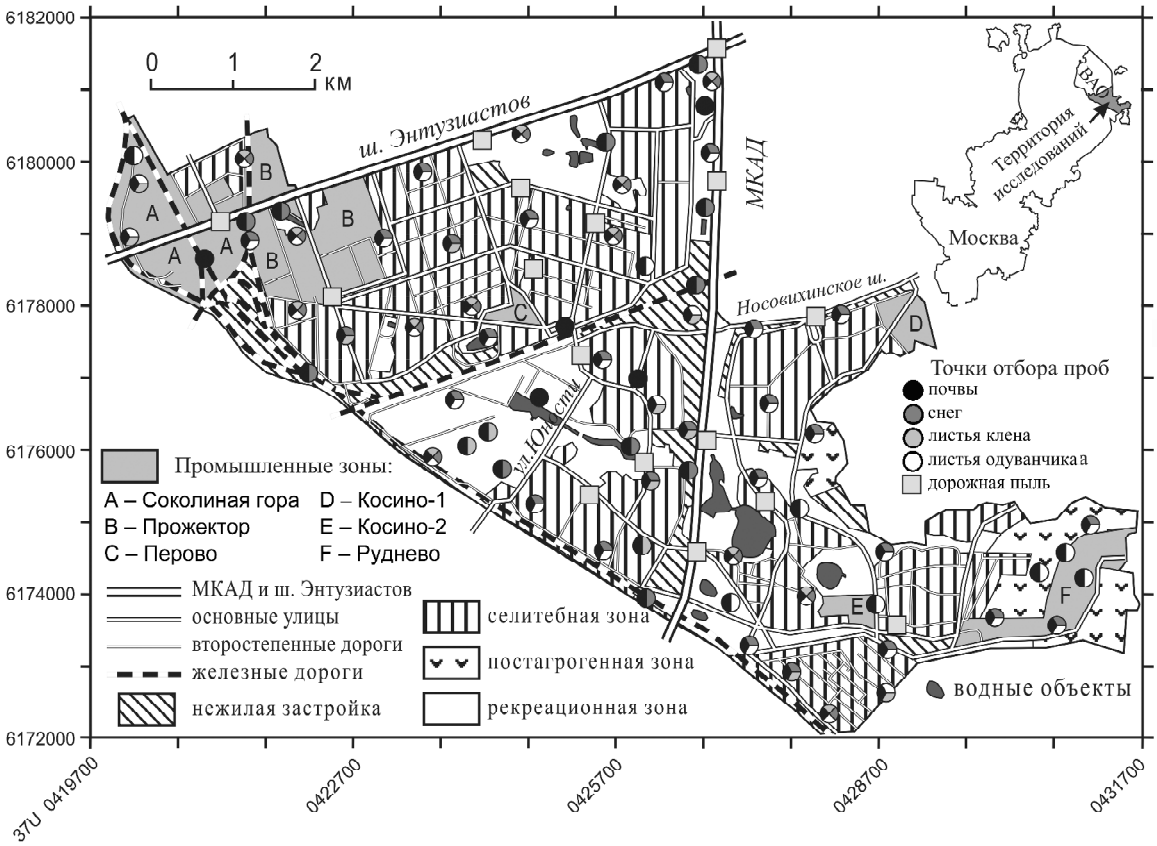


Рис. 1. Промышленные зоны и точки опробования компонентов городских ландшафтов в восточной части Москвы. Система координат UTM

Fig. 1. Industrial zones and sampling sites for components of urban landscapes in the Eastern part of Moscow. Applied system of coordinates is UTM

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 отложений [Большой..., 2012]. Среди древесных пород наиболее распространены клен и липа [Доклад..., 2014]. Почвенный покров представлен нейтральными, местами щелочными (pH до 7,2–8,5), преимущественно супесчаными и песчаными антропогенными *урбаноземами*, *экраноземами*, *реплантоземами* и *рекреаземами*. В рекреационной зоне развиты *дерново-подзолистые* и *дерново-урбоподзолистые* почвы, а также их *ог-*

и Звенигород с минимальным аэротехногенным влиянием столицы, и 10 проб фоновых дерново-подзолистых почв из природного парка Мещера во Владимирской области приблизительно на 150 км восточнее Москвы на сходных с городскими почвами породах – песках, супесях и легких суглинках. Из-за существенных различий в оценках кларков элементов в верхней части континентальной земной коры [Касимов, Власов, 2015] для дорожной пыли в качестве эталона сравнения для Ag, Cd и Mo использованы их кларки из работы [Rudnick, Gao, 2003], для Bi, Co, Cu и V – из [Hu, Gao, 2008], для Sn – из [Wedepohl, 1995] и для As, Be, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr, Ti, W и Zn – из [Григорьев, 2009].

