

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДА АБАКАНА

E.V. Yudina

THE FEATURES OF HEAVY METALS ACCUMULATION AND ALLOCATION IN THE SOILS OF ABAKAN

Юдина Е.В. – советник отдела регионального государственного экологического надзора и анализа состояния окружающей среды Министерства промышленности и природных ресурсов Республики Хакасия, г. Абакан. E-mail: elena5555u@mail.ru

Yudina E.V. – Adviser, Department of Regional State Ecological Supervision and Analysis of the Environment State, Ministry of Industry and Natural Resources, the Republic of Khakassia, Abakan. E-mail: elena5555u@mail.ru

Тяжелые металлы являются индикаторами техногенного загрязнения городской почвы, в связи с чем изучение особенностей их накопления и распределения является приоритетным направлением современных исследований почвенного покрова урбоэкосистем. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами среды в основном связано с их аэрогенным поступлением в результате эксплуатации автотранспорта. По сравнению с традиционным подходом к изучению загрязнения городских почв, подразумевающим анализ содержания тяжелых металлов в верхних почвенных горизонтах до глубины 0–10 см, подход, предусматривающий определение содержания тяжелых металлов в почвенном профиле с учетом факта неравномерного распределения тяжелых металлов и концентрации их на различных геохимических барьерах, представляется более целесообразным. При анализе содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв города Абакана выявлено значительное превышение содержания подвижных форм Zn относительно фоновое содержание и ПДК в 680,2 и 10,9 раз соответственно. Установлен факт неравномерного распределения тяжелых металлов в почвенном профиле, что подтверждает целесообразность подхода к оценке загрязнения городских почв путем определения средних концентраций металлов. При анализе средних показателей содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в почвенных профи-

лях на исследуемых участках установлена прямая зависимость их содержания от степени транспортной нагрузки. При рассмотрении почвенных физико-химических свойств отмечен факт существенного влияния показателей pH, содержания гумуса, емкости катионного обмена, гранулометрического состава на концентрацию тяжелых металлов в почвенном профиле, что обуславливает формирование горизонтов с особыми физико-химическими условиями (геохимические барьеры), когда можно наблюдать явление аккумуляции тяжелых металлов в отдельных горизонтах почв.

Ключевые слова: городская почва, урбанизация, техногенное загрязнение, автотранспорт, тяжелые металлы, геохимический барьер.

Heavy metals are indicators of technogenic pollution of urban soil, that is why, the research of its accumulation and allocation is paramount for modern researches of a soil cover of urboecosystem. The pollution of urban soil with heavy metals of the environment is basically connected with its aerogenic inflow as a result of vehicle maintenance. As compared with the traditional approach to researching of urban soil's pollution involving the analysis of a content of heavy metals in upper soil horizons to a depth of 0–10 cm, the approach which concerning a determination of heavy metal content of soils in soils cross section consistent with nonuniform distribution of heavy metals and it's concentration on different geochemical barriers, appears more

efficient. A significant excess of mobile fraction of heavy metals content have been identified by the analysis of heavy metal content of soils in soils cross section of Abakan regarding the content of chemicals in soil in areas which is not exposed to technogenic impact and maximum permissible concentration exceed 680.2 and 10.9 times. The fact of an nonuniform distribution of heavy metals in soils cross section have been established the so it's confirms the efficient of approach to appreciation of pollution of an urban soil by determination of average concentration of metals. Direct relation of their proportion of a load traffic ratio have been arranged by analysis of an average index of a proportion of a gross and mobile fraction of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn) in soils cross section on a survey plot. The fact of significant influence of the indexes pH, humus content, cation exchange capacity, granulometric composition on a concentration of heavy metals in a soils cross section have been noted under inspection soil's physicochemical properties it follows formation of horizons with special physicochemical conditions (geochemical barriers), when you can see the accumulation of heavy metals in particular soil horizons.

Keywords: urban soil, urbanozyom, technogenic pollution, motor transport, heavy metals, geochemical barrier.

