

УДК 631.41

СОДЕРЖАНИЕ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЛОВЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА РОССИИ

© 2016 М.Н. Дубинина, С.Н. Горбов, О.С. Безуглова, А.К. Шерстнев

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Статья поступила в редакцию 24.05.2016

В работе изучено валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) (никеля, цинка, меди, свинца) в почвах урбанизированных территорий различного генезиса на примере Ростовской агломерации: черноземов миграционно-сегрегационных и антропогенно-преобразованных почв (урбостратоземов и урбистратифицированных черноземов). Анализ полученных результатов позволяет провести оценку уровня загрязнения почв ТМ, а также сделать предварительные предположения о характере профилного распределения этих элементов под горизонтами урбик антропоземов, о возможных путях миграции токсикантов из антропогенных слоев в нижележащие нативные горизонты и о блокирующем воздействии на миграцию ТМ экранирующих слоев, таких как асфальт и бетон. Суммарный коэффициент загрязнения свидетельствует о допустимом уровне опасности. Сравнение полученных данных с имеющимися сведениями о фоновом содержании исследованных металлов дает основание уточнить роль процессов урбанизации в формировании почвенного покрова в целом и накоплении химических веществ и элементов, в частности.

Ключевые слова: *городские почвы, тяжелые металлы, урбостратозем, чернозем миграционно-сегрегационный, запечатывание территории*

Роль тяжелых металлов (ТМ) и их соединений в системе воздух – почва – вода – одна из наиболее интересных тем в аспекте изучения и применения новых методологических подходов. Металлы обладают разными кларками, их соединения имеют самые различные формы и ареалы распространения в земной коре, формы их выноса на поверхность и миграции по почвенным профилям зависят от разнообразных факторов, которые усугубляются деятельностью человека. Если вынос ТМ и их соединений на поверхность является, в большинстве своем, процессом управляемым (разработка месторождений) [5], то обратный процесс – привнесение металлов в объекты окружающей среды и почву – имеет зачастую неконтролируемый, а иногда и стихийный характер (сбор и захоронение ТБО, выбросы и сбросы промышленных предприятий, влияние транспортного трафика, локальные техногенные катастрофы).

Ростовская агломерация за последнее десятилетие претерпела значительные изменения индустриальной и транспортной локализации. Основная масса промышленных предприятий города Ростова-на-Дону была перенесена на левый берег реки Дон, тем самым была создана своеобразная гидропреграда между основными источниками промышленных загрязнений и жилой частью города. Главенствующая роль в аэронагрузке в настоящее время принадлежит транспорту из-за изменений магистральной карты агломерации. Соответственно меняются условия и особенности урбанистического процесса в целом, а также его взаимодействие с окружающей

средой. Любые изменения надпочвенных режимов (климатических, физических, химических и т.п.) отражаются на почвенном покрове и его свойствах, поэтому изучение механизмов сопротивляемости и приспособляемости почв к различным факторам, а особенно связанным с антропогенным воздействием, становятся все актуальнее. Как следствие изучение реакции почв на эти изменения позволяет определить степень влияния процессов урбопедогенеза на почвенный покров.

Объекты исследования и методы. Изучены почвы территории Ростовской агломерации, как средоточия индустриальной, транспортной и социальной активности Ростовской области. Объектами исследования являются почвы урбанизированных территорий разных функциональных зон агломерации с соответственно разным уровнем антропогенной нагрузки. Естественные почвы исследуемой территории представлены в основном черноземами миграционно-сегрегационными мощными (средне-мощными) высококарбонатными тяжелосуглинками на лессовидных суглинках – разрезы 1205, 1403 (почвы залежных территорий); 1305, 1306, 1402, 1502, 1504 (черноземы лесопарков под древесной растительностью).

Антропогенно-преобразованные почвы данной территории представляют собой урбистратифицированные черноземы и урбостратоземы на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных на лессовидных суглинках – разрезы 1201, 1202, 1204, 1404, 1405, 1501, 1503. Зачастую данные почвы экранированы плотными покрытиями и антропогенные горизонты таких почв крайне разнообразны по характеру состава и сложения [9].