В пылевой составляющей снега, почвах и дорожной пыли определено содержание Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ВИМС); As, Cd, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Sb, Zn в растворах мокрого озоления растений – методом атомной абсорбции в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ (аналитики Е.В. Терская, Л.В. Добрыднева).

При обработке полученных данных для компонентов городского ландшафта использованы следующие показатели:

для снежного покрова – *суточная пылевая нагрузка* (P_n, кг/км^2 в сутки): $P_n = m / (nl \cdot 2 \cdot 10^{-9})$, где m – масса взвеси в снеге, кг; n – число отобранных проб снега, l – число дней снегостава; $2 \cdot 10^{-9}$ – площадь сечения трубы, км^2; *иммиссия* химических элементов (D, мг/км^2 в сутки): $D = P_n \cdot C$, где C – концентрация элемента во взвеси, мг/кг; *коэффициент превышения выпадений над фоном* – $K_d = D/D_ф$; *суммарный показатель иммиссии* – $Z_d = \Sigma K_d - (n - 1)$, где n – число элементов с K_d>1,5 [Касимов и др., 2012];

для снега и почв – *суммарный показатель загрязнения* химическими элементами – $Z_c = \Sigma K_c - (n - 1)$, где n – число элементов с K_c>1,5 [Геохимия..., 1990];

для дорожной пыли – *кларк концентрации КК* - $= C / K$, где C – содержание металла или металлоида в дорожной пыли, мг/кг, K – кларк элемента в верхней части континентальной коры, мг/кг; *коэффициент обогащения* $K_e = (C / C_{норм})_{проба} / (C / C_{норм})_{земн.кора}$, где C и $C_{норм}$ – содержание исследуемого и нормирующего (в данном случае – La) элементов в пробе или в земной коре соответственно; *суммарное обогащение* Z_e дорожной пыли поллютантами – $Z_e = \Sigma K_e - (n - 1)$ при K_e>1, где n – число элементов с K_e>1 [Власов и др., 2015];

для растений – *показатель биогеохимической трансформации* – $Z_v = \Sigma K_c + \Sigma K_p - (n_1 + n_2 - 1)$, где K_c – коэффициент концентрации элемента в растениях, n_1 – число элементов с K_c>1, K_p – коэффициент рассеяния элемента в растениях, n_2 – число элементов с K_p>1 [Сорокина, 2013];

для всех компонентов (кроме дорожной пыли) – *коэффициент концентрации* – $K_c = C / C_ф$, где C и $C_ф$ – содержание элементов в пробах на территории города и в фоновых условиях соответственно [Геохимия..., 1990].

Критерии для выделения геохимических аномалий с оценкой степени экологической опасности загрязнения ландшафтов металлами и металлоидами – уровни интегральных показателей (табл. 1). Карты распределения суммарных показателей построены в Surfer 10 методом кригинга.

Таблица 1

Критерии для выделения техногенных геохимических аномалий в городских ландшафтах, по [Методические..., 2006; Касимов и др., 2012; Власов, 2015]

Уровень интегральных показателей и экологической опасности	Выпадение металлов и металлоидов, Z_d	Обогащение дорожной пыли металлами и металлоидами, Z_e	Загрязнение металлами и металлоидами, Z_c		Трансформация состава растений, Z_v	
			снег	почвы, растения	клен	одуванчик
Низкий, неопасный	<1000	<32	<32	<16	<15	<25
Средний, умеренно-опасный	1000–2000	32–64	32–64	16–32	15–25	25–35
Высокий, опасный	2000–4000	64–128	64–128	32–64	25–35	35–45
Очень высокий, очень опасный	4000–8000	128–256	128–256	64–128	35–45	45–55
Максимальный, чрезвычайно опасный	>8000	>256	>256	>128	>45	>55

Результаты исследований и их обсуждение. ***Геохимическая специализация аномалий в компонентах ландшафтов в восточной части Москвы.*** Интенсивное техногенное воздействие транспорта и промышленных объектов приводит к трансформации физико-химических свойств компонентов ландшафтов [Власов, 2015] и формированию техногенных геохимических аномалий поллютантов разной контрастности, которая в экогеохимии чаще всего определяется величиной коэффициента концентрации отдельных элементов (K_c) или суммарных полиэлементных показателей.

