

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДОВ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Изложены результаты мониторинга городских почв Среднего и Нижнего Поволжья. Приоритетными поллютантами городских почв являются свинец, медь и цинк, накапливающиеся в них в количествах, превышающих ПДК. Максимально подвержены полиметаллическому загрязнению города с развитой промышленностью и мощной автотранспортной нагрузкой – Саратов, Волжский, Димитровград, Кузнецк, минимально – Камышин, Сердобск, Балашов, Инза.

Ключевые слова: техногенное загрязнение; тяжелые металлы; почвы.

Главными компонентами формирующейся в условиях урбанизации экосистемы являются почвы. Почвы, в отличие от воздушной и водной сред, испытывают более сильное воздействие урбанистического прессинга, быстро поглощают из окружающей среды поллютанты и очень медленно их трансформируют [1, 2].

Почвы в городах развиваются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и природные почвы, но техногенный фактор здесь оказывает первоочередное влияние. Хозяйственная деятельность человеческого общества в крупных и малых городах приводит к существенному и часто необратимому изменению почвенного покрова [3, 4].

В результате градостроительного освоения территорий окружающая среда, и почвы в частности, подвергаются значительному техногенному давлению, заключающемуся в том числе в дополнительном поступлении разного рода поллютантов [4].

Приоритетными загрязнителями в городских условиях Среднего и Нижнего Поволжья являются тяжелые металлы как результат увеличения общего количества транспортных средств, постоянно расширяющейся транспортной и промышленной инфраструктуры, замусоривания значительных территорий [5]. Это обуславливает интенсивность и неоднородность почвенных загрязнений.

Цель исследований заключалась в изучении содержания тяжелых металлов техногенного происхождения в почвенном покрове городов Среднего и Нижнего Поволжья с развитой транспортной инфраструктурой и высоким уровнем промышленного производства. Работа выполнена в 2005–2011 гг.

Объекты и методы исследований. Полевые исследования почв производились методом прикопок глубиной до 20–40 см [6, 7]. Метод прикопок является практичным в городских условиях при мониторинге почвенного покрова еще и потому, что техногенные тяжелые металлы депонируются и накапливаются в основном в верхних почвенных горизонтах [7, 8].

Для закладки пробных площадей в районе исследований были выбраны участки со сформированным почвенным профилем. Пробоотборы были приурочены к относительно равновесным почвам, а не ежегодно обновляемым грунтам, с целью большей статистической достоверности и объективности результатов [8].

В каждом городе района исследований было заложено по 10 пробных площадей в зоне влияния антропогенных источников выделения химических загрязнителей и на определенном удалении от них, по основным направлениям среднегодовой розы ветров, с целью

изучения распространения предполагаемых следов загрязнителей. Пробные площади обязательно закладывались в трех главных функциональных зонах городов: промышленных, селитебных и рекреационных. Полевые исследования носили характер экспедиционных работ. Пробные площади закладывались в соответствии с общепринятыми методиками биохимических исследований почв [9–11]. Размер каждой пробной площади составил 2500 м² (50 × 50 м²).

В качестве контрольного (фонового) района исследовались участки сохранившихся природных разнотравных степей и широколиственного леса (пойменная дубрава) Балашовского района Саратовской области с минимальной антропогенной нагрузкой, в которых заложены 4 пробные площади. Определение содержания тяжелых металлов в почвенных вытяжках осуществлялось методом пламенной спектрометрии [7].

Экологический анализ уровня опасности загрязнения городских почв комплексом тяжелых металлов проведен по суммарному показателю химического загрязнения (Z_c), предложенному СанПиН 4266–87 и отражающему наглядную дифференциацию химического загрязнения почвенного покрова в пределах урбанизированных территорий [12].

Суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) вычислялся по наиболее распространенным тяжелым металлам, показавшим высокие концентрации в почвах района исследований, по следующей формуле [7, 8]:

$$Z_c = (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где n – число определяемых суммируемых поллютантов, K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Коэффициент концентрации (K_{ci}) поллютанта определялся как отношение фактического (среднестатистического) содержания определяемого вещества в почве (C_i) (в мг/кг почвы) к его региональному фоновому значению ($C_{\phi i}$):

$$K_c = C_i / C_{\phi i}.$$

Результаты и их обсуждение. Валовое содержание тяжелых металлов в почвенной среде является фактором емкости, отражающим потенциальную опасность загрязнения почв, растений, инфильтрационных и поверхностных вод.

Средневзвешенные показатели концентраций тяжелых металлов в почвенном покрове условно-фоновом участка природных лесостепных и степных экосистем (пробные площади № 1–4) свидетельствуют об их высокой аккумулирующей способности (табл. 1).

Полученные и статистически обработанные результаты лабораторного анализа образцов природных почв из контрольных пробных площадей позволили установить следующий ряд тяжелых металлов: $Mn > Zn > Cu > Pb$.

Средневзвешенные показатели концентраций тяжелых металлов в почвенном покрове г. Балашова свидетельствуют об их высокой аккумулирующей способности. Содержание этих поллютантов (исключение – Ni) превышает региональный фон, у Zn и Cu содержание в почвах выше установленных для них ПДК (табл. 2).

Элементный состав тяжелых металлов в почвах города представляет следующий ряд поллютантов, оказывающих максимальное техногенное воздействие на санитарно-экологическое качество почв: $Mn > Zn > Cu > Pb > Ni$.

На территории г. Саратова выявлены высокие концентрации тяжелых металлов в почвах, значительно превышающие их фоновые значения (исключение – Ni). У 6 элементов (Pb, Zn, Mn, Cu, Hg, Cd) концентрации выше предельно допустимых значений (табл. 3).

Таблица 1
Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в естественных ненарушенных почвах в контроле (2005–2011 гг.)

Значение	M±m на ППП № 1–4, мг/кг воздушно-сухой почвы			
	Pb	Zn	Mn	Cu
M±m	25,4±1,1	49,9±1,5	651,6±26,3	29,6±0,82
Фон	11,2	34,0	688,6	22,0
ПДК	32,0	55,0	1500,0	33,0

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон.

Таблица 2
Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Балашова Саратовской области (2005–2011 гг.)

Значение	M±m на ППП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы				
	Pb	Zn	Mn	Ni	Cu
M±m	31,1±1,2	76,9±2,5	1181,0±26,4	17,5±0,68	53,9±1,6
Фон	11,2	34,0	688,6	28,2	22,0
ПДК	32,0	55,0	1500,0	20,0	33,0

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК).

Таблица 3
Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Саратова (2005–2011 гг.)

Значение	M±m на ППП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы							
	Pb	Zn	Mn	Ni	Cu	Hg	Co	Cd
M±m	112,0±4,5	187,8±6,6	2097,0±53,9	19,0±0,80	91,6±2,4	4,6±0,20	41,8±1,2	4,1±0,11
Фон	11,2	34,0	688,6	28,2	22,0	0,39	11,2	0,40
ПДК	32,0	55,0	1500,0	20,0	33,0	2,1	50,0*	2,0*

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК/ОДК); * ОДК.

Элементный состав тяжелых металлов в почвах г. Саратова выглядит следующим образом: $Mn > Zn > Pb > Cu > Co > Ni > Hg > Cd$.

В почвенной среде г. Саратова в период исследований отмечен высокий рост концентраций тяжелых металлов как на участках относительно сохранившегося естественного покрова, так и в техногенных грунтах. Это связано с увеличением числа автотранспортных средств и восстановлением прежних мощностей промышленных предприятий.

На территории г. Сердобска происходит значительное антропогенное рассеивание тяжелых металлов, средневзвешенное содержание которых превышает региональный фон: в 1,7 раза – по V, в 2,4 раза – по Pb, в 1,6 раза – по Zn и в 3,9 раза – по Co (табл. 4). По Zn также отмечено незначительное превышение ПДК.