Исследование содержания массовой доли (валового содержания) ТМ было произведено рентгенофлуоресцентным методом на рентгеновском аппарате для спектрального анализа «Спектроскан МАКС-GV» [10]. Для экологической оценки уровня загрязнения почв рассматриваемых территорий никелем, медью, цинком и свинцом произведено сравнение полученных данных с гигиеническими нормативами ПДК [6] и ОДК [7], а также с данными по фоновому валовому содержанию этих элементов в

Дубинина Марина Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории биогеохимии. E-mail: dubinina-marina@rambler.ru

Горбов Сергей Николаевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии. E-mail: gorbow@mail.ru

Безуглова Ольга Степановна, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов. E-mail: lola314@mail.ru

Шерстнев Алексей Константинович, ассистент кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов. E-mail: aksherstnev@mail.ru

почвах данной территории (табл. 1) [1]. Как индикатор неблагоприятного воздействия загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения производится расчет суммарного показателя загрязнения Zc, который дает представление об уровне загрязнения почв с учетом фоновых величин и суммарного содержания этих ТМ [8]. Для свинца существует норматив ПДК, однако в дальнейшем для оценки содержания его и других металлов рекомендовано пользоваться величинами ОДК, так как этот нормирующий документ имеет градацию числовых значений для трех литогеохимических групп почв с учетом гранулометрического состава и кислотно-щелочных свойств почвы.

Таблица 1. Микроэлементный состав лессовидных суглинков на территории Ростовской агломерации [1].

Микроэлементный состав, мг/кг				
элемент	Ni	Cu	Zn	Pb
фон, мг/кг	45	30	65	20

Результаты исследований и их обсуждение. В результатах исследований представлен массив данных валового содержания никеля, меди, цинка и свинца в двух группах почв, дифференцированных по характеру сложения и генезиса. Профильное распределение никеля и меди (табл. 2) в горизонтах естественных почв показывает плавное снижение содержания элементов с глубиной в очень нешироком диапазоне величин, что свидетельствует о стабильности соединений этих элементов и слабой их миграции по профилю. Тем не менее, характер распределения этих двух металлов по профилю почвы демонстрирует различное их поведение в почве: если никель явно накапливается в перегнойно-аккумулятивной толще по сравнению с материнской породой, то медь в почвенном профиле заметно подвижнее – тому свидетельство обогащение средней части профиля по сравнению с породой и обеднение поверхностных горизонтов.

Таблица 2. Распределение никеля и меди в профилях почв естественного сложения (черноземы миграционно-сегрегационные)

Ni ОДК с учетом фона (кларка) 80 мг/кг [7] / Фоновое содержание 45 мг/кг [1]							
Черноземы миграционно-сегрегационные							
Горизонт / Разрез	1205	1305	1306	1402	1403	1502	1504
Ad	62,90	56,84	57,16	54,41	55,79	61,72	57,17
A	61,56	61,25	61,90	58,51	58,08	62,28	59,10
B1	59,51	63,33	61,32	54,08	57,65	58,84	55,67
B2	57,59	60,55	63,87	50,52	52,37	52,54	51,41
BC	53,84	55,60	58,38	52,01	46,76	50,49	50,02
Cca	55,04	51,62	54,52	50,74	46,66	53,36	48,14
Cu ОДК с учетом фона (кларка) 132 мг/кг [7] / Фоновое содержание 30 мг/кг [1]							
Черноземы миграционно-сегрегационные							
Горизонт / Разрез	1205	1305	1306	1402	1403	1502	1504
Ad	54,12	56,84	57,16	41,73	46,17	56,58	45,54
A	55,10	61,25	62,00	49,57	50,13	54,31	54,30
B1	57,95	63,33	61,32	53,33	53,53	61,06	56,51
B2	64,32	60,55	63,87	52,94	52,76	58,13	58,75
BC	58,06	55,60	58,38	53,12	53,84	56,88	57,48
Cca	60,36	51,62	54,52	53,33	54,93	59,13	54,77

Цинк проявляет выраженную тенденцию к увеличению концентраций в дерновом и перегнойно-аккумулятивном горизонтах, в нижележащей толще наблюдается выравнивание его содержания (табл. 3, рис. 1). Это может свидетельствовать как о наличии внешнего источника, поставляющего цинк на поверхность почвы (и такой источник имеется – крупное лакокрасочное предприятие ЗАО «Эмпилс»), так и об однородности почвообразующих пород по этому показателю по всей исследуемой территории.