Техногенные аномалии в компонентах ландшафтов в восточной части Москвы имеют разную геохимическую специализацию (табл. 2), обусловленную миграцией поллютантов, наличием или отсутствием геохимических барьеров, характером и особенностями техногенных источников загрязнения, длительностью экспонирования отдельных компонентов (приводятся поллютанты с K_c или KK>3, элементы указаны в порядке уменьшения аномальности, в скобках – слабонакапливающиеся):

– снеговая пыль – Mo, Ag (Sb, As, W, Sn);

– дорожная пыль – Cd, Sb (Sn, Zn, Cu, Mo, Pb);

– почвы, поверхностные горизонты – Cd, W (Bi, Zn, Sb, Pb, Ag, As, Cr, Fe);

– одуванчик, листья – Mo (Pb, Cd, Fe, As);

– клен, листья – Sb (As).

Анионогенный Mo, подвижность которого в щелочных условиях выше, чем в кислых, при вы-

Таблица 2

Специализация техногенных геохимических аномалий в компонентах ландшафтов восточной части Москвы

Компонент	Объект	K_c и *КК*				Источник
		> 20	20–10	10–5	5–3	
Снег	Пылевая составляющая	–	Mo_{19}	Ag_6	$Sb_5As_5W_4Sn_4$	[Касимов и др., 2012]
Дорожная пыль	Пыль в целом	–	–	Cd_7Sb_6	$Sn_4Zn_4Cu_3Mo_3Pb_3$	[Власов и др., 2015]
Почвы	Поверхностные горизонты	–	–	Cd_8W_7	$Bi_5Zn_5Sb_5Pb_4Ag_4As_4Cr_4Fe_4$	[Власов, 2015]
Растительность	Листья одуванчика	–	Mo_{13}	–	$Pb_5Cd_4Fe_4As_4$	[Vlasov, Kasimov, 2015]
	Листья клена	–	–	$Sb_{9,7}$	As_5	

Примечание. Для дорожной пыли использованы значения *КК*, для остальных компонентов – K_c; в индексах – величины *КК* или K_c; прочерк – показатель в данной градации отсутствует.

падении на поверхность слабощелочных почв практически не накапливается, включаясь в биологический круговорот и поглощаясь растениями, в которых значение K_c этого металла также относительно высокое.

Sn, Ag, V и Sr слабоподвижны, поэтому для них величина K_c в поверхностном горизонте городских почв близка к величине K_c в пылевой составляющей снега или дорожной пыли. Схожий характер распределения между компонентами имеют также W, Bi, Zn, Cr, Ni, Co и Mn, однако значения их K_c в почвах несколько выше, чем в снеговой и дорожной пыли, что указывает на поступление этих элементов с выбросами разных отраслей промышленности и транспорта и техногенное обогащение поллютантами атмосферных выпадений. Be и Ti, напротив, практически не содержатся в выпадениях, поэтому их содержание в городских почвах близко к фоновому уровню.

Элементы Sb, Cd, As, Pb и Cu поступают в городские ландшафты с выбросами промышленных объектов и транспорта, мигрируют воздушным путем, выпадают и частично накапливаются в поверхностных горизонтах почв, включаясь в биологический круговорот и аккумулируясь в городской растительности.

Эколого-геохимический портрет территории. Для выявления контрастности аномалий металлов и металлоидов в ландшафте в целом и для оценки вклада его отдельных компонентов в общую аномальность составлен *эколого-геохимический портрет территории*, отражающий приоритетные загрязнители территории и представляющий сумму значений коэффициента концентрации элементов в разных компонентах (рис. 2). Этот показатель схож с другими аддитивными коэффициентами, широко

