

УДК 631.416.9

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОЗЕМАХ НЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

© 2005 г. Х.А. Джувеликян

Воронежский государственный университет

Представлены данные о тяжелых металлах (ТМ – подвижная форма) в черноземах Воронежской области в условиях различного сельскохозяйственного использования. Установлено, что в условиях невысокой техногенной нагрузки на ландшафты, содержание ТМ в черноземах (верхние горизонты) не превышает допустимые нормы и фон, а в материнской породе их концентрация несколько выше, чем в гумусовом горизонте и может рассматриваться как региональный фон. Установлена обратная корреляционная связь между содержанием гумуса и количеством растворимых форм ТМ.

Общеизвестно, что основными источниками поступления ТМ в почвы, кроме их естественного (природного) происхождения, обычно являются карьеры, шахты, предприятия, автотранспорт, различные виды удобрений и ядохимикатов. Как правило, техногенное воздействие на почвенно-растительный покров, водоемы и атмосферный воздух проявляется на глобальном и локальном уровне. Загрязнение почв ТМ особенно четко проявляется на локальном уровне вблизи конкретного объекта загрязнения [11]. Многочисленные исследования [2, 7, 10] свидетельствуют, что локальное воздействие техногенеза на почвенно-растительный покров проявляется в радиусе от 1-2 км до нескольких десятков километров от источника загрязнения. Уровень нагрузки техногенеза на почвы зависит от специфики работы предприятия, высоты трубы выброса вредных ингредиентов, розы ветров, климатических условий региона и т.д. Согласно расчетам М.Е. Берлянда [1] максимальное количество вредных выбросов (в основном частицы более 10 мк) оседают на поверхности агроландшафта на расстоянии 10-15 высот трубы выброса источника загрязнения. При отсутствии попадания на почвенный покров вредных ингредиентов от предприятий и автотранспорта, уровень сельскохозяйственного техногенного фона формируется в зависимости от степени химизации и использования минеральных и органических удобрений. Значительная часть ТМ (растворимая форма) присутствует в удобрениях [12]. Исследования проводимые на дерново-подзолистых глинистых почвах в течении 15 лет [5] по влиянию длительного применения различных форм минеральных и органических удобрений на накопление в этих почвах тяжелых металлов не создали опасность загрязнения

почв. Внесение даже максимальных доз органических и минеральных удобрений не оказывало влияние на подвижность Pb и Cd, но способствовало мобилизации подвижного Zn, что указывает на более высокую способность к миграции этого элемента в почве. Основная масса ТМ (нерастворимая форма) удерживается в верхнем слое почвы, а растворимая форма способна мигрировать в нижележащие горизонты и грунтовые воды. Из работы М.А. Глазковой [2] известно, что в почвах действуют механизмы, приводящие к трансформации техногенных потоков ТМ. Одни из них понижают миграционную способность (тяжелый гранулометрический состав, нейтральная или слабощелочная реакция, высокое содержание гумуса и т.д.) и переводят ТМ в малоподвижные и неподвижные (хелатные) формы, другие условия (легкий гранулометрический состав, низкий уровень pH (менее 5 единиц), низкое процентное содержание гумуса и т.д.) способствуют мобилизации тяжелых металлов, что отрицательно сказывается на экологической обстановке. Работами [10, 12] определено, что подвижность ТМ тесно связана с составом жидкой фазы, и вследствие этого в почвах с нейтральной или щелочной реакцией отмечается незначительная их миграционная способность (зона черноземов), и напротив мобильность ТМ наиболее высока при кислой и сильнокислой реакции почвенного раствора (таежно-лесные почвы, подзолы и т.д.)

Характер вертикального распределения ТМ в естественных и техногенных ландшафтах существенно различается. Для техногенных территорий независимо от типа почвы характерен регрессивно-аккумулятивный тип распределения, проявляющийся в накоплении металлов в верхнем гумусовом горизонте по-

чвы и резком понижении с глубиной. Наши исследования почв в зоне влияния Лебединского горно-обогатительного комбината (система КМА), Старооскольского цементного завода, Новолипецкого металлурги-

ческого комбината и других крупных источников загрязнения [3] показывают, что основная масса вредных выбросов, в том числе и тяжелых металлов, оседает на поверхности почв и концентрация ТМ превышает