Введение. Интенсификация процессов антропогенного воздействия на экосистемы городов обуславливает необходимость изучения состояния базового компонента урбозооэкосистемы – городской почвы. В условиях городской среды антропогенное воздействие становится преобладающим над естественными факторами почвообразования, обуславливая формирование специфических типов почв и почвоподобных тел [1].

Многолетняя антропогенная нагрузка, связанная с развитием промышленных мощностей, ростом площадей, занятых жилой застройкой, увеличением транспортного потока на городских автомагистралях, нарушает способность городских почв выполнять свои экологические функции [2, 3].

Загрязнение почв города Абакана в основном связано с аэрогенным поступлением загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, в результате эксплуатации автотранспорта [4].

Тяжелые металлы служат индикаторами техногенного загрязнения городской почвы, которая, являясь основной депонирующей геохимической системой селитебных ландшафтов, сама, в свою очередь, может стать вторичным источником загрязнения атмосферы, вод и городской растительности, в связи с чем изучение особенностей их накопления и трансформации является приоритетным направлением современных исследований почвенного покрова урбозооэкосистем [5, 6].

Цель исследования: изучить особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах города Абакана.

Задачи исследования: проанализировать зависимость содержания тяжелых металлов в почвенном профиле от интенсивности транспортной нагрузки на исследуемый участок; выявить закономерности накопления и распределения тяжелых металлов в почвенном профиле, в том числе с учетом отдельных почвенных характеристик.

Объект и методы исследования. Объектами исследования явились почвенные разрезы, заложенные в непосредственной близости от автомагистралей на участках с различной интенсивностью транспортной нагрузки. Все почвенные образцы были отобраны и подготовлены согласно стандартным методикам отбора и подготовки проб (ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, МУ 2.1.7.730-99).

В почвенных образцах были определены следующие показатели: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), рН водной вытяжки (ГОСТ 26423-85), емкость катионного обмена (ГОСТ 17.4.4.01-84), гранулометрический состав (ГОСТ 12536-2014). Валовые и подвижные формы тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре «КВАНТ-АФА».

Результаты исследования. Исследования проводились на территории города Абакана в августе 2015 г. на 4 экспериментальных участках. Выбор участков был обусловлен наличием обнаженных в результате инженерно-строительных работ почвенных профилей глубиной до 1,5–2,0 м, расположенных вблизи автомагистралей, с учетом интенсивности транспортной нагрузки на данный участок дорожной сети.

Интенсивность транспортной нагрузки определялась путем учета количества автотранспорта, проследовавшим по перегону за определенный промежуток времени. Под перегоним следует понимать участок дороги, ограниченный с обеих сторон перекрестками, по которой осуществляется движение автомобильного транспорта [7].

Оценка интенсивности транспортной нагрузки на экспериментальных участках осуществлялась за временной отрезок 20 минут в разные часы в течение суток, в течение недели, с учетом видовой структуры автотранспорта. По результатам оценки интенсивности транспортной нагрузки условно выделены 4 степени нагрузки (I – очень высокая, II – высокая, III – средняя, IV – низкая) (табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование экспериментальных участков по интенсивности транспортной нагрузки