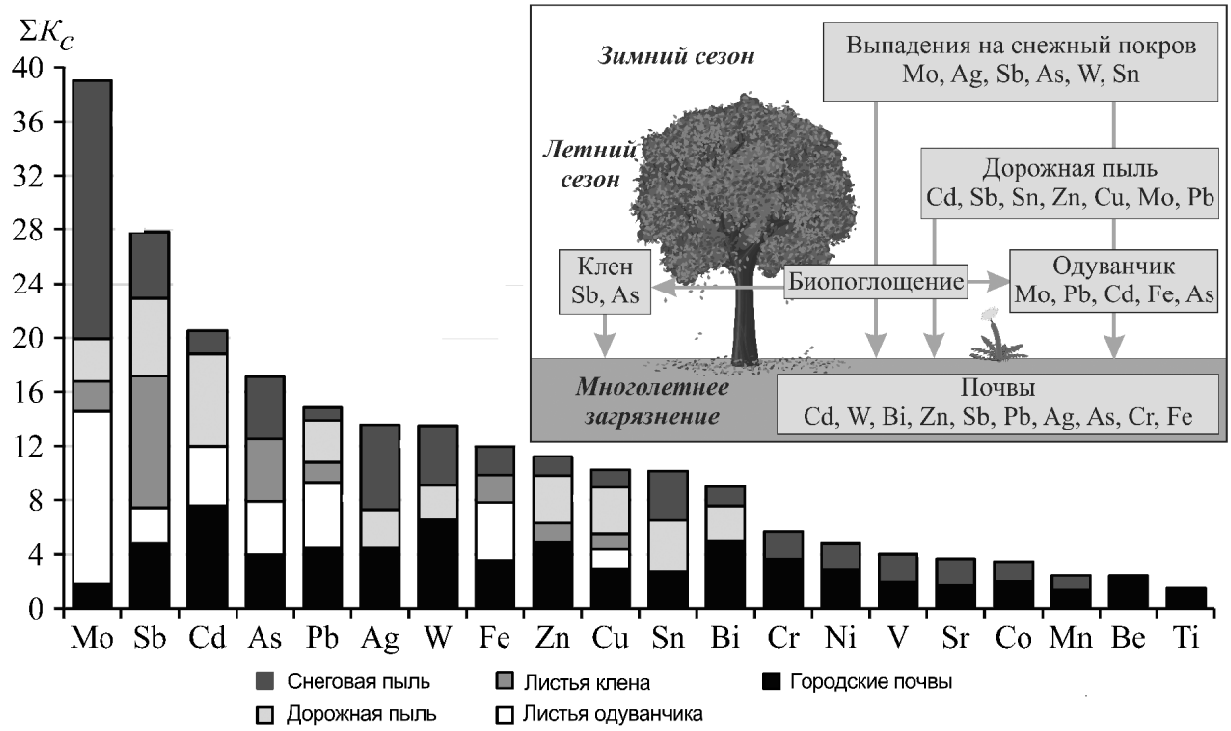


Рис. 2. Эколого-геохимический портрет ландшафта восточной части Москвы. Для дорожной пыли приведены значения *КК* элементов, для остальных компонентов – K_c

Fig. 2. Ecological-geochemical portrait of landscape, Eastern part of Moscow. For road dust, *KK* element values are shown, for the rest components – K_c values

применяемыми в качестве нормированных информационных показателей в поисковой геохимии [Матвеев, Соловов, 2011], а также в геохимии окружающей среды, например при расчете кларков биосферы и ноосферы [Глазовский, 1982].

Наибольшее накопление ($\Sigma K_c \geq 15$) характерно для Cd, As и Pb (I класс опасности в почвах), а также для Mo и Sb (II класс). Менее интенсивно ($\Sigma K_c = 9 \div 15$) аккумулируются экологически опасные Zn (I класс), Cu (II) и W (III), а также Ag, Fe, Sn и Bi (без класса опасности). При этом аномалии Mo, например, характерны в основном для снежного покрова и растений; Ag и W – для снежного покрова и почв, а Cd – для дорожной пыли и почв. Для сравнения такие портреты методически удобно строить и для других городов и регионов, а также не только для металлов, но и для других неорганических и органических поллютантов.

Парагенезисы металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов. Основная задача изучения геохимических аномалий в городских ландшафтах – выявление источников металлов и металлоидов с определением связи между компонентами, которая решается путем сравнительного анализа геохимической специализации пылевой составляющей снега, дорожной пыли, поверхностных горизонтов почв и растительности и выделения геохимических парагенезисов поллютантов в подсистемах ландшафта, т.е. в сопряженных транзитных и депонирующих компонентах (рис. 3). Такие парагенезисы показывают генетическую близость накопления тех или иных химических элементов компонентами ландшафтов, а также основные пути их поступления и миграции в городских ландшафтах.