Таким образом, элементный состав почвенной среды г. Сердобска имеет следующий вид: $V > Zn > Co > Pb$.

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Кузнецка является достаточно высоким: концентрации большинства металлов выше фоновых величин (кроме Fe и Sb, у Sb фоновый показатель не определен), что отражено в табл. 5.

Sb, Pb, Zn и Co накапливаются в почвенном покрове г. Кузнецка в количествах, превосходящих установленные гигиенические нормативы для почв населенных мест: Sb – 1,3 ПДК, Pb – 1,5 ПДК и Co – 2,0 ОДК.

Элементный состав тяжелых металлов в почвенном покрове г. Кузнецка выглядит следующим образом: $Fe > Cr > Zn > Co > Pb > Sb$.

Таблица 4
Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Сердобска Пензенской области (2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ППП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы			
	V	Pb	Zn	Co
M±m	134,6±4,5	27,1±0,7	55,0±1,2	43,9±1,3
Фон	77,4	11,2	34,0	11,2
ПДК	150,0	32,0	55,0	50,0*

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК); * ОДК.

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Кузнецка Пензенской области (2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ИП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы					
	Sb	Fe	Pb	Zn	Cr	Co
M±m	5,98±0,20	33193,1±669,2	49,1±1,5	108,8±1,5	118,1±1,6	101,7±1,5
Фон	–	33591,9	11,2	34,0	96,9	11,2
ПДК	4,5	–	32,0	55,0	–	50,0*

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК/ОДК); * ОДК.

Высокие средневзвешенные показатели содержания тяжелых металлов (Pb – 1,5 ПДК, Zn – 1,6 ПДК, Cu – 1,9 ПДК) в почвах г. Камышина указывают на то, что они интенсивно деградируют (табл. 6).

Результаты, представленные в табл. 6, позволили составить следующий возрастающий ряд тяжелых ме-

таллов, загрязняющих почвенный покров г. Камышина: Zn > Cu > Pb > Sb > Cd.

При вычислении средневзвешенных показателей концентраций тяжелых металлов в почвенной среде г. Волжского получены результаты, представленные в табл. 7.

Таблица 6

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Камышина Волгоградской области (2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ИП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы				
	Pb	Zn	Cd	Sb	Cu
M±m	47,3±1,2	86,8±1,6	1,8±0,06	3,6±0,14	62,8±1,3
Фон	11,2	34,0	0,4	–	22,0
ПДК	32,0	55,0	2,0*	4,5	33,0

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК); * ОДК.

Таблица 7

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Волжского Волгоградской области (2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ИП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы						
	Pb	Zn	Sb	Ni	Cu	Hg	Cd
M±m	134,3±2,1	193,5±2,5	3,3±0,08	27,3±1,2	110,5±2,3	2,7±0,06	3,6±0,11
Фон	11,2	76,8	–	28,2	45,3	0,39	0,40
ПДК	32,0	55,0	4,5	20,0	33,0	2,1	2,0*

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК/ОДК); * ОДК.

Максимально загрязнены почвы города металлами Pb, Zn, Ni, Cu, Hg и Cd. Концентрации этих поллютантов превышают установленные гигиенические нормативы: у Pb – 4,2 ПДК, у Zn – 3,5 ПДК, у Ni – 1,4 ПДК, у Cu – 3,3 ПДК, у Hg – 1,3 ПДК и у Cd – 1,8 ПДК. Таким образом, максимально аккумулируются в почвах г. Волжского Pb, Zn и Cu, которые являются приоритетными загрязнителями почв в данном урбанизированном районе.

Тяжелые металлы в почвенном покрове г. Волжского образуют следующую последовательность: Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Sb > Hg.

Техногенное загрязнение почвенной среды г. Инзы обусловлено высокими концентрациями V, Pb, Zn и Cr. В целом по городу выявлено высокое содержание тяжелых металлов в почвенном покрове (табл. 8).