Местонахождение/ координаты участка	Интенсивность транспортного потока за 20 мин в течение суток, ед/ч				Общая интен- сивность, ед/ч	Общая интен- сивность, ед/сут	Степень транспортной нагрузки
	Время, ч	Вид автотранспорта					
		Легковой	Грузовой	Автобусы			
Участок № 1, коль- цевая развязка ул. Некрасова/ ул. Крылова, 53.7324, 91.4130	08-00–09-00	708	61	3	2316	8583	I
	12-00–13-00	537	70	2	1827		
	15-00–16-00	518	30	0	1644		
	17-00–18-00	545	28	1	1722		
	20-00–21-00	275	4	0	837		
	24-00–01-00	79	0	0	237		
Участок № 2, пере- кресток ул. Ярыгина/ ул. Кирова, АЗС, 53.7269, 91.4314	08-00–09-00	548	8	2	1674	6342	III
	12-00–13-00	571	4	1	1728		
	15-00–16-00	302	0	0	906		
	17-00–18-00	506	2	0	1524		
	20-00–21-00	142	0	0	426		
	24-00–01-00	28	0	0	84		
Участок № 3, пере- кресток ул. Кирова/ ул. Трудовая, 53.7262, 91.4249	08-00–09-00	75	1	0	228	837	IV
	12-00–13-00	61	0	0	183		
	15-00–16-00	41	0	0	123		
	17-00–18-00	64	0	0	192		
	20-00–21-00	28	0	0	84		
	24-00–01-00	9	0	0	27		
Участок № 4, ул. Аскизская, 53.6995, 91.4185	08-00–09-00	656	28	43	2181	8097	II
	12-00–13-00	541	24	36	1803		
	15-00–16-00	434	12	30	1428		
	17-00–18-00	590	16	38	1932		
	20-00–21-00	161	1	14	528		
	24-00–01-00	75	0	0	225		

В видовой структуре автотранспорта на исследуемых участках преобладают легковые автомобили, на их долю приходится 91–99 %, остальную часть составляют автобусы и грузовой транспорт.

Максимальная транспортная нагрузка наблюдается на участке № 1, что обусловлено ее значением в инфраструктуре города как транспортной магистрали, по которой осуществляется основное движение в городе. Ми-

нимальная интенсивность на участке № 3 объясняется тем, что эта улица имеет второстепенное значение в городском движении транспорта. Суточный максимум интенсивности транспорта наблюдается в период с 7 до 8 часов на всех участках, что связано с началом рабочего дня.

По морфологическому строению почвы на исследуемых участках можно отнести к группе урбаноземов, представляющих собой антропогенно-глубоко-преобразованные почвы, в которых урбиковый горизонт (U) имеет мощность более 50 см [1].

Традиционные подходы к изучению загрязнения городских почв подразумевают анализ содержания тяжелых металлов в верхних почвенных горизонтах до глубины 0–10 см, однако такой подход позволяет оценить только аэраль-

ное поступление поллютантов, без учета факта неравномерного распределения тяжелых металлов, концентрации их на различных геохимических барьерах, в связи с чем более целесообразным представляется подход с определением содержания тяжелых металлов в почвенном профиле [8].

На основе данных анализа содержания тяжелых металлов проведена оценка химического загрязнения почв города Абакана с учетом фоновых значений (для почв сельскохозяйственных угодий, по данным ФГБУ «Государственная станция агрохимической службы «Хакасская»»), установленных ПДК (ГН 2.1.7.2041-06), ОДК (ГН 2.1.7.2511-09) и кларками почв населенных пунктов [6] (табл. 2).