Рис. 3. Парагенезисы металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов

Fig. 3. Parageneses of metals and metalloids in landscape components

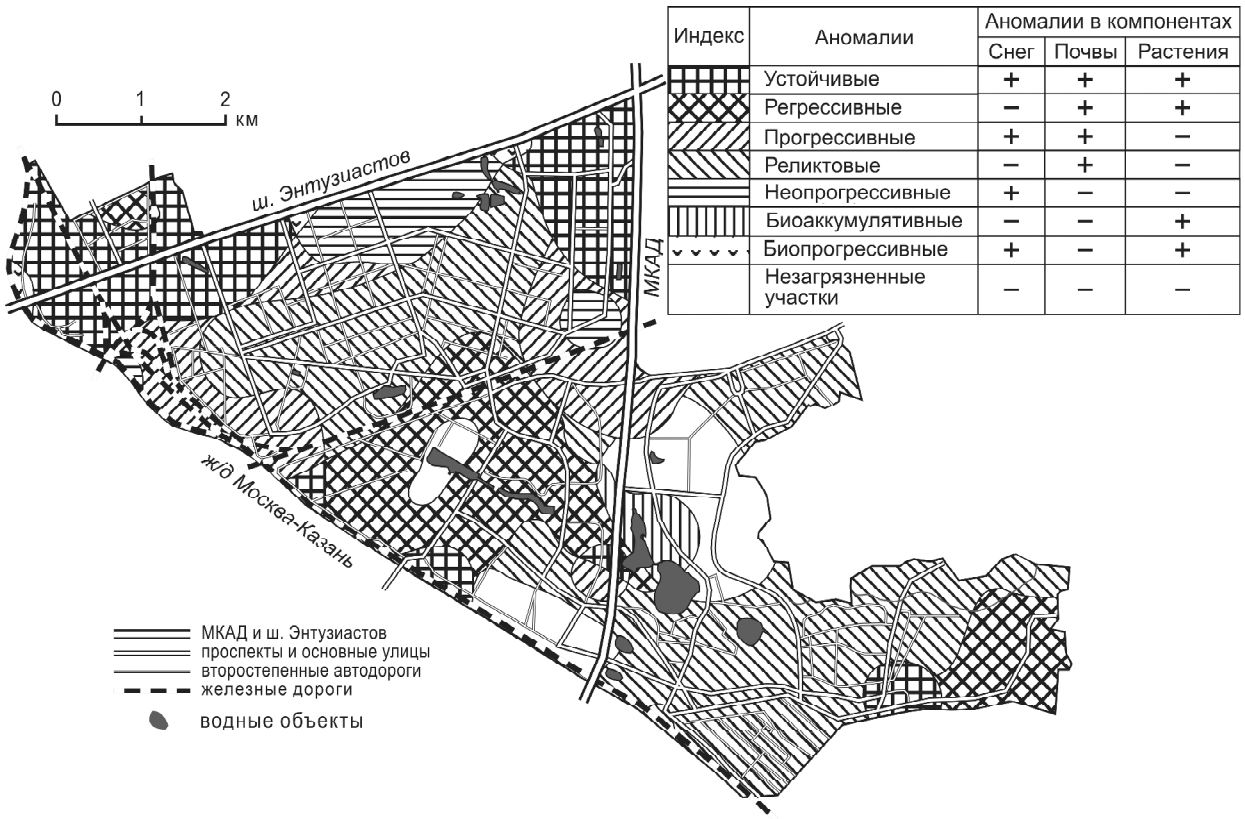
Атмогеохимические парагенезисы преимущественно анионогенных элементов и комплексообразователей (Sb, Mo, Sn, Ag, W, As) характерны для подсистем снег–растения, снег–дорожная пыль и снег–почвы, что указывает, соответственно, на преобладание атмогенного пути поступления этих металлов и металлоидов в ландшафты. Подсистемы почвы–дорожная пыль и почвы–растения имеют *педогеохимические* парагенезисы катионогенных (Cd, Zn, Pb, Fe) и анионогенных (Sb, As) металлов и металлоидов. Это свидетельствует о преимущественно педогенно-литогенном происхождении поллютантов в техногенных аномалиях. Промежуточное положение занимает *смешанный* парагенезис (Cd, Sb, Pb, Mo) в дорожной пыли и растениях, куда химические элементы поступают из воздуха и почв.

Геохимическая особенность ландшафтов восточной части Москвы – вхождение в состав всех парагенезисов Sb, которая, будучи индикатором воздействия автотранспорта на все компоненты, поступает в городские ландшафты с эмиссией моторного масла и в результате износа тормозных колодок, механизмов и шин [Quiroz et al., 2013]. Одна из главных причин различий парагенетических ассоциаций элементов связана с тем, что снежный покров характеризует загрязнение в зимний период, растительность и дорожная пыль – преимущественно в летний период, а почвы – многолетнее загрязнение. Парагенезисы химических элементов наряду с геохимическим портретом городского ландшафта могут служить современной методической основой для выявления и дальнейшего детального изучения техногенных аномалий поллютантов в городских ландшафтах.