Наибольшее загрязняющее влияние оказывают V (1,1 ПДК) и Zn (1,7 ПДК). Все четыре металла депонируются в городских почвах в концентрациях выше их фоновых значений. Техногенные тяжелые металлы в почвах г. Инзы образуют следующий состав: Cr > V > Zn > Pb.

Средневзвешенные показатели содержания тяжелых металлов в почвах г. Димитровграда являются достаточно высокими (табл. 9).

Таблица 8

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Инзы Ульяновской области (2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ИП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы			
	V	Pb	Zn	Cr
M±m	171,7±1,9	30,2±1,1	93,6±1,4	202,8±2,6
Фон	77,4	11,2	34,0	96,9
ПДК	150,0	32,0	55,0	–

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК).

Таблица 9

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в почвах г. Димитровграда Ульяновской области (за период 2006–2011 гг.)

Значение	M±m на ИП № 1–10, мг/кг воздушно-сухой почвы					
	V	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr
M±m	212,5±3,4	141,8±2,9	129,9±3,2	16,9±0,78	170,5±3,3	247,4±5,8
Фон	77,4	11,2	34,0	28,2	22,0	96,9
ПДК	150,0	32,0	55,0	20,0	33,0	–

Примечание. Курсивом выделено значение M±m, превышающее региональный фон; жирным шрифтом выделено значение M±m, превышающее установленный гигиенический норматив (ПДК).

Большинство металлов, за исключением Ni, аккумулируются в верхних почвенных горизонтах в количествах, превышающих их фоновые значения. V, Pb, Zn и Cu превышают ПДК в 1,4, 4,4, 2,4 и 5,2 раза соответственно.

Элементный состав тяжелых металлов почв г. Димитровграда имеет следующий вид: Cr > V > Cu > Pb > Zn > Ni.

Таким образом, почвы урбанизированных районов Среднего и Нижнего Поволжья значительно загрязнены тяжелыми металлами техногенного происхождения. Приоритетными поллютантами, активно аккумулирующимися в городских почвах в повышенных концентрациях, являются свинец, медь и цинк (рис. 1).

Ниже, чем в контроле, концентрации свинца выявлены в гг. Балашове (Саратовская область), Сердобске (Пензенская область) и Инзе (Ульяновская область). Во всех этих городах среднестатистическое содержание

свинца в почвах не превышало ПДК. В остальных городах содержание свинца превышало контрольный показатель и ПДК. Максимальные концентрации свинца приходятся на гг. Саратов, Волжский, Димитровград.

Меньшие, чем в контроле, следовые концентрации меди обнаружены в гг. Балашове, Сердобске, Кузнецке, Инзе. В других урбанизированных районах концентрации меди значительно превосходили контрольный показатель. Максимум аккумулированной в почвенной среде меди пришлось на гг. Димитровград, Волжский, Саратов.

Высокие концентрации (> ПДК) цинка выявлены во всех исследованных городах. Лишь в г. Сердобске цинк накапливается в меньших в сравнении с контролем количествах. Наибольшие концентрации цинка зарегистрированы в гг. Волжском, Саратове и Димитровграде.