Таблица 2

Оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенных горизонтов

Номер почвенного горизонта	Кратность превышения фонового содержания/ПДК/ОДК/кларка							
	Zn		Cu		Pb		Cd	
	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Профиль № 1								
U 1	2,62/3,64	680,2/10,9	0,16/0,54	1,51/1,1	0,55/0,13/0,32	33,05/5,52	0,08/0,19	2,72
U 2	0,90/1,25	28,86/0,46	0,21/0,72	2,00/0,14	2,08/0,51/1,21	2,42/0,40	0,13/0,28	1,97
U 3	0,12/0,17	6,56/0,11	0,09/0,30	1,52/0,10	0,08/0,02/0,05	1,13/0,19	0,08/0,17	1,83
U 4	0,20/0,28	1,06/0,02	0,15/0,52	2,72/0,19	0,18/0,04/0,10	1,12/0,19	0,04/0,09	0,17
U 5	0,18/0,25	0,36/0,01	0,14/0,48	3,93/0,27	0,17/0,04/0,10	1,44/0,24	0,02/0,05	0,50
Профиль № 2								
U 1	0,18/0,25	25,47/0,41	0,12/0,39	3,10/0,21	0,23/0,06/0,14	1,72/0,29	0,07/0,14	0,24
U 2	0,11/0,15	2,90/0,05	0,06/0,19	1,36/0,09	0,08/0,02/0,05	0,325/0,05	0,02/0,04	0,52
U 3	0,77/1,07	76,99/1,24	0,18/0,61	3,93/0,27	0,50/0,12/0,28	1,69/0,28	0,09/0,21	1,05
U 4	0,26/0,36	19,02/0,31	0,14/0,49	3,98/0,27	0,75/0,18/0,44	2,51/0,42	0,05/0,10	1,30
Профиль № 3								
U 1	0,24/0,33	32,57/0,52	0,11/0,13	2,65/0,18	0,20/0,05/0,12	1,46/0,24	0,05/0,1	0,98
U 2	0,25/0,35	0,58/0,01	0,07/0,22	2,20/0,15	0,04/0,01/0,03	0,22/0,04	0,04/0,08	0,62
U 3	0,33/0,46	75,88/1,22	0,12/0,39	3,25/0,22	1,06/0,26/0,62	14,50/2,42	0,08/0,18	1,24
U 4	0,17/0,24	3,31/0,05	0,10/0,33	1,29/0,08	0,08/0,02/0,05	0,95/0,16	0,03/0,08	0,62
U 5	0,23/0,32	19,24/0,31	0,14/0,49	4,15/0,28	0,12/0,03/0,07	0,67/0,11	0,04/0,07	0,98
U 6	0,24/0,34	25,23/0,40	0,12/0,40	5,07/0,35	0,26/0,06/0,15	1,77/0,30	0,04/0,09	0,45
Профиль № 4								
U 1	0,53/0,74	57,29/0,92	0,30/1,00	12,29/0,84	1,56/0,39/0,92	11,62/5,81	0,12/0,24	1,90
U 2	0,37/0,51	49,24/0,79	0,14/0,47	12,63/0,86	1,13/0,28/0,66	10,29/1,72	0,07/0,15	1,48

1	2	3	4	5	6	7	8	9
U 3	0,14/0,20	2,41/0,04	0,09/0,31	2,77/0,19	0,21/0,05/0,12	0,353/0,06	0,03/0,07	0,36
U 4	0,19/0,26	1,50/0,02	0,11/0,38	1,76/0,12	0,14/0,04/0,08	0,502/0,08	0,05/0,11	0,85
U 5	0,14/0,18	0,86/0,01	0,10/0,33	3,43/0,23	0,12/0,03/0,07	0,573/0,10	0,03/0,06	0,55
Фон, мг/кг	–	0,369	–	0,205	–	1,002	–	0,058
ПДК, мг/кг	–	23,0	–	3,0	32,0	6,0	–	–
ОДК, мг/кг	220,0	–	132,0	–	130,0	–	2,0	–
Кларк, мг/кг	158,0	–	39,0	–	54,5	–	0,9	–

На основе полученных данных можно сделать вывод, что наблюдается превышение валового содержания Zn на одном из участков по сравнению с ОДК в 2,6 раза, по сравнению с кларковым содержанием – в 3,6 раз. Можно видеть значительное превышение содержания подвижных форм Zn в верхнем горизонте почв, которое превысило его фоновое содержание и ПДК в 25,47–680,2 и 10,9 раз соответственно. Наблюдается аномальное превышение содержания подвижного Zn в нижележащих горизонтах по сравнению с вышележащими в 2,3–3 раза, что может свидетельствовать о наличии геохимических барьеров, обеспечивающих его аккумуляцию.

Содержание валовых форм Cu не превышает установленные нормативы, значение содержания подвижных форм в разных почвенных горизонтах превысило фон в 1,29–5,07 раз.

Данные, касающиеся валового содержания Pb, показывают превышение ПДК и кларка на участке № 1 в 1,06–2,08 раза соответственно.

Существенно превышено содержание подвижных форм Pb относительно фонового содержания и ПДК, кратность превышения содержания составила 1,46–33,05 для фона и 5,52–5,81 для ПДК.

