

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ РОСТОВА-НА-ДОНУ

Горбов С.Н., Безуглова О.С., Алексикова А.С., Тагивердиев С.С., Дубинина М.Н., Шерстнев А.К.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, Россия, (344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1), e-mail: gorbow@mail.ru

Рассмотрены закономерности распределения тяжелых металлов и мышьяка в почвах и почвообразующей породе г. Ростова-на-Дону и прилегающих территорий. Показано, что концентрации большинства рассмотренных элементов в почвообразующей породе г. Ростова-на-Дону превышают фоновые значения, а по отдельным элементам (Zn, Cu, Co, Pb, Ni, V, Cr, As) и уровень ПДК. Это одна из причин повышенного содержания этих элементов в почвенном профиле. Другая – поступление из антропогенных источников, о чем свидетельствует накопление в поверхностных горизонтах таких элементов, как хром, никель, цинк, свинец и мышьяк. В экраноземах – почвах под условно непроницаемыми поверхностями наблюдается обособление насыпных горизонтов и погребенных черноземных почв по всем изученным показателям. Уровень загрязнения по всему профилю оценивается как допустимый (коэффициент суммарного загрязнения не превышает 8). Исследованным почвам свойственны следующие типы внутрипрофильного распределения тяжелых металлов: с биогенным и антропогенным поверхностным накоплением, с максимумом в карбонатном горизонте, с максимумом в породе.

Ключевые слова: урбанизированные территории, чернозем, урбостратозем, тяжелые металлы, мышьяк.

THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN SOILS OF ROSTOV-ON-DON

Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Aleksikova A.S., Tagiverdiev S.S., Dubinina M.N., Sherstnev A.K.

Southern Federal University, Academy of biology and biotechnology, 194/1, prosp. Stachki, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: gorbow@mail.ru

It has been shown that the concentrations of most elements in the parent rock of Rostov-on-Don exceed the background values, and those of some elements (Zn, Cu, Co, Pb, Ni, V, Cr, and As) exceed the MPC levels. This is one of the reasons for the increased contents of these elements in the soil profile. Another reason is the input from anthropogenic sources, as is proved by the accumulation of such elements as chromium, nickel, zinc, lead, and arsenic in the surface horizons. In the ecranozems the segregation of fill horizons and buried chernozemic soils in all studied parameters is observed. The level of contamination is estimated as permissible throughout the profile. So, the profile distribution of heavy metals in the soils is heterogeneous.

Keywords: urban areas, chernozem, urbostratozem, heavy metals, arsenic.

Прессинг металлов на биосферу, вызванный антропогенной деятельностью, приводит к возникновению техногенных геохимических аномалий, количество и размеры которых непрерывно увеличиваются. Фактически такими техногенными аномалиями становятся крупные промышленные центры, в которых почвы, растения, воды нередко содержат тяжелые металлы в концентрациях выше допустимых. Однако высокое загрязнение почв тяжелыми металлами носит преимущественно локальный характер, т.к. территория крупных городов, как правило, загрязнена неравномерно и на общем повышенном фоне четко выделяются техногенные аномалии выпадений, приуроченные к промышленным зонам, где

концентрации цинка, свинца, никеля, ртути, хрома и других металлов возрастают обычно еще в несколько раз. Вдоль автомобильных дорог наблюдается загрязнение свинцом.

Специфика загрязнения почв обусловлена тем, что промышленные источники аэрогенного загрязнения металлами локализованы в пространстве и создают высокие уровни загрязнения почв в ограниченных районах. Поступление металлов в почву вблизи источников выбросов происходит обычно в форме нерастворимых соединений. Валовое содержание отдельных металлов в таких зонах может превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в несколько раз. В зависимости от высоты и дисперсного состава выбросов в локальной зоне загрязнения выпадает 10–15 % количества металлов, поступивших в атмосферу. Конфигурация изолиний содержания металлов в почве вокруг источника выбросов в основном соответствует климатической розе ветров. На территории, прилегающей к Новочеркасской ГРЭС, по мере удаления от источника загрязнения концентрации металлов постепенно уменьшаются и только на расстоянии 20 км приближаются к фоновым (Минкина и др., 2013).

Содержание металлов в почвах Ростовской области колеблется в широких пределах и определяется двумя основными факторами. Первый из них – естественный фон, обусловленный геохимическими аспектами. Второй – антропогенное загрязнение почв тяжелыми металлами из различных источников.

В Ростове-на-Дону, согласно данным С.Н. Горбова и др. (2003), имели место почвенные аномалии цинка, свинца, меди, ванадия, кадмия, ртути и других металлов, при этом самые высокие концентрации были характерны для хрома, меди, свинца и цинка. Аномалии цинка, по данным на конец 80-х годов XX столетия, захватывали весь старый центр города (до 4-х и более ПДК). Особое место в загрязнении города цинком принадлежит заводу лакокрасочных изделий «Эмпилс». Согласно нашим данным за 2003 год верхний десятисантиметровый слой почвы, отобранной на клумбе около завода, вокруг которой расположена оживленная автомагистраль, содержал по подвижным формам цинка – 1133 мг/кг, свинца – 109 мг/кг.