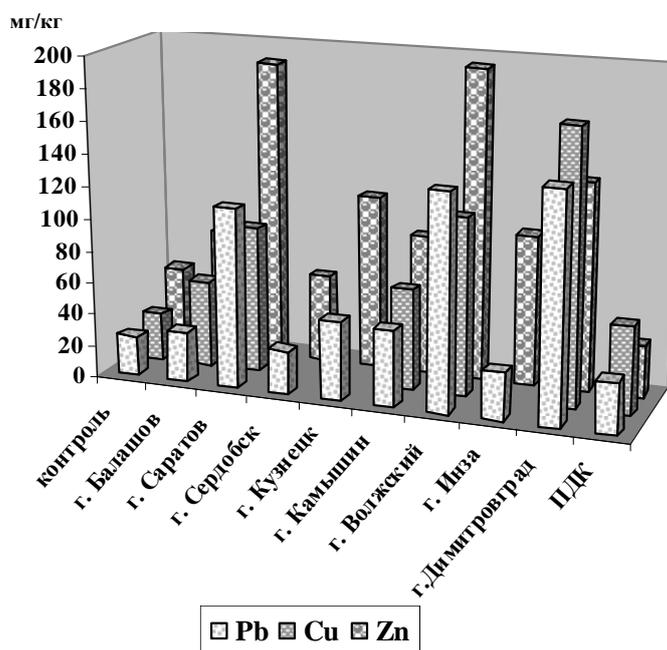


Рис. 1. Содержание свинца, меди и цинка в почвах, дифференцированно по городам Среднего и Нижнего Поволжья

В табл. 10 представлена сравнительная характеристика экологического состояния почв в исследованных урбанизированных районах.

Данные табл. 10 свидетельствуют о допустимом уровне ($Z_c < 16$) техногенного химического загрязнения относительно сохранившихся природных почв в исследованных урбанизированных районах. Минимальная величина суммарного показателя техногенного загрязнения участков природных почв установлена в г. Балашове ($Z_c = 4,0$), максимальная – в гг. Саратове ($Z_c = 14,6$), Димитровграде ($Z_c = 10,6$) и Волжском ($Z_c = 10,2$). Вычисленные значения суммарного показателя загрязнения техногенно измененных почв дифференцированно по исследованным городам сильно варьируют. Допустимый уровень загрязнения техногенно измененных почв установлен в гг. Сердобске ($Z_c = 7,7$), Балашове ($Z_c = 7,8$), Инзе ($Z_c = 8,1$) и Камышине ($Z_c = 14,3$). Техногенно измененные почвы г. Кузнецка характеризуются умеренно опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 23,0$). В крупнейших из исследованных горо-

дов – Саратове ($Z_c = 67,4$), Волжском ($Z_c = 58,3$), Димитровграде ($Z_c = 33,0$) – техногенные грунты загрязнены максимально, в отличие от г. Балашова и других урбанизированных территорий, и соответствуют опасному критерию химического загрязнения.

Общей закономерностью содержания тяжелых металлов как важнейших поллютантов почвенной среды в городах района исследований является регрессионно-аккумулятивное накопление в почвенной толще, главным образом в органогенных горизонтах. Максимальные количества тяжелых металлов отмечены в верхних, органогенных горизонтах городских почв района исследований. Вниз по почвенному профилю происходит значительное снижение концентраций тяжелых металлов. Их накоплению в почвах способствуют глинистые минералы и органическое вещество.

По результатам мониторинга почв на пробных площадях, заложенных в разных функциональных зонах городов, вычислены соответствующие суммарные показатели загрязнения почв тяжелыми ме-

таллами. Определены уровни полиметаллического загрязнения почвенного покрова основных функциональных зон в каждом исследованном городе (табл. 11).

Таблица 10

Экологический анализ состояния городских почв по суммарному показателю загрязнения, дифференцированно по урбанизированным районам

Город	Средневзвешенная величина Z_c	Уровень загрязнения почв
Естественные ненарушенные почвы		
Балашов	4,0	Допустимый (< 16)
Саратов	14,6	Допустимый (< 16)
Сердобск	5,9	Допустимый (< 16)
Кузнецк	6,9	Допустимый (< 16)
Камышин	7,9	Допустимый (< 16)
Волжский	10,2	Допустимый (< 16)
Инза	5,5	Допустимый (< 16)
Димитровград	10,6	Допустимый (< 16)
Техногенно преобразованные почвы		
Балашов	7,8	Допустимый (< 16)
Саратов	67,4	Опасный (32–128)
Сердобск	7,7	Допустимый (< 16)
Кузнецк	23,0	Умеренно опасный (16–32)
Камышин	14,3	Допустимый (< 16)
Волжский	58,3	Опасный (32–128)
Инза	8,1	Допустимый (< 16)
Димитровград	33,0	Опасный (32–128)