Валовое содержание Cd не превышает нормативов ОДК и кларкового содержания на всех исследуемых участках, превышение можно наблюдать для подвижных форм относительно фонового содержания в профилях № 1 и 4 в 2,72 раза и 1,90 соответственно.

Факт неравномерного распределения исследуемых элементов в почвенном профиле можно констатировать для всех тяжелых металлов, что подтверждает целесообразность подхода к оценке загрязнения городских почв путем определения средних концентраций металлов.

Анализируя средние показатели содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов

(Pb, Cd, Cu, Zn) в почвенных профилях на исследуемых участках, можно проследить зависимость их содержания от степени транспортной нагрузки (табл. 3).

При оценке средних концентраций тяжелых металлов можно констатировать незначительное превышение ПДК подвижными формами Zn и Pb на участке с I степенью транспортной нагрузки в 2,3 и 1,3 раза соответственно. Превышение фоновых концентраций наблюдается на всех участках, однако кратность данного превышения в десятки раз меньше аналогичного, установленного при оценке содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почвы.

Корреляционный анализ установил прямую зависимость содержания в почвенном профиле как валовых, так и подвижных форм тяжелых металлов от степени транспортной нагрузки, присвоенной экспериментальным участкам, что подтверждает значимость роли автотранспорта как основного источника загрязнения почв урбоэкосистем.

Однако в данной закономерности выявлены отдельные аномалии, так, например, содержание Zn на участке № 2, которому присвоена III степень транспортной нагрузки, в 1,2–1,4 раза превышает содержание данного элемента на участке № 4 (степень транспортной нагрузки – II), что может быть связано с фактом нахождения участка № 2 в радиусе 10 м от автомобильной заправочной станции и как следствие в зоне продолжительной работы автомобильных двигателей в режиме холостого хода. Кроме того, на участке № 3, с низкой транспортной нагрузкой, можно отметить превышение содержания подвижных форм Pb в 2,1 раза по сравнению с участком с большей транспортной нагрузкой, что может быть обусловлено физико-химическими особенностями строения конкретного почвенного профиля.

Процессы, протекающие в городских почвах, определяются не только источниками поступления загрязняющих веществ и степенью антропогенного воздействия, но и свойствами, присутствующими самой почве, в связи с чем при оценке уровня загрязнения, анализе механизмов, свя-

занных с накоплением и распределением тяжелых металлов, значимым аспектом является установление причинно-следственных связей между содержанием загрязнителей и отдельными почвенными характеристиками [9] (табл. 4).

Таблица 3

Среднее содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенном профиле на участках с разной степенью транспортной нагрузки

Степень транспортной нагрузки	Среднее содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенном профиле, мг/кг							
	Zn		Cu		Pb		Cd	
	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма
I	177,36	52,92	20,06	1,89	19,56	7,85	0,14	0,08
II	59,94	8,21	19,40	1,35	20,24	4,67	0,12	0,06
III	73,13	11,48	16,47	0,63	12,44	1,56	0,11	0,05
IV	53,89	9,64	14,4	0,63	9,44	3,26	0,09	0,05
Коэффициент корреляции (r)	0,795	0,671	0,864	0,890	0,936	0,777	0,879	0,850

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов в почвенном профиле и отдельными почвенными характеристиками

Показатель	Zn		Cu		Pb		Cd	
	Валовая форма	Подвижная форма						
Профиль № 1								
pH водной вытяжки	0,310	0,175	0,843	0,336	0,330	0,223	0,647	0,512
Гумус	0,770	0,748	0,333	0,703	0,233	0,751	0,692	0,954
Емкость катионного обмена	0,661	0,475	0,845	0,500	0,708	0,493	0,955	0,847
Гранулометрический состав, частицы < 0,01 мм	-0,047	-0,192	0,459	-0,181	0,439	-0,117	0,759	0,515
Профиль № 2								
pH водной вытяжки	0,571	0,512	0,806	0,815	0,611	0,694	0,726	0,705
Гумус	0,826	0,881	0,920	0,894	0,669	0,809	0,983	0,588
Емкость катионного обмена	0,758	0,819	0,902	0,894	0,664	0,832	0,958	0,553
Гранулометрический состав, частицы < 0,01 мм	0,614	0,631	0,914	0,961	0,826	0,964	0,852	0,699