Существенную лепту в загрязнение почв тяжелыми металлами вносит транспорт. Основные очаги загрязнения почвы свинцом в городе Ростове-на-Дону – крупные автомагистрали, загруженность которых превышает 200 машин в час. Накопление этого металла превышает местами 4 ПДК.

Объекты и методы исследования

Изучали накопление и распределение по профилю городских почв тяжелых металлов, привносимых в почвы в основном с выхлопами автомобильного транспорта и за счет деятельности промышленных предприятий. Разрезы закладывали в разных частях

Ростовской агломерации: как в самом городе, так и во многом урбанизированной сельскохозяйственной округе. Объекты: чернозем обыкновенный карбонатный под степной растительностью (залежь) и под деревьями (лесополоса), урбостратоземы, экраноземы – перекрытые асфальтом почвы. Определение тяжелых металлов проводилось рентгенфлуоресцентным методом на спектроскане МАКС-GV.

Оценку степени загрязнения почвы тяжелыми металлами проводили сравнением их содержания с ПДК (коэффициент опасности), или по показателю суммарного загрязнения почв $Z_c = \sum K_c - (n-1)$, где K_c – коэффициент концентрации, представляющий собой отношение концентрации металла в почве к фоновому значению, n – количество элементов, содержание которых превышает фоновые значения.

Результаты и обсуждение

Результаты, полученные для характеристики почв Ростовской агломерации по микроэлементному составу, были сгруппированы по почвам разного генезиса, определяемого в данном случае способом землепользования.

Прежде всего, следует отметить, что содержание всех рассматриваемых элементов в почвах залежей (табл.1) превышает фоновые значения по всему профилю, включая материнскую породу. Это может говорить о кумулятивном эффекте накопления тяжелых металлов и передвижении их по профилю. Но возможно, что данный факт указывает на специфику лессовидных суглинков.

Действительно, как показали наши исследования, материнские породы, представленные лессовидными суглинками, на территории Ростовской агломерации характеризуются повышенным содержанием исследуемых химических элементов, превышающим фоновые значения, а по некоторым элементам (хром, медь, мышьяк) даже значения ПДК (табл. 2).

Таблица 1

Микроэлементный состав чернозема обыкновенного карбонатного залежных и целинных массивов Ростовской агломерации

Горизонт	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)									Zc
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb	
<i>Фон</i> ****	67	100	8	45	30	65	8	300*****	20	Zc
<i>ПДК</i>	150	100*	50*	50	55	100	10**	600***	32	
Р. 1205. Чернозем обыкновенный карбонатный (залежь)										
Апах	107,1	109,8	18,3	62,8	53,9	86,6	12,3	127,4	37,4	5,9
А1	107,8	107,8	20,3	62,7	56,5	81,0	10,7	140,3	29,1	5,5
В1	109,6	114,5	22,3	59,6	59,2	81,1	6,8	160,5	9,0	5,3
В2	105,9	98,9	22,6	60,2	62,8	82,9	7,0	186,6	9,4	5,4
ВС	102,3	95,6	20,5	53,3	57,5	80,6	8,9	217,9	18,4	5,1

Сса	104,1	98,3	20,9	52,7	58,9	77,9	10,1	259,2	23,7	5,8
Р.1403. Чернозем обыкновенный карбонатный (залежь)										
Ad	92,3	118,5	13,4	55,8	46,2	91,2	9,3	117,8	21,2	3,6
A	98,3	122,9	19,1	58,1	50,1	98,2	9,5	122,0	22,6	4,9
B1	98,9	103,4	20,7	57,6	53,5	72,5	9,5	125,6	23,1	4,6
B2	93,8	106,0	19,9	52,4	52,8	71,9	7,2	144,6	11,1	4,0
BC	88,3	122,4	20,7	46,8	53,8	63,8	7,0	179,8	9,7	4,2
Сса	87,5	94,7	20,9	46,7	54,9	66,2	8,4	210,3	15,9	4,4
Р. 1406. Чернозем обыкновенный карбонатный (целина)										
Ad	96,8	113,0	17,2	65,0	53,2	92,0	10,8	121,4	28,2	5,1
A	101,1	132,0	22,7	69,8	60,0	83,7	10,8	133,2	28,1	6,3
AB	98,7	106,5	21,0	62,3	59,9	83,5	6,1	176,7	4,5	5,1
Вса	92,9	97,3	21,3	56,2	61,2	81,0	9,8	227,3	22,9	5,6
Сса	94,0	105,8	20,9	57,0	59,9	78,7	10,8	234,4	27,4	5,9

*В России нормативы ПДК хрома и кобальта в почвах не разработаны, здесь приведены ПДК для почв приусадебных участков в Германии (Eikmann, Kloke, 1991).