Таблица 11

Экологическое районирование урбанизированных территорий по суммарному показателю загрязнения, дифференцированно по основным функциональным зонам

Функциональная зона города	Величина Z_c	Уровень загрязнения почв
г. Балашов		
Промышл. зона	14,5	Допустимый (< 16)
Селитебная зона	5,8	Допустимый (< 16)
Рекреац. зона	4,1	Допустимый (< 16)
г. Саратов		
Промышл. зона	93,4	Опасный (32–128)
Селитебная зона	69,3	Опасный (32–128)
Рекреац. зона	39,5	Опасный (32–128)
г. Сердобск		
Промышл. зона	12,7	Допустимый (< 16)
Селитебная зона	6,9	Допустимый (< 16)
Рекреац. зона	3,4	Допустимый (< 16)
г. Кузнецк		
Промышл. зона	43,5	Опасный (32–128)
Селитебная зона	15,5	Допустимый (< 16)
Рекреац. зона	9,9	Допустимый (< 16)
г. Камышин		
Промышл. зона	20,2	Умеренно опасный (16–32)
Селитебная зона	14,4	Допустимый (< 16)
Рекреац. зона	8,3	Допустимый (< 16)
г. Волжский		
Промышл. зона	73,6	Опасный (32–128)
Селитебная зона	38,4	Опасный (32–128)
Рекреац. зона	19,3	Умеренно опасный (16–32)
г. Инза		
Промышл. зона	11,2	Допустимый (< 16)
Селитебная зона	7,1	Допустимый (< 16)
Рекреац. зона	4,7	Допустимый (< 16)
г. Димитровград		
Промышл. зона	52,4	Опасный (32–128)
Селитебная зона	19,8	Умеренно опасный (16–32)
Рекреац. зона	12,5	Допустимый (< 16)

Почвенный покров всех функциональных зон (промышленной, селитебной и рекреационной) в большей степени подвержен полиметаллическому загрязнению в городах с развитой промышленностью и мощной автотранспортной нагрузкой – Саратове, Волжском, Димитровграде, Кузнецке, в меньшей степени – в гг. Камы-

шине, Сердобске, Балашове и Инзе. В промзонах района исследования на окружающую среду осуществляется комбинированное загрязняющее воздействие промышленных объектов и автотранспорта. В селитебных и рекреационных зонах доминирующее техногенное загрязняющее воздействие оказывает автотранспорт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревич Б.А., Саит Ю.Е. и др. Геохимическая оценка загрязнения территорий городов химическими элементами. М., 1982. 112 с.
2. Трофимова Т.А. Применение посевов горчицы сарептской в целях фиторемедиации техногенно загрязненных тяжелыми металлами светло-каштановых почв южной пригородной агропромзоны г. Волгограда : автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Волгоград, 2009. 26 с.
3. Джирард Д.Е. Основы химии окружающей среды / пер. с англ. В.И. Горшкова ; под ред. В.А. Иванова. М. : Физматлит, 2008. 640 с.
4. Добровольский В.В., Савельева Л.Е. Автотранспортное загрязнение свинцом окружающей среды за рубежом // Геохимия техногенного преобразования ландшафтов. М., 1978. С. 6–20.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году». М. : Центр международных проектов, 2010. 523 с.
6. Лукашев В.К., Симуткина Т.Н. Особенности распределения и формы соединений микроэлементов в почвах крупного промышленного города // Почвоведение. 1984. № 4. С. 43–52.
7. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
8. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. М., 2003. 24 с.
9. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. New York ; London : Academic Press, 1966. 241 p.
10. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М. : Недра, 1990. 142 с.
11. Глазовская М.А. Геохимические основы и методики исследования природных ландшафтов. М. : МГУ, 1964. 230 с.
12. СанПиН 4266–87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М. : Минздрав СССР, 1987. 21 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 1 июня 2012 г.