Таблица 1

Физико-химические свойства почв Каменной степи

Глубина, см	рН водн.	Гумус, %	мг-экв/100 г почвы			мг/100 г почвы		Степень насыщенности почв основаниями, %
			H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Лесополоса №40, лугово-черноземная мощная								
0-10	6,80	10,0	2,7	42,3	7,9	9,6	50,0	94,9
10-20	7,00	8,4	1,7	40,5	7,6	8,2	44,9	96,6
40-50	7,03	6,3	0,8	39,0	7,4	7,0	41,3	98,3
60-70	7,52	3,6	0,5	35,0	7,1	6,1	37,1	98,8
80-90	8,01	2,0		34,7	6,7	4,7	33,9	
100-110	8,07	1,3		34,1	6,5	3,2	31,5	
120-130	8,14	1,1		33,5	6,2	2,1	30,2	
140-150	8,00	0,6		33,7	6,1	1,4	28,9	
Косимая залежь, лугово-черноземная мощная								
0-10	7,05	10,3	0,9	42,1	8,8	10,0	50,8	98,3
10-20	7,46	10,0	0,7	40,7	7,8	9,8	44,9	98,6
40-50	7,50	6,2	0,4	39,1	7,5	9,0	43,2	99,1
60-70	8,00	3,3		36,9	7,3	8,7	38,8	
80-90	8,03	2,0		34,1	6,3	7,0	33,8	
100-110	8,10	1,3		34,2	6,2	6,4	31,4	
120-130	8,11	1,1		33,8	6,2	4,2	30,2	
140-150	8,10	0,7		34,0	6,1	3,8	27,9	
Некосимая залежь, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	7,01	10,4	1,0	45,0	8,6	11,0	50,9	98,2
10-20	7,45	10,3	0,8	41,1	7,7	9,7	45,7	98,4
40-50	7,60	5,7	0,4	40,2	7,3	9,3	43,2	99,2
60-70	7,70	3,5		37,9	7,2	7,2	37,5	
80-90	7,73	1,6		34,9	6,7	5,4	34,4	
100-110	7,85	1,3		33,8	6,4	4,6	32,3	
120-130	8,00	1,0		33,7	6,2	3,7	29,8	
140-150	8,00	0,7		33,7	6,3	3,0	27,8	
Склон, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	7,02	6,5	1,0	40,2	7,9	6,4	44,9	98,0
10-20	7,42	5,4	0,8	39,6	7,6	6,1	38,9	98,3
40-50	7,61	3,6	0,5	38,4	7,6	4,9	36,2	98,9
60-70	7,70	2,0		35,9	7,3	4,2	32,7	
80-90	7,72	1,8		34,9	6,3	3,6	31,2	
100-110	7,84	1,5		32,4	6,2	2,0	29,3	
120-130	8,02	1,1		32,3	6,2	1,3	27,9	
140-150	8,04	0,5		32,1	6,2	0,9	26,8	
Пашня 80 лет, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	7,44	8,0	0,9	37,4	7,4	8,1	49,0	98,0
10-20	7,50	5,4	0,6	35,6	7,1	6,3	44,6	98,6
40-50	7,59	3,5	0,4	35,2	6,9	6,1	39,2	91,0
60-70	8,00	2,0		34,0	6,9	4,9	36,5	
80-90	8,01	1,8		33,5	6,8	4,1	32,5	
100-110	8,02	1,4		30,4	6,4	3,2	31,0	
120-130	8,02	1,1		29,1	6,3	2,0	29,3	
140-150	8,04	0,7		30,3	6,2	1,5	28,3	

Гранулометрический состав лугово-черноземных почв Каменной степи (2004 г.)