Типология геохимических аномалий. Центры геохимических аномалий в разных компонентах ландшафта обычно территориально разобщены. Комплексный анализ пространственного распределения металлов и металлоидов в отдельных компонентах городских ландшафтов позволил выявить типы аномалий поллютантов, отражающие характер динамики загрязнения. Для этого использована система интегральных показателей – Z_d, Z_c и Z_v, которые учитывают основные техногенные процессы: выпадение поллютантов (нагрузка), загрязнение почв и отклик живых организмов (биогеохимическая трансформация). В качестве граничных использованы следующие величины показателей: Z_d>250, Z_c>32, Z_v>25. Выделено 8 типов техногенных геохимических аномалий металлов и металлоидов (рис. 4).

Устойчивые аномалии проявляются во всех компонентах ландшафтов, занимая участки с наиболее интенсивным техногенным воздействием с повышенным уровнем выпадения поллютантов, сильным загрязнением почв и трансформацией химического состава растений. Они расположены на северо-западе территории рядом с промзонами Соколиная гора и Прожектор, на севере рядом с пересечением МКАД и ш. Энтузиастов, а также выделяются в виде отдельных небольших пятен в центре рядом с парком Кусково и ул. Юности и на юге рядом с мусоросжигательным заводом № 4 в промзоне Руднево. Участки устойчивых аномалий можно считать наименее благополучными с экологической точки зрения, им необходимо уделять особое внимание при эколого-геохимическом мониторинге в городах.

Регрессивные аномалии в почвах и растениях указывают на тренд к снижению загрязнения территории, когда атмосферное загрязнение и выпадение элементов уменьшаются, а уровни загрязнения почв и биогеохимической трансформации растений



Индекс	Аномалии	Аномалии в компонентах		
		Снег	Почвы	Растения
	Устойчивые	+	+	+
	Регрессивные	–	+	+
	Прогрессивные	+	+	–
	Реликтовые	–	+	–
	Неопрогрессивные	+	–	–
	Биоаккумулятивные	–	–	+
	Биопрогрессивные	+	–	+
	Незагрязненные участки	–	–	–

Рис. 4. Типы геохимических аномалий металлов и металлоидов в снежном покрове, почвах и растениях в восточной части Москвы

Fig. 4. Types of geochemical anomalies of metals and metalloids in snow cover, soils, and plants in the Eastern part of Moscow

остаются высокими. Такие аномалии находятся преимущественно в парке Кусково и на западе от мусоросжигательного завода в промзоне Руднево (юго-восток территории).

Реликтовые аномалии – только в почвах – характеризуют остаточное загрязнение территории, когда выпадение элементов уменьшилось, подвижные биодоступные формы поллютантов мигрировали за пределы поверхностного горизонта почв, из-за чего уменьшилась биогеохимическая трансформация растений, а уровень загрязнения почв по-прежнему высок. Такие аномалии расположены в северной части территории преимущественно в селитебной зоне, а также в юго-восточной и восточной частях в Косинском Триозерье.

Прогрессивные аномалии в снеге и почвах образуются при выпадении слабоподвижных, биологически малодоступных форм металлов и металлоидов, которые аккумулируются в почвах, но практически не поглощаются растениями, вероятно, из-за наличия так называемых физиологических барьеров поглощения [Ковалевский, 1991]. Они выявлены на северной половине территории на восток от промзон Соколиная гора, Прожектор и Перово рядом с участками реликтовых аномалий и вдоль МКАД.

Неопрогрессивные аномалии – только в снеге – указывают на современное загрязнение атмосферного воздуха, еще не проявившееся в остальных компонентах. Обширная неопрогрессивная аномалия сформировалась вдоль ш. Энтузиастов, занимая почти всю территорию Терлецкого парка и прилегающие к нему с запада районы жилой застройки. Значительно меньшие по площади аномалии установлены рядом с железной дорогой Москва–Казань на западе территории, а также вдоль МКАД, что позволяет прогнозировать слияние в дальнейшем неопрогрессивных аномалий с устойчивыми и значительное увеличение площади этих сильно загрязненных районов.

Биоаккумулятивные аномалии – только в растениях – формируются, вероятно, из-за усиленного фолиарного поглощения металлов и металлоидов растениями. Небольшая аномалия этого типа отмечена рядом с Черным озером, МКАД и ул. Большая Косинская, где в почвах велика доля подвижных форм поллютантов [Власов, 2015].