** Для мышьяка ПДК = фон+2

***Нормативы ПДК стронция в почвах не установлены; 600 мг/кг принято считать верхней границей нормального содержания валового стронция в почвах (Ковальский, 1974).

**** В качестве фоновых значений использованы данные, приведенные в работе Акимцева и др. (1962).

***** Кларк валового стронция в почвах.

Можно было бы предположить, что так глубоко, вплоть до материнских пород, сказывается влияние крупного промышленного центра. Однако это предположение опровергают данные по разрезу 1406, заложенному на целине в заказнике «Персиановская степь» в достаточном удалении от загрязняющих предприятий (табл. 1). Имеющиеся в литературе данные также свидетельствуют о богатстве лессовидных суглинков и глин микроэлементами (Акимцев и др., 1962).

Таблица 2

Микроэлементный состав лессовидных суглинков на территории Ростовской агломерации

Показатель	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)							
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Фон ****	67	100	8	45	30	65	8	20
ПДК	150	100*	50*	50	55	100	10**	32
Мср	96,3	104,0	19,3	52,0	56,3	72,7	10,1	29,7
σ	0,08	0,06	0,10	0,08	0,05	0,07	0,12	0,25
m	7,8	6,5	2,0	4,3	3,0	5,1	1,3	6,4

Несмотря на то, что залежные участки земли в настоящее время не используются, отмечены превышения ПДК по хрому, никелю, мышьяку, в отдельных горизонтах по меди, а в разрезе 1205, заложенном на залежи в 500 метрах от трассы М4 «Дон», обнаружено в поверхностном слое превышение ПДК и по свинцу. Суммарное загрязнение тем не менее не превышает 8, что позволяет отнести почвы этой группы к допустимой категории загрязнения.

В таблице 3 приведены результаты микроэлементного состава в почвах под лесными массивами (лесополосы и лесопарки в городе Ростове-на-Дону).

Таблица 3

Микроэлементный состав чернозема обыкновенного карбонатного в лесных массивах
Ростова-на-Дону

Горизонт	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)									Zc
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb	
<i>Фон</i> ****	67	100	8	45	30	65	8	300	20	
<i>ПДК</i>	150	100	50	50	55	100	10	600	32	
Разрез 1203. Чернозем обыкновенный вторично-выщелоченный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке										
Ad	100,0	113,6	18,0	64,8	53,6	112,8	11,8	134,6	34,1	6,0
A1	104,6	113,6	22,1	67,9	58,9	93,0	9,8	125,1	24,0	5,8
B1	113,8	121,3	28,7	71,9	66,0	92,9	10,5	129,5	28,8	7,5
B2	115,1	119,5	27,8	71,4	65,0	90,8	9,0	130,5	20,9	6,7
BC	100,0	99,1	28,0	59,7	65,8	84,5	10,6	198,0	27,4	6,9
Разрез 1305. Чернозем обыкновенный карбонатный среднесмытый маломощный среднесуглинистый на лессовидном суглинке										
Ad	93,0	107,2	10,6	56,8	45,8	105,4	10,2	116,6	25,8	3,8
A1	104,8	124,2	18,4	61,2	53,1	80,2	10,7	116,5	28,6	5,2
B1	105,4	116,3	17,8	63,3	54,4	79,0	9,1	114,8	19,9	4,5
B2	100,5	121,7	18,1	60,4	52,8	75,5	9,1	115,8	20,4	4,4
BC	99,1	102,6	19,9	55,6	55,0	72,4	7,4	153,9	11,8	4,3
C	91,6	110,3	21,2	51,6	58,9	75,7	7,9	206,1	13,1	4,9
Разрез 1306. Чернозем вторично-выщелоченный мощный среднесуглинистый на лессовидном суглинке										
Ad	100,03	105,1	13,75	57,2	47,7	125,4	12,9	119,9	40,8	5,7
A	104,22	119,2	15,21	60,3	51,8	76,6	9,4	119,3	21,8	4,2
A*	106,02	113,9	16,58	63,8	57,4	77,8	8,3	121,8	16,9	4,4
B1	107,2	160,7	17,1	61,3	55,6	77,4	7,6	125,9	13,7	4,8
B2	107,2	118,9	19,9	63,9	56,9	78,6	8,1	125,6	15,9	4,8
BC	103,9	100,6	21,4	58,4	60,8	79,1	9,2	170,9	20,9	5,2
Cca	98,6	104,4	19,7	54,5	57,6	71,9	10,5	185,2	27,0	5,2
Разрез 1402. Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тучный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке										