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Профиль № 3								
рН водной вытяжки	0,395	-0,037	-0,699	-0,230	0,178	0,238	0,208	-0,036
Гумус	0,569	0,786	0,831	0,748	0,660	0,582	0,581	0,505
Емкость катионного обмена	-0,055	0,088	0,895	0,651	-0,038	-0,091	-0,139	0,213
Гранулометрический состав, частицы < 0,01 мм	0,019	0,365	0,966	0,634	0,226	0,158	0,118	0,259
Профиль № 4								
рН водной вытяжки	0,558	0,296	0,608	0,446	0,361	0,306	0,596	0,555
Гумус	0,988	0,968	0,922	0,942	0,990	0,968	0,963	0,975
Емкость катионного обмена	0,468	0,282	0,434	0,357	0,286	0,305	0,523	0,584
Гранулометрический состав, частицы < 0,01 мм	0,223	-0,083	0,314	0,020	-0,028	-0,067	0,325	0,296

Анализ полученных данных позволяет установить взаимосвязь между показателем рН и содержанием тяжелых металлов. Факт прямой корреляционной зависимости, обусловленный увеличением щелочности почв, может быть следствием привнесения карбонатных щебней при строительстве автомагистралей, применением антигололедных смесей и другими факторами. В наибольшей степени это проявляется в отношении Cu и Cd в профилях № 1, 2, 4, для которых выявлена значительная корреляция валовых и подвижных форм. В профиле № 3 положительная корреляция установлена для валового содержания Zn, валовых и подвижных форм Pb и Cd.

Значительная корреляция с показателем рН обусловлена свойствами тяжелых металлов, так, Cu в нейтральной и щелочной среде малоподвижна и на щелочном барьере осаждается во вторичные минералы. Так как растворимость Cd зависит от рН, то особенно благоприятные условия для его концентрации формируются на щелочных геохимических барьерах карбонатных почв. На миграцию Zn, имеющему постоянную валентность, главное влияние оказывают изменение щелочно-кислотных условий и сорбционные процессы. То же касается и Pb, который в нейтральной и щелочной среде образует малоподвижные комплексные соединения $[Pb(OH)_2]^2$, $[Pb(OH)_3]$ [5, 6].

Полученные результаты позволяют проследить связь содержания тяжелых металлов с содержанием гумуса, что можно было предвидеть, так как высокое содержание органического вещества свидетельствует о значительной сорб-

ционной способности почв, когда гумусовые и низкомолекулярные органические кислоты образуют с тяжелыми металлами сложные комплексные соединения [6, 9, 10]. Положительная корреляция наблюдается во всех профилях, характерна как для валовых, так и подвижных форм всех металлов.

Тяжелые металлы, являясь катионогенными элементами, показывают прямую корреляцию с показателем емкости катионного обмена в профилях № 1, 2, 4. Однако в профиле № 3 данная закономерность характерна только для Cu, которая, являясь одним из лучших комплексообразователей, в присутствии органических веществ образует прочные фульватные и гуматные органоминеральные комплексы [5].

Факт прямого влияния гранулометрического состава на содержание тяжелых металлов прослеживается не для всех металлов и не на всех исследуемых профилях, однако можно наблюдать высокие показатели корреляции в профилях, где отмечен факт существенной зависимости содержания тяжелых металлов от показателей содержания гумуса и емкости катионного обмена (в профиле 1 – для Cd, в профиле № 3 – для Cu, в профиле № 2 – для всех металлов), что свидетельствует о совокупном влиянии почвенных свойств на концентрацию элементов в каждом конкретном профиле.