Биопрогрессивные аномалии – в снеге и растениях – занимают локальные участки рядом с неопрогрессивными аномалиями вдоль ш. Энтузиастов и рядом с железной дорогой Москва–Казань. Они сформировались, видимо, при выпадении биологически доступных форм поллютантов с техногенной пылью, которые практически не накапливаются в поверхностном горизонте почв, но активно поглощаются растениями.

Незагрязненные экологически благополучные участки находятся преимущественно в рекреационной зоне (в парке Кусково и рядом с Косинским Триозерьем), а также в жилой застройке на восток от парка Кусково. При увеличивающемся уровне техногенного воздействия велика вероятность прогрессирующего загрязнения этих территорий.

Выводы:

– для выявления контрастности аномалий металлов и металлоидов в городском ландшафте в целом и для оценки вклада его отдельных компонентов в общую аномальность создан эколого-геохимический портрет ландшафтов восточной части Москвы, показывающий приоритетные загрязнители территории – Cd, As, Pb, Mo, Sb;

– для сопряженных транзитных и депонирующих компонентов ландшафтов восточной части Москвы характерны атмогеохимический (Sb, Mo, Sn, Ag, W, As), педогеохимический (Sb, Cd, Zn, Pb, Fe, As) и смешанный (Cd, Sb, Pb, Mo) парагенезисы поллютантов;

– на основе использования системы интегральных показателей предложена типология техногенных геохимических аномалий металлов и металлоидов. На фоне небольших по площади незагрязненных участков выделены прогрессивные, неопрогрессивные, биопрогрессивные, регрессивные, реликтовые, биоаккумулятивные, а также устойчивые аномалии поллютантов. Последние указывают на опасную экологическую ситуацию в северо-западной, северо-восточной, центральной и юго-восточной частях исследованной территории рядом с крупными автомобильными дорогами и промышленными зонами.

Благодарности. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Власов Д.В. Геохимия тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах Восточного округа Москвы: Автореф. канд. дисс. М., 2015.

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

Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 7–28.

Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2013 году. М.: «ЛАРК ЛТД», 2014. 222 с.

Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.

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

Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. 288 с.

Матвеев А.А., Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: КДУ, 2011. 564 с.

Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 2006. 7 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. 768 с.

Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

Сорокина О.И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора: Автореф. канд. дисс. М., 2013.

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

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. Vol. 253, iss. 3–4. P. 205–221.

Quiroz W., Cortes M., Astudillo F. et al. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaiso, Chile: analytical and environmental considerations // Microchem. J. 2013. Vol. 110. P. 266–272.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. Vol. 3. Elsevier, 2003. P. 1–64.

Vlasov D.V., Kasimov N.S. Heavy metals in maple and dandelion leaves from different land-use areas in Moscow's Eastern District // Geography, Environment, Sustainability. 2015. Vol. 8, N 1. P. 53–70.

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochimet. Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 59, N 7. P. 1217–1232.

Поступила в редакцию 15.02.2016
Принята к публикации 16.03.2016

D.V. Vlasov[1], N.S. Kasimov[2]

GEOCHEMICAL ANOMALIES OF METALS AND METALLOIDS IN LANDSCAPE COMPONENTS OF THE EASTERN PART OF MOSCOW: PARAGENESES OF CHEMICAL ELEMENTS AND TYPOLOGY

Ecological-geochemical assessment of anomalies of different metals and metalloids in landscapes of the southern part of the Eastern District of Moscow was done through comparison of technogenic geochemical specialization of different environments (snow cover, road dust, surface horizons of urban soils, leaves of maple *Acer platanoides* and dandelion *Taraxacum officinale*). In order to estimate the contribution of landscape components to the overall geochemical anomaly of a certain area, the authors suggest producing

[1] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist, PhD in Geography; *e-mail*: vlasgeo@yandex.ru

[2] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Head of the Department, Faculty President, Academician RAS, D.Sc. in Geography; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru

ecological-geochemical portraits that represent sums of enrichment factors for pollutants in different components of an urban landscape. In the eastern part of Moscow, Cd, As, Pb, Mo, and Sb are the major pollutants. Atmogeochemical (Sb, Mo, Sn, Ag, W, As), pedogeochemical (Sb, Cd, Zn, Pb, Fe, As) and hybrid (Cd, Sb, Pb, Mo) parageneses were revealed in transit and depositional environments. Using a system of integrated indicators, typology of technogenic geochemical anomalies was proposed. It includes progressive, neoprogressive, bioprogressive, stable, regressive, relict and bioaccumulative anomalies. Stable anomalies of pollutants with the least prosperous environmental situation are located in the northwestern, northeastern, central and southeastern parts of the area close to major roads and industrial zones.