Ad	91,6	102,6	8,0	54,4	41,7	114,2	11,0	121,5	30,6	3,7
A	99,9	107,8	15,6	58,2	49,2	86,5	9,5	118,5	22,4	4,1
A	99,3	109,5	15,6	58,9	49,9	75,8	9,4	128,6	22,3	4,0
B1	95,0	95,9	16,9	54,1	53,3	84,0	5,8	159,0	4,1	3,9
B2	97,5	101,8	15,0	50,5	52,9	67,4	5,9	177,2	4,1	3,5
BC	97,5	88,2	17,6	52,0	53,1	74,4	7,1	198,4	9,2	4,1
Cca	97,2	97,2	17,0	50,7	53,3	74,1	10,6	255,5	26,4	5,1

Они свидетельствуют, что картины накопления и распределения по профилю микроэлементов в черноземе обыкновенном карбонатном под травянистыми и деревянистыми ценозами примерно одинаковы. Следует отметить, что в горизонте Ad под деревьями наблюдается загрязнение цинком и свинцом, что, вероятно, обусловлено попаданием в почву этих элементов с опадом, в котором они накапливаются в процессе вегетации за счет атмосферных выпадений. Суммарный коэффициент загрязнения в этих почвах несколько выше, чем в почвах залежных территорий, но тоже не превышает 8, что позволяет и в данном случае говорить о допустимом уровне загрязнения.

В таблицу 4 сгруппированы результаты определения содержания тяжелых металлов и мышьяка в урбостратоземах – типичных почвах городских территорий, характеризующихся наличием нескольких горизонтов UR – синлитогенного диагностического горизонта, образующегося за счет привнесения различных субстратов на дневную поверхность в условиях городских и сельских поселений.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в урбостратоземах Ростовской агломерации

Горизонт	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)									Zc
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb	
<i>Фон****</i>	67	100	8	45	30	65	8	300	20	Zc
<i>ПДК</i>	150	100	50	50	55	100	8	600	32	
Разрез 1301. Урбостратозем мощный на погребенной лугово-черноземной почве										
UR1	100,3	110,2	18,3	60,1	53,0	96,0	-	152,4	23,8	4,7
UR2	99,0	112,3	16,0	60,0	50,3	92,0	9,8	154,3	22,7	4,5
UR3	101,9	122,3	21,1	59,2	64,4	86,0	-	171,5	32,7	6,0
UR4	96,4	110,1	18,1	54,5	49,2	81,9	-	166,6	31,8	4,7
Апогр.	101,8	106,4	23,0	61,0	52,3	89,0	9,9	135,2	23,4	5,3
Впогр.	111,4	132,2	27,9	73,7	62,2	98,6	-	136,0	42,0	7,8
Разрез 1302. Урбостратозем экранированный мощный на лессовидном суглинке										
UR1	91,8	102,2	17,2	47,9	54,0	143,9	11,1	247,0	30,6	6,3
UR1	99,1	109,4	17,8	49,6	51,8	95,4	9,2	217,1	19,4	4,8
UR2	93,8	93,6	16,6	48,1	54,2	181,1	16,2	213,9	57,5	8,6
UR3	97,9	107,9	14,6	50,8	52,2	211,2	14,7	193,8	50,6	8,2

UR4	99,0	94,4	16,7	50,1	53,4	105,0	10,2	195,8	25,8	5,0
С	107,3	115,8	18,1	51,5	54,3	68,2	10,0	212,4	24,1	5,0
Разрез 1303. Урбостратозем экранированный мощный на лессовидном суглинке										
UR1	92,2	105,8	14,1	48,3	48,0	108,7	11,7	181,9	33,6	5,0
UR2	97,6	117,6	14,8	54,0	49,6	90,5	10,5	166,0	27,6	4,6
UR3	102,6	123,0	17,4	58,9	55,2	80,3	7,1	153,3	10,6	4,4
BC	89,3	94,5	13,0	49,9	49,65	64,8	9,6	183,6	22,1	3,3
Сса	96,3	101,8	17,5	53,8	56,4	71,5	11,4	210,8	30,6	5,3
Разрез 1304. Урбостратозем на погребенном черноземе обыкновенном карбонатном										
UR1	66,2	96,4	7,8	34,5	38,4	194,7	17,8	195,8	66,6	6,2
UR2	94,4	90,8	17,7	49,9	51,1	76,6	7,8	174,8	15,0	2,9
UR3	61,3	72,1	7,1	26,9	22,9	83,6	6,3	198,8	6,4	0,7
UR4	91,8	102,1	10,5	40,6	42,5	74,8	8,4	162,5	16,0	2,5
Апогр.	98,0	117,1	10,9	50,0	45,0	62,4	7,4	132,4	12,1	2,6

В этой группе почв отмечается несколько большая пестрота по содержанию химических элементов в разных слоях почвенных профилей, что обусловлено антропогенным характером их формирования. В целом же ситуация не намного отличается от почв естественного генезиса. И по загрязнению тяжелыми металлами урбостратоземы оцениваются примерно также: показатель суммарного загрязнения варьирует в пределах ниже 8, и только в одном разрезе (1302) в средней части профиля обнаружены горизонты, уровень загрязнения которых превышает допустимый ($Z_c=8,2-8,6$, что говорит о слабой степени загрязнения).