Свинец отличается крайним разбросом концентраций даже в пределах одного профиля. Накопление

свинца в поверхностных горизонтах некоторых разрезов объясняется близостью к крупным трассам. Поведение этого элемента в профиле почвы можно объяснить высоким сродством с гумусовыми веществами почв [3, 4], именно такое распределение визуализировано на рис. 2. В средней части профиля в почве под лесной растительностью в разрезах 1402 и 1504 наблюдается аномально низкое содержание свинца, что может быть обусловлено особенностями гранулометрического и минералогического составов этих горизонтов, но выяснение этого вопроса требует дополнительных исследований.

Таблица 3. Распределение цинка и свинца в профилях почв естественного сложения (черноземы миграционно-сегрегационные)

Zn ОДК с учетом фона (кларка) 220 мг/кг [7] / Фоновое содержание 65 мг/кг [1]							
Черноземы миграционно-сегрегационные							
Горизонт / Разрез	1205	1305	1306	1402	1403	1502	1504
Ad	88,35	105,35	125,44	114,16	91,20	123,21	179,69
A	79,14	80,20	77,20	81,00	98,20	84,99	80,87
B1	80,19	78,96	77,39	84,05	72,51	84,31	78,32
B2	81,70	75,52	78,65	67,38	71,89	72,89	75,58
BC	75,78	72,37	79,11	74,38	63,80	73,81	75,10

1	2	3	4	5	6	7	8
Сса	76,22	75,74	71,92	74,14	66,20	71,87	68,95
Рв ОДК с учетом фона (кларка) 130 мг/кг [6, 7] / Фоновое содержание 20 мг/кг [1]							
Черноземы миграционно-сегрегационные							
Горизонт / Разрез	1205	1305	1306	1402	1403	1502	1504
Ad	39,41	25,78	40,75	30,63	21,21	47,07	50,19
A	26,23	28,61	19,39	22,32	22,65	22,84	21,22
B1	8,33	19,94	13,74	4,09	23,09	20,96	1,26
B2	9,76	20,45	15,93	4,06	11,08	14,46	12,32
BC	11,12	11,81	20,86	9,24	9,72	20,87	20,41
Сса	23,57	13,12	26,99	26,36	15,89	23,27	19,25



Рис. 1. Профильное распределение валовых форм цинка в почвах естественного сложения (черноземы миграционно-сегрегационные)



Рис. 2. Профильное распределение валовых форм свинца в почвах естественного сложения (черноземы миграционно-сегрегационные)

Таким образом, распределение ТМ по профилям почв естественного сложения проявляет стабильные закономерности, суммарный показатель загрязнения Z_c по исследованным ТМ находится в пределах 1,1-5,1, что по оценочной шкале опасности [8] относит эти почвы к категории допустимого уровня загрязнения ($Z_c < 16$).

Несколько иным образом проявляет себя профильное распределение элементов в почвах урбанизированных территорий при наличии в профиле

горизонтов урбик различного происхождения и мощности. Характер распределения никеля (табл. 4) в погребенных горизонтах почв, подвергшихся экранированию, сохранил тенденции профильного распределения естественных почв, включая диапазон значений, причем характер и мощность экранирующих горизонтов практически не оказывают существенного влияния на миграцию никеля по почвенной толще.

Таблица 4. Распределение никеля и меди в профилях антропогенно-преобразованных почв (урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных)

Ni ОДК с учетом фона (кларка) 80 мг/кг [7] / Фоновое содержание 45 мг/кг [1]							
Урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных							
1	2	3	4	5	6	7	8
Горизонт / Разрез	1201	1202	1204	1404	1405	1501	1503
UR1						50,79	
UR2						53,53	
UR3	44,91		49,09	55,14		51,45	
UR4	44,35	46,67	60,43	55,16	57,02	51,86	52,97
A погр.	45,94	45,30	61,57	58,54	63,76	59,90	59,78