Глубина, см	Содержание фракции в % от абс. сухой почвы						
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	Менее 0,001 мм	Сумма фракций менее 0,01 мм
Лесополоса №40, лугово-черноземная мощная тяжелосуглинистая							
0-10	1,26	12,68	36,29	14,79	15,22	19,74	49,76
10-20	0,36	3,10	32,52	13,52	15,87	34,60	64,00
40-50	0,51	3,31	37,42	12,97	15,28	60,48	58,74
60-70	0,33	6,08	30,04	8,98	14,42	40,12	63,53
80-90	0,37	2,84	33,39	5,31	15,50	42,56	63,39
100-110	0,45	4,80	30,34	1,14	17,13	32,93	51,20
120-130	0,37	9,84	18,56	10,03	17,80	43,37	71,22
140-150	0,39	17,23	14,58	8,64	18,06	41,07	67,78
Косимая залежь, лугово-черноземная мощная тяжелосуглинистая							
0-10	0,47	15,02	28,03	10,98	22,93	22,55	56,47
10-20	0,24	10,75	29,73	15,21	17,17	26,86	59,26
40-50	0,31	1,30	32,91	10,75	16,21	38,50	65,46
60-70	0,35	21,21	14,81	9,63	13,78	40,19	63,60
80-90	0,40	39,48	8,64	2,14	9,71	39,61	51,46
100-110	0,37	39,90	0,21	11,31	11,96	36,21	59,50
120-130	0,49	4,98	25,16	8,17	15,32	45,86	69,35
140-150	0,33	20,97	6,59	9,50	21,91	40,68	72,09
Некосимая залежь, лугово-черноземная среднемощная глинистая							
0-10	5,57	17,50	3,08	21,2	15,26	37,36	73,83
10-20	0,98	20,82	1,39	25,50	17,74	33,53	76,79
40-50	0,51	20,90	3,27	24,76	21,75	28,78	75,30
60-70	0,49	26,85	0,92	22,93	16,50	32,28	71,72
80-90	0,55	28,09	1,44	30,44	12,46	26,99	69,90
100-110	0,35	19,18	4,62	28,85	24,23	22,75	75,84
120-130	0,35	24,82	1,11	28,51	17,83	27,35	73,70
140-150	7,24	25,11	7,16	30,81	1,07	25,58	57,47
Склон, лугово-черноземная среднемощная глинистая							
0-10	0,55	13,42	6,33	25,08	17,99	36,61	79,68
10-20	1,17	21,96	1,17	18,91	23,49	33,27	75,69
40-50	1,43	16,88	4,03	21,50	29,98	26,15	77,64
60-70	1,32	15,85	9,24	17,22	23,52	32,83	73,57
80-90	1,28	22,63	0,87	25,29	17,13	32,77	75,20
100-110	1,31	31,40	0,70	18,00	9,55	39,01	66,57
120-130	0,87	17,81	4,56	29,45	8,24	39,04	76,74
140-150	0,68	15,76	16,56	23,56	7,95	35,46	66,98
Пашня 80 лет, лугово-черноземная среднемощная глинистая							
0-10	1,03	13,15	10,69	21,29	15,09	38,72	75,11
10-20	0,67	36,58	4,00	8,54	12,60	37,59	58,74
40-50	0,39	18,80	3,00	18,57	48,48	10,73	77,79
60-70	0,49	20,17	9,02	19,78	9,67	40,84	70,30
80-90	0,44	36,81	0,34	11,96	13,82	36,60	62,39
100-110	1,24	45,91	1,96	7,19	0,98	42,69	50,86
120-130	0,57	38,75	3,72	12,19	13,35	31,39	56,94
140-150	7,12	33,18	13,09	0,04	10,74	35,80	46,58

допустимые нормы до глубины 0-20 и 0-30 см. При отсутствии техногенной нагрузки ТМ концентрируются не только в верхних горизонтах, но и в материнской породе, т.е. имеют природное происхождение. Исследования, проводимые в Рязанской области [9] и в почвах Юго-Западной Сибири [6] свидетельствуют о более высоком содержании большинства ТМ в почвообразующей породе, которые можно рассматривать в качестве регионального фона.

Большая роль в связывании катионов ТМ отводится гранулометрическому составу, особенно частицам фракции 0,005-0,01 мм и менее 0,01 мм в профиле почв. Немаловажную роль в поглощении и закреплении ТМ могут играть многие глинистые минералы, полуторные окислы, карбонаты, цеолиты, алюмосиликаты, оксиды, гидроксиды и т. д. [4, 8]. С учетом вышеизложенного мы в своих исследованиях провели количественное определение содержания ТМ в

черноземах Воронежской области. Объектами исследования послужили зональные почвы Каменной степи (участки НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева). Образцы отбирались послойно из полнопрофильных разрезов. Определение подвижных форм ТМ проводилось методом атомной абсорбции на установке С – 115 М с ацетатно-аммонийным буфером (рН = 4,8) в соответствии с методическими указаниями [13]. Физико-химические анализы выполнялись обычными, принятыми в почвоведении методами.

Из данных анализов физико-химических свойств исследуемых почв (табл. 1) видно, что по всему профилю реакция почвенного раствора имеет тенденцию к подщелачиванию с глубиной, содержание гумуса высокое и среднее в верхних горизонтах и постепенно снижается с глубиной. Обеспеченность почв P_2O_5 – средняя, K_2O – высокая. Степень насыщенности почв основаниями высокая.