В таблице 5 приведены данные по урбостратоземам, находящимся под слоем экранирующего материала (асфальта). Это обстоятельство оказывает в данном случае защитное действие: именно в этой группе почв отмечен самый низкий уровень содержания тяжелых металлов и мышьяка. Причем наибольшие значения показателя суммарного загрязнения приурочены или к самым поверхностным слоям, или к нижней части профиля – погребенным горизонтам черноземов, накопление металлов в которых происходило еще до погребения почвы под слоем насыпных горизонтов. Ярким примером такого положения является разрез 1204, в котором в горизонте $A_{гг}$ обнаружено явное накопление цинка, так как его содержание здесь эквивалентно 7,6 ОДК (6,4 фона). Коэффициент накопления, рассчитанный как отношение концентрации элемента в горизонте к его концентрации в породе, составил 5,3. Следовательно, здесь обнаружены последствия загрязнения поверхностного горизонта почвы, имевшие место еще до укладки асфальта. Источник загрязнения – химический завод по производству лакокрасочных покрытий, в частности, цинковых белил, находившийся до недавних пор примерно в километре от места закладки разреза.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в урбостратоземах экранированных Ростовской агломерации

Горизонт	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)									Zc
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb	
Фон***	67	100	8	45	30	65	8	300****	20	Zc
ПДК	150	100*	50*	50	55	100	10**	600***	32	
Р. 1201. Урбостратозем экранированный на черноземе погребенном карбонатном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке										
UR1	91,7	99,3	15,2	43,7	47,3	66,5	6,0	171,7	4,9	3,1
UR2	89,7	111,1	15,0	42,4	42,7	66,5	6,6	166,9	6,9	2,9
Апогр	93,0	116,5	12,1	45,2	42,6	62,8	6,2	115,4	6,3	2,5
B1	91,4	107,2	14,1	48,3	46,9	54,8	4,7	112,8	0,3	2,8
B2	87,6	109,1	9,6	39,6	40,1	53,4	5,1	143,8	0,3	2,0
BC	81,9	99,2	8,4	36,8	43,9	50,4	6,2	171,2	6,0	2,0
Cca	85,1	88,6	11,5	35,5	48,6	58,4	8,1	200,6	14,5	2,8
C	92,3	100,3	15,6	42,8	50,7	63,1	9,6	231,6	22,1	4,0
Р. 1202. Урбостратозем экранированный мощный на погребенном черноземе обыкновенном карбонатном										
UR	77,8	88,3	8,1	34,3	32,2	67,0	8,0	137,6	15,2	1,3
Апогр	96,1	114,3	12,6	43,4	41,4	60,4	6,6	108,6	8,2	2,5
B1	101,6	100,5	19,8	51,2	50,5	58,8	7,8	133,3	14,4	3,8
Р. 1204. Урбостратозем экранированный на черноземе погребенном карбонатном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке										
UR1	85,4	106,4	13,2	45,2	48,7	103,0	11,1	203,7	31,8	4,6
UR2	14,2	67,4	2,1	5,6	19,6	32,1	Сл.	80,2	Сл.	0,0
Аур	72,6	104,1	13,9	55,4	49,2	325,4	24,9	238,1	103,4	13,7
A1'	106,1	120,3	17,2	59,2	54,1	85,4	12,5	134,0	37,9	5,8
A1''	110,8	120,4	23,5	64,0	60,8	83,0	11,1	134,5	30,2	6,4
B1	108,9	125,4	17,8	62,1	52,9	77,6	10,7	120,4	28,3	5,2
B2	109,0	116,8	23,9	59,7	60,0	79,6	8,8	150,1	19,1	5,5
BC	101,8	95,4	20,1	55,3	60,2	76,0	9,5	175,2	21,9	5,0
Cca	98,4	90,3	20,5	50,4	58,7	75,8	10,8	220,7	28,3	5,6
C	104,6	111,8	21,7	57,8	59,6	77,0	12,5	229,7	36,3	6,9
Р. 1401. Урби-стратифицированный чернозем (урбочернозем) экранированный карбонатный слабогумусированный мощный глинистый на лессовидном суглинке										
UR1	83,4	112,7	13,1	40,8	39,1	100,4	8,6	156,8	17,7	9,0
UR2	86,2	97,5	11,9	43,4	36,8	89,2	7,3	121,8	11,6	5,4
A	89,5	94,8	14,4	43,9	42,2	52,9	9,0	117,6	21,3	6,7
B1	79,7	86,6	11,3	47,2	48,0	57,6	5,3	155,5	0,8	6,4
B2	87,8	97,4	16,4	43,0	55,2	58,7	6,7	203,2	7,5	6,6
Cca	87,5	94,7	20,9	46,7	54,9	66,2	8,4	210,3	15,9	9,0
C	82,3	97,7	12,8	37,1	42,5	52,3	9,2	228,3	20,2	8,0
D	38,3	59,2	8,2	6,7	12,5	21,5	1,0	80,6	-	1,0