Выводы. При анализе содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв города Абакана выявлено значительное превышение содержания подвижных форм Zn относительно фоновое содержание ПДК: в 680,2 и 10,9 раз соответственно.

Установлен факт неравномерного распределения тяжелых металлов в почвенном профиле, что подтверждает целесообразность подхода к оценке загрязнения городских почв путем определения средних концентраций металлов.

При анализе средних показателей содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в почвенных профилях на исследуемых участках установлена прямая зависимость их содержания от степени транспортной нагрузки.

Рассматривая отдельные почвенные физико-химические свойства, можно отметить факт существенного влияния показателей pH, содержания гумуса, емкости катионного обмена, гранулометрического состава на концентрацию тяжелых металлов в почвенном профиле, что обуславливает формирование горизонтов с особыми физико-химическими условиями (геохимические барьеры), когда можно наблюдать явление аккумуляции тяжелых металлов в отдельных горизонтах почв.

Литература

1. Герасимова М.И. и др. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учеб. Пособие / под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
2. Строганова М.Н. и др. Экологическое состояние городских почв и стоимостная оценка земель // Почвоведение. – 2003. – № 7. – С. 867–875.
3. Почва, город, экология / под ред. Г.В. Добровольского. – М., 1997. – 320 с.
4. Юдина Е.В. Экологическое состояние почвенного покрова города Абакана // Экология урбанизированных территорий. – 2015. – № 3. – С. 44–49.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрея-2000, 1999. – 610 с.
6. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2013. – 388 с.
7. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография. – М.: Логос, 2013. – 464 с.
8. Ю.Н. Водяницкий, А.С. Яковлев. Оценка загрязнения почвы по содержанию тяжелых металлов в профиле // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 329–335.
9. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Тумова В.И. Экологическая оценка почв урбанизированных ландшафтов / Нижегородская гос. с.-х. академ. – Н. Новгород: Изд-во НИУ РАНХиГС, 2014. – 300 с.
10. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. – М., 2009. – 95 с.

Literatura

1. Gerasimova M.I. i dr. Antropogennye pochvy: genezis, geografija, rekul'tivacija: ucheb. posobie / pod red. G.V. Dobrovol'skogo. – Smolensk: Ojkumena, 2003. – 268 s.
2. Stroganova M.N. i dr. Jekologicheskoe sostojanie gorodskih pochv i stoimostnaja ocenka zemel' // Pochvovedenie. – 2003. – № 7. – S. 867–875.
3. Pochva, gorod, jekologija / pod red. G.V. Dobrovol'skogo. – M., 1997. – 320 s.
4. Judina E.V. Jekologicheskoe sostojanie pochvennogo pokrova goroda Abakana // Jekologija urbanizirovannyh territorij. – 2015. – № 3. – S. 44–49.
5. Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimija landshafta. – M.: Astreja-2000, 1999. – 610 s.
6. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Himicheskie jelementy v geohimicheskikh sistemah. Klarki pochv selitebnyh landshaftov. – Rostov n/D.: Izd-vo JuFU, 2013. – 388 s.
7. Trofimenko Ju.V., Jakimov M.R. Transportnoe planirovanie: formirovanie jeffektivnyh transportnyh sistem krupnyh gorodov. – M.: Logos, 2013. – 464 s.
8. Ju.N. Vodjanickij, A.S. Jakovlev. Ocenka zagraznenija pochvy po soderzhaniju tjazhelyh metallov v profile. // Pochvovedenie. – 2011. – № 3. – S. 329–335.
9. Dabahov M.V., Dabahova E.V., Titova V.I., Jekologicheskaja ocenka pochv urbanizirovannyh landshaftov / Nizhegorodskaja gos. s.-h. akad. – N. Novgorod: Izd-vo NIU RANHiGS, 2014. – 300 s.
10. Vodjanickij Ju.N. Tjazhelye i sverhtjazhelye metally i metalloidy v zagraznennyh pochvah / GNU Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii. – M., 2009. – 95 s.