1	2	3	4	5	6	7	8
B1	50,78	50,97	67,46	56,61	58,10	62,17	48,15
B2	46,85	43,97	59,50	50,57	55,10	65,65	48,71
BC	39,89	42,98	55,47	50,64	54,68	59,18	43,53
Cca	43,30	38,90	51,19	51,32	53,59	56,58	42,33
Cu ОДК с учетом фона (кларка) 132 мг/кг [7] / Фоновое содержание 30 мг/кг [1]							
Урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных							
Горизонт / Разрез	1201	1202	1204	1404	1405	1501	1503
UR1			25,84			51,11	
UR2			21,21	6,00		51,59	
UR3	43,26		49,32	45,22		51,67	49,16
UR4	43,87	44,26	54,02	43,48	52,72	45,82	55,97
A погр.	40,68	42,02	54,84	46,81	54,46	53,62	48,26
B1	44,03	45,39	57,65	51,49	54,71	56,36	51,65
B2	51,04	46,15	59,43	54,13	55,34	59,15	50,69
BC	43,91	46,97	60,35	54,04	54,78	55,61	47,90
Cca	48,99	46,44	58,69	53,31	57,26	58,53	56,08

В ряде случаев антропогенно-преобразованные почвы демонстрируют небольшое снижение концентрации меди по профилю (экранированные урбостратоземы – разрезы 1201 и 1202). Связано это может быть с тем, что данные разрезы заложены в зоне одноэтажной частной застройки, запечатывание почвенного покрова происходило в период минимальной транспортной и индустриальной нагрузки, что позволило почвам унаследовать низкий уровень содержания этого элемента. По валовым формам свинца и цинка лишь в трех образцах исследованных горизонтов урбик наблюдалось двукратное превышение уровня ОДК (табл. 5), эти горизонты имеют неестественное для почв сложение и

представляют собой скорее многокомпонентную смесь строительного мусора, угольного шлама, остатков дорожного покрытия и т.п. Являясь потенциальными источниками миграционного загрязнения для погребенных горизонтов, урбогоризонты, однако, проявляют некоторые барьерные свойства, и, несмотря на высокие концентрации тяжелых металлов в этих слоях, нижележащие горизонты демонстрируют лишь крайне незначительное превышение содержания по сравнению с почвами естественного сложения (рис. 3, 4). Имеющиеся в горизонтах урбик превышения величин ОДК по цинку и свинцу при суммарных расчетах нивелируются до величины суммарного коэффициента загрязнения $Z_c < 16$.

Таблица 5. Распределение цинка и свинца в профилях антропогенно-преобразованных почв (урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных)

Zn ОДК с учетом фона (кларка) 220 мг/кг [7] / Фоновое содержание 65 мг/кг [1]							
Урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных							
Горизонт / Разрез	1201	1202	1204	1404	1405	1501	1503
UR1			62,36			135,89	
UR2			0,30	20,43		156,11	
UR3	93,26		416,55	72,06		163,40	112,78
UR4	66,85	80,65	98,74	71,47	124,08	83,60	69,78
A погр.	64,37	62,45	79,43	94,55	85,14	74,85	77,06
B1	64,50	62,74	82,08	77,95	83,21	80,28	62,74
B2	64,51	62,48	77,09	75,05	76,46	82,31	62,63
BC	61,71	60,56	73,63	74,87	75,43	76,56	59,15
Cca	64,58	61,32	76,35	108,19	75,80	104,91	64,69
Pb ОДК с учетом фона (кларка) 130 мг/кг [7, 8] / Фоновое содержание 20 мг/кг [1]							
Урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных							
Горизонт / Разрез	1201	1202	1204	1404	1405	1501	1503
UR1			3,72			101,21	
UR2			0,34			171,09	
UR3	22,40		240,11	21,37		262,74	34,46
UR4	15,21	39,16	40,77	19,63	20,52	41,69	1,28
A погр.	31,71	31,52	34,07	6,53	12,56	31,43	4,26
B1	10,25	18,09	37,00	8,58	1,97	30,23	5,58
B2	8,85	4,66	20,37	9,72	18,42	27,95	14,22
BC	15,93	5,32	25,68	32,17	17,97	22,92	18,97
Cca	34,09	12,58	30,90	39,34	31,13	30,08	28,66



Рис. 3. Профильное распределение валовых форм цинка в антропогенно-преобразованных почвах (урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных)



Рис. 4. Профильное распределение валовых форм свинца в антропогенно-преобразованных почвах (урбостратоземы экранированные на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных)