Р.1404. Урбостратозем экранированный химически загрязненный (хемозем) на черноземе погребенном скальпированном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке										
UR1	26,2	57,4	6,1	-	6,0	20,4	3,91	52,8	-	0,0
UR2	97,0	101,1	12,2	55,1	45,2	72,1	9,35	108,3	21,4	3,1
UR3	91,4	112,2	8,1	55,2	43,5	71,5	8,86	96,5	19,6	2,4
B1	97,0	118,1	18,4	58,5	46,8	94,6	6,4	113,5	6,5	4,2
B2	101,8	97,1	17,0	56,6	51,5	78,0	6,7	129,0	8,6	3,8
BC	95,9	93,5	17,8	50,6	54,1	75,0	7,2	181,3	9,7	4,0
Cca	98,6	114,9	20,8	50,6	54,0	74,9	11,5	203,6	32,2	5,8
C	102,4	106,6	20,6	51,3	53,3	108,2	13,0	217,6	39,3	6,9
Р.1405. Урбостратозем экранированный на черноземе погребенном скальпированном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке										
UR	97,3	113,4	19,4	57,0	52,7	124,1	9,2	172,6	20,5	5,4
A	103,4	131,9	19,3	63,8	54,5	85,1	7,5	135,3	12,6	4,8
B1	96,9	118,3	18,4	58,1	54,7	83,2	5,6	161,2	2,0	4,5
B2	93,6	98,4	20,0	55,1	55,3	76,5	8,8	189,4	18,4	4,6
BC	96,6	120,2	18,4	54,7	54,8	75,4	8,8	201,2	18,0	4,7
Cca	94,4	114,5	21,0	53,6	57,3	75,8	-	238,7	31,1	5,7
C	94,9	104,0	19,0	52,5	54,8	75,6	-	235,8	25,2	4,9

Расчет коэффициента накопления (отношения концентрации элемента в поверхностном горизонте к его содержанию в породе) дал интересную информацию, в таблице 6 приведены средние значения коэффициентов по всем разрезам соответствующей группы почв.

Таблица 6

Коэффициенты накопления тяжелых металлов и мышьяка в поверхностном слое почв Ростовской агломерации

Химический элемент	Чернозем обыкновенный карбонатный		Урбостратоземы	Урбостратоземы экранированные
	Залежные участки	Древесные насаждения		
V	1,04	0,99	0,84	0,96
Cr	1,14	1,01	0,91	1,03
Co	0,78	0,56	0,78	0,84
Ni	1,17	1,07	0,81	1,07
Cu	0,90	0,80	0,88	0,90
Zn	1,22	1,56	2,24	1,49
As	1,11	1,19	1,51	0,79
Pb	1,31	1,55	2,62	0,78

Коэффициенты накопления, превышающие 1, свидетельствуют о накоплении элемента в поверхностном слое, значения меньше единицы позволяют сделать вывод о выносе элемента в нижележащую толщу. Сравнение между собой черноземов под разным растительным

покровом показывает, что древесная растительность, способствующая сохранению влаги в почве и более глубокому промачиванию почвенной толщи, способствует снижению накопления в поверхностном слое таких элементов, как ванадий, хром, кобальт, никель и медь. Еще ниже коэффициенты накопления по этим металлам в урбостратоземах, что, вероятно, обусловлено более рыхлым сложением насыпных слоев, наличием песчаных прослоек, способствующих промачиванию почвы и выносу соединений металлов в нижележащую толщу вплоть до материнской породы.

В то же время под пологом леса наблюдается рост накопления в поверхностном слое цинка, мышьяка и свинца, увеличивается накопление и в урбостратоземах.

В урбостратоземах, экранированных плотными покрытиями, картина пестрая, что, вероятно, связано с разными сроками запечатывания почвенной толщи асфальтом.