Keywords: technogenesis, biogeochemistry, road dust, ecogeochemistry, typology of geochemical anomalies, snow cover, urban soils, urban plants.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project N 14-27-00083).

REFERENCES

Bol'shoj atlas Moskvy [The Big Atlas of Moscow], Moscow, Feorija, 2012, 1000 p. (in Russian).

Doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve v 2013 godu [Report on the state of environment in Moscow in 2013], Moscow, «LARK LTD», 2014, 222 p. (in Russian).

Geohimija okruzhajushhej sredy [Environmental geochemistry], Moscow, Nedra, 1990, 335 p. (in Russian).

Glazovskij N.F. Tehnogennye potoki veshhestva v biosfere [Technogenic flows of matter in the biosphere], Dobycha poleznyh iskopaemyh i geohimija prirodnyh jekosistem, Moscow, Nauka, 1982. P. 7–28 (in Russian).

Grigoriev N.A. Raspredelenie himicheskih jelementov v verhnej chasti kontinental'noj kory [Chemical element distribution in the upper continental crust], Ekaterinburg, UrO RAN, 2009, 382 p. (in Russian).

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. Vol. 253, iss. 3–4. P. 205–221.

Jekogeohimija gorodskih landshaftov [Ecogeochemistry of urban landscapes], ed. by N.S. Kasimov, Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, 1995, 336 p. (in Russian).

Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geohimija snezhnogo pokrova v Vostochnom okruge Moskvy [Geochemistry of snow cover within the Eastern district of Moscow], Vestnik Moskovskogo Unviersiteta, seria Geografiya, 2012, no 4, pp. 14–24 (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskih jelementov kak jetalony sravnenija v jekogeohimii [Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry], Vestnik Moskovskogo Unviersiteta, seria Geografiya, 2015, no 2, pp. 7–17 (in Russian).

Kovalevskij A.L. Biogeohimija rastenij [Biogeochemistry of plants], Novosibirsk, Nauka, 1991, 288 p. (in Russian).

Matveev A.A., Solovov A.P. Geohimicheskie metody poiskov mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh [Geochemical methods of exploration of mineral deposits], Moscow, KDU, 564 p. (in Russian).

Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagrjaznenija atmosfernogo vozduha naselennyh punktov metallami po ih soderzhaniju v snezhnom pokrove i pochve [Methodical recommendations on the assessment of air pollution with metals in settlements using their content in the snow cover and soil], Moscow, IMGRJe, 2006, 7 p. (in Russian).

Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimija landshafta [Landscape geochemistry], Moscow, Astreja-2000, 1999, 768 p. (in Russian).

Quiroz W., Cortes M., Astudillo F. et al. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaiso, Chile: analytical and environmental considerations // Microchem. J. 2013. Vol. 110. P. 266–272.

Regiony i goroda Rossii: integral'naja ocenka jekologicheskogo sostojanija [Regions and cities of Russia: the integrated assessment of the environment], ed. by N.S. Kasimov, Moscow, publisher Filimonov M.V., 2014, 560 p. (in Russian).

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. Vol. 3. Elsevier, 2003. P. 1–64.

Sorokina O.I. Tjazhelye metally v landshaftah g. Ulan-Batora [Heavy metals in landscapes of Ulaanbaatar city], PhD Thesis in Geography, Moscow, 2013 (in Russian).

Vlasov D.V. Geohimija tjazhelyh metallov i metalloidov v landshaftah Vostochnogo okruga Moskvy [Geochemistry of heavy metals and metalloids in urban landscapes of Eastern District of Moscow], PhD Thesis in Geography, Moscow, 2015 (in Russian).

Vlasov D.V., Kasimov N.S. Heavy metals in maple and dandelion leaves from different land-use areas in Moscow's Eastern District // Geography, Environment, Sustainability. 2015. Vol. 8, N 1. P. 53–70.

Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geohimija dorozhnoj pyli (Vostochnyj okrug g. Moskvy) [Geochemistry of the road dust in the Eastern District of Moscow], Vestnik Moskovskogo Unviersiteta, seria Geografiya, 2015, no 1, pp. 23–33 (in Russian).

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 59, N 7. P. 1217–1232.

Received 15.02.2016
Accepted 16.03.2016