Выводы: сравнение полученных данных по валовому содержанию ТМ с величинами ОДК и фоновыми концентрациями элементов показало, что валовое содержание никеля, меди и цинка превышает фон в 1,2-2 раза, профильное распределение свинца хоть и отличается колебанием, однако находится в рамках фонового диапазона. Превышения уровня ОДК или даже приближения к нему не зафиксировано ни в одном из образцов почв естественного сложения (черноземов миграционно-сегрегационных), и не отмечено в погребенных горизонтах экранированных почв, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии почвенного покрова. По степени загрязнения почвы Ростовской агломерации в целом относятся к слабозагрязненным, так как содержат загрязняющие элементы в количествах, не превышающих ПДК (ОДК), но выше уровня регионального фона [2]. По уровню неблагоприятного воздействия на здоровье населения почвы исследуемых территорий также относятся к категории с допустимым загрязнением, так как величины суммарного показателя загрязнения Z_c находятся в диапазоне 0,7-10,8. Профильное распределение изученных элементов определяется как особенностями самого металла, так и наличием, а также удаленностью от внешнего источника его поступления в почву.

Исследование выполнено в рамках проекта № 213.01-2015/002ВГ базовой части внутреннего гранта ЮФУ с использованием оборудования ЦКП «Биотехнология, биомедицина и экологический мониторинг» и ЦКП «Высокие технологии» Южного федерального университета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Акимцев, В.В. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области / В.В. Акимцев, А.В. Болдырева, С.Н. Голубев и др. // Микроэлементы и естественная радиоактивность: мат-лы 3-го межвуз. совещ. 6-9 декабря 1961 года. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1962. С. 38-41.
- Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
- Алексеев, В.А. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области / В.А. Алексеев, А.В. Суворин, В.А. Алексеев, А.Б. Бофанова. – М.: Логос, 2002. 312 с.
- Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М., 1957. 276 с.
- Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю.Н. Водяницкий, Д.В. Ладонин, А.Т. Савичев. – М., 2012. 305 с.
- ГН 2.1.7.2014-06 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве
- ГН 2.1.7.2511-09 Гигиенические нормативы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве
- МУ 2.1.7.730-99 Методические указания. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.
- Прокофьева, Т.В. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т.В. Прокофьева, М.И. Герасимова, О.С. Безуглова и др. // Почвоведение. 2014. № 10. С.1155-1164.
- ФР.1.31.2011.09286 (М-049-П/10) Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом.

**CONTENT AND PROFILE DISTRIBUTION OF HEAVY METALS TOTAL FORMS
IN SOILS OF URBAN TERRITORIES OF RUSSIA SOUTH**

© 2016 M.N. Dubinina, S.N. Gorbov, O.S. Bezuglova, A.K. Sherstnev

Southern Federal University, Rostov-on-Don

The paper studied the content of heavy metals total forms (nickel, zinc, copper, lead) in soils of different genesis urbanized territories on the example of Rostov agglomeration: chernozems migration and segregation and anthropogenically transformed soils (urbostratozems and urbistratificational chernozems).

The analysis of the results can allow to make the assessment of soil contamination level with heavy metals (HM), as well as to make preliminary assumptions about the nature of distribution profile of these elements below the horizon urbik of antropozems, the possible migration routes of toxicants from anthropogenic layers underlying native horizons and blocking effect on HM migration screening layer such as asphalt and concrete. The total pollution index indicates an acceptable level of risk. A comparison of the data with the available information about the background of investigated metals content provides a basis to clarify the role of urbanization in the formation of soil in general, and the accumulation of chemicals and elements, in particular.

Key words: urban soil, heavy metals, urbostratozem, black soil migration and segregation, sealing territory

*Marina Dubinina, Minor Research Fellow at the Biogeochemistry
Laboratory. E-mail: dubinina-marina@rambler.ru*

*Sergey Gorbov, Candidate of Biology, Chief of the Biogeochemistry
Laboratory. E-mail: gorbob@mail.ru*

*Olga Bezuglova, Doctor of Biology, Professor at the Department of
Soil Science and Land Resources Assessment. E-mail:
lola314@mail.ru*

*Aleksey Sherstnev, Assistant at the Department of Soil Science
and Land Resources Assessment. E-mail: aksherstnev@mail.ru*