Информацию о миграционных процессах можно получить, анализируя распределение элементов по профилю почв. В этом отношении более информативны почвы естественного генезиса. Распределение ванадия по профилю чернозема характеризуется исключительной однородностью, практически нет разницы между его содержанием в породе и гумусовых горизонтах, что является свидетельством отсутствия поступления ванадия из антропогенных источников. В урбослоях варьирование несколько выше, но в целом колебания незначительны. Исключения составляют песчаные насыпные слои (слои UR2 в разрезе 1204, и UR1 в разрезе 1405), что согласуется с литературными данными, указывающими на обедненность песчаных почв ванадием (Каталымов, 1965).

Распределение хрома в профиле черноземов свидетельствует о наличии антропогенной составляющей в его поступлении в почвы: верхние почвенные горизонты по сравнению с породой практически во всех разрезах содержат этого элемента больше, чем порода. Коэффициент накопления в степных ценозах составил 1,14, под пологом деревьев – 1,01.

Профильное распределение кобальта характеризуется относительным накоплением этого металла в горизонтах B₂, BC или C_{ca}, что доказывает способность кобальта к миграции внутри профиля с образованием максимума на уровне карбонатного барьера. Тенденцию к накоплению в средней части профиля проявляет и никель. Вероятно, растворимые формы этих металлов, главным образом комплексные ионы с аминокислотами, гуминовыми кислотами и фульвокислотами, передвигаясь по профилю, в средней его части встречаются с высокодисперсными формами карбоната кальция и глинистых минералов и, сорбируясь на них, закрепляются. Однако если коэффициент накопления по кобальту ниже единицы (0,78 на залежи и 0,56 – под деревьями), то никель обнаруживает явное накопление: величина коэффициента накопления равна 1,17 и 1,07 соответственно.

Медь является относительно малоподвижным элементом в почвах, её ионы легко осаждаются сульфидами, карбонатами и гидроксидами, связываются гуминовыми кислотами. В силу этого варьирование содержания меди по профилю почв невелико. Относительное увеличение отмечается в средней части профиля, где в черноземах идут процессы слабого интэнсивного оглинивания. Это, возможно, способствует сорбции меди на новообразованном глинистом материале.

Равномерно убывающий характер накопления цинка в разрезах, заложенных в лесополосе и на залежи, также свидетельствует об антропогенном происхождении цинка поверхностных горизонтов, так как эти разрезы были заложены в восточной части города, где и базировался химический завод более 80 лет. Необходимо отметить, что миграция цинка в нижележащие горизонты ограничена сорбционным концентрированием элемента путем комплексообразования с гуминовыми кислотами. Это в свою очередь может способствовать обогащению поверхностных аккумулятивных горизонтов этим элементом. Именно поэтому в разрезах 1201 и 1202, заложенных в микрорайоне «Западный», содержание цинка в погребенных горизонтах находится на уровне фона, и только самый поверхностный горизонт урбик характеризуется некоторым накоплением цинка, которое, скорее всего, носит актуальный характер, так как в начале XXI столетия химзавод был перебазирован в Западную промзону. В целом накопление цинка в поверхностном горизонте оценивается величинами коэффициента 1,22 под травами и 1,56 – под деревьями.

Высокое содержание мышьяка, превышающее фоновые значения, в почвах Ростовской агломерации обнаружено во всех заложенных разрезах независимо от формы землепользования. Более того, поверхностные горизонты характеризуются превышением значений ПДК, что свидетельствует об актуальном характере его накопления. Загрязнение почв в пределах Ростовской агломерации этим элементом, вероятно, связано с функционированием на территории города ряда предприятий, в том числе по производству красителей и пигментов, переработке кожевенного сырья. Распределение по профилю характеризуется наличием двух максимумов. И если первый, приуроченный к поверхностным горизонтам, можно объяснить поступлением с атмосферными выпадениями, то второй, совпадающий с горизонтам массового скопления карбонатных новообразований, свидетельствует о хемосорбции мышьяка с карбонатами.

Оценка ситуации со стронцием весьма затруднительна из-за недостатка информации: нормативы ПДК стронция в почвах в России не установлены, значения фонового содержания для Ростовской области в литературе отсутствуют. Поэтому за исходное был принят кларк этого элемента в почвах (Ковальский, 1974). Сравнение с ним показало, что в почвах Ростовской агломерации содержание стронция значительно ниже, причем самые высокие

количества обнаружены в породе, что можно объяснить как особенностями его геохимического поведения, так и концентрированием стронция в карбонатных породах (Перельман, 1972).

В содержании свинца независимо от типа почвы наблюдается два максимума в профиле. Это поверхностные горизонты, накопление в которых связано с загрязнением городской атмосферы выхлопными газами автомобилей. Коэффициенты накопления по свинцу самые высокие как под травами (1,31), так и под деревьями (1,55). Размеры накопления, подчас превышающие ПДК, а также характер почвенного покрова или полное его отсутствие свидетельствуют об антропогенном происхождении данного явления. Наиболее загрязненным оказался горизонт $A_{уг}$, погребенный под толщей урбогоризонтов и асфальта (более полуметра) почвы в разрезе 1204. Коэффициент опасности, рассчитываемый как превышение содержания элемента уровня ПДК, равен в этом горизонте 3,2.

Второй максимум в профиле приурочен к горизонту C_{Ca} или материнской породе, что обусловлено связыванием свинца карбонатами. Отсюда можно сделать вывод, что свинец передвигается по почвенному профилю. В почвах путем взаимообусловленных равновесий происходит перераспределение различных форм нахождения металла. Растворимые формы свинца, поступающие на поверхность почвы в процессе циклической миграции, частично закрепляются на поверхности дисперсных частиц, входят в состав устойчивых гумусовых соединений. Это обусловлено тем, что свинец способен образовывать комплексно-гетерополярные соли с гумусовыми кислотами, в которых металл входит в состав анионной части молекулы или, реагируя одновременно с двумя группами гумусовых кислот, образует комплексные соединения хелатного типа. Степень закомплексованности свинца может достигать 80 % (Хаданович, Свириденко, 2005). Более прочные многоядерные комплексы свинец образует с фульвокислотами, являющимися составной частью гумусовых веществ почв. Последние способны передвигаться с током фильтрующейся влаги вниз по почвенному профилю и, наталкиваясь на щелочной карбонатный барьер, оседать в виде труднорастворимой соли карбоната свинца или гидроксида свинца, легко образующегося в условиях щелочной среды (Орлов, Садовникова, Суханова, 2005).

Заключение

Концентрации тяжелых металлов в почвообразующей породе г. Ростов-на-Дону превышают фоновые значения, а по отдельным элементам они даже выше уровня ПДК: Zn – $72,7 \pm 5,1$; Cu – $56,3 \pm 3,0$; Co – $19,3 \pm 2,0$; Pb – $29,7 \pm 6,4$; Ni – $52,0 \pm 4,3$; V – $96,3 \pm 7,8$; Cr – $104,0 \pm 6,5$ мг/кг. Такая же картина и по мышьяку – $10,1 \pm 1,3$. Это одна из причин повышенного содержания этих элементов в почвенном профиле. Другая – поступление из антропогенных источников, о чем свидетельствует накопление в поверхностных горизонтах

таких элементов, как хром, никель, цинк, свинец и мышьяк. Коэффициенты накопления, рассчитанные как отношение концентраций металлов в поверхностном горизонте к содержанию в породе, варьируют от 1,55–1,31 для свинца, до 1,01–1,14 для хрома.

В экраноземах по профилю наблюдается обособление насыпных горизонтов и погребенных черноземных почв по всем изученным показателям. Уровень загрязнения по всему профилю оценивается как допустимый (коэффициент суммарного загрязнения не превышает 8). За исключением одного разреза, заложенного в непосредственной близости от бывшего расположения завода лакокрасочных изделий.

Внутрипрофильное распределение тяжелых металлов в почвах характеризуется неоднородностью. Исследованным почвам свойственны следующие типы внутрипрофильного распределения тяжелых металлов: с биогенным и антропогенным поверхностным накоплением, с максимумом в карбонатном горизонте, с максимумом в породе.

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

1. Акимцев В.В., Болдырева А.В., Голубев С.Н. и др. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области // Микроэлементы и естественная радиоактивность. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1962. – С. 37-42.
2. Горбов С.Н., Приваленко В.В., Безуглова О.С. Химическое загрязнение городских почв тяжелыми металлами и его оценка // Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Т. 1. Экология города Ростова-на-Дону. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2003. – С. 241-256.
3. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. – М.: Изд-во «Химия», 1965. – 332 с.
4. Кизильштейн Л.Я., Соборникова И.Г. Медь, цинк, свинец в почвах и растениях полыни города Ростова-на-Дону и его окрестностей // Изв.СКНЦВШ. Естественные науки. – 1990. – № 3.
5. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
6. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Бурачевская М.В., Антоненко Е.М. Фракционно-групповой состав Mn, Cr, Ni и Cd в почвах техногенных ландшафтов (район Новочеркасской ГРЭС) // Почвоведение. – 2013. – № 4. – С. 414-425.

7. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв: учебник. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.
8. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
9. Хаданович А.В., Свириденко В.Г. Экологическая химия. Практическое руководство по изучению темы «Природные сорбенты, свойства и использование». – Гомель, 2005. – 55 с.
10. Eikmann Th., Kloke A. Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoff in Boden // UDLUFA-Mitteilungen. 1991. Н. 1. P. 19-26.

Рецензенты:

Сазыкина М.А., д.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией экологии и молекулярной биологии микроорганизмов ЮФУ, г. Ростов-на-Дону;

Казеев К.Ш., д.г.н., профессор кафедры экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.