Таблица 3

**Зависимость содержания подвижных форм тяжелых металлов от содержания гумуса
в лугово-черноземных почвах Каменной степи**

Металл	Объем выборки, n	Коэффициент корреляции, r	Ошибка коэффициента корреляции, S_r	Критерий существенности коэффициента корреляции, t_r
Лесополоса №40, лугово-черноземная мощная				
Zn	8	-0,67	0,30	2,2
Pb	8	-0,75	0,27	2,8
Cd	8	-0,75	0,27	2,8
Co	8	-0,75	0,27	2,8
Ni	8	-0,75	0,27	2,8
Fe	8	-0,71	0,29	2,4
Косимая залежь, лугово-черноземная мощная				
Zn	8	-0,78	0,26	3,1
Pb	8	-0,87	0,20	4,2
Cd	8	-0,86	0,21	4,0
Co	8	-0,82	0,23	3,5
Ni	8	-0,86	0,21	4,1
Fe	8	-0,84	0,22	3,8
Некосимая залежь, лугово-черноземная среднемощная				
Zn	8	-0,78	0,26	3,0
Pb	8	-0,84	0,22	3,8
Cd	8	-0,84	0,22	3,8
Co	8	-0,86	0,21	4,1
Ni	8	-0,86	0,21	4,1
Fe	8	-0,81	0,24	3,4
Пашня 80 лет, лугово-черноземная среднемощная				
Zn	8	-0,68	0,30	2,3
Pb	8	-0,63	0,32	2,0
Cd	8	-0,62	0,32	1,9
Co	8	-0,57	0,34	1,7
Ni	8	-0,60	0,33	1,8
Fe	8	-0,61	0,33	1,8

Подвижные формы тяжелых металлов в почвах Каменной степи

Глубина, см	мг/кг абсолютно сухой почвы							
	Zn	Pb	Cu	Cd	Co	Cr	Ni	Fe
Лесополоса №40, лугово-черноземная мощная								
0-10	0,5	2,4	0,04	0,28	0,62	0,07	2,2	3,4
10-20	0,44	3,0	0,04	0,28	0,62	0,07	2,6	3,4
40-50	0,92	3,0	0,04	0,28	0,78	0,07	2,4	2,5
60-70	0,44	3,0	0,12	0,35	0,78	0,07	2,6	2,9
80-90	0,44	3,0	0,08	0,35	0,78	0,07	2,6	3,4
100-110	1,93	9,5	0,9	1,55	3,0	0,32	6,58	9,1
120-130	1,93	10,0	0,9	1,62	3,6	0,32	6,8	9,3
140-150	3,09	10,0	0,9	1,62	3,6	0,32	7,0	8,9
Косимая залежь, лугово-черноземная мощная								
0-10	0,44	1,5	0,08	0,4	0,62	0,07	1,4	1,9
10-20	0,38	2,0	0,08	0,35	0,48	0,11	1,2	1,9
40-50	0,26	2,0	0,08	0,46	0,48	0,11	1,6	1,8
60-70	0,26	2,4	0,08	0,46	0,48	0,11	1,6	2,1
80-90	1,38	7,7	0,7	1,55	2,4	0,4	4,8	6,8
100-110	1,48	7,7	0,7	1,55	3,0	0,4	5,28	8,0
120-130	1,38	8,2	0,9	1,49	3,0	0,43	5,5	7,7
140-150	1,48	8,2	0,9	1,55	3,0	0,4	5,7	8,0
Некосимая залежь, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	0,6	1,5	0,08	0,35	0,78	0,07	1,0	2,4
10-20	0,38	2,0	0,08	0,35	0,78	0,07	1,0	1,9
40-50	0,31	2,0	0,08	0,35	0,93	0,07	1,2	1,8
60-70	0,38	2,0	0,04	0,4	1,08	0,07	1,4	1,9
80-90	1,38	8,2	0,8	1,49	3,5	0,36	4,6	8,9
100-110	1,48	8,5	0,8	1,49	3,5	0,36	5,0	9,1
120-130	1,57	8,5	0,8	1,49	3,5	0,32	4,8	8,6
140-150	1,57	8,2	0,8	1,49	3,1	0,32	4,6	8,0
Склон, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	0,38	2,0	0,08	0,35	0,62	0,07	1,2	1,9
10-20	0,44	2,0	0,12	0,35	0,48	0,07	1,4	1,0
40-50	0,38	2,0	0,08	0,4	0,62	0,11	1,4	1,9
60-70	0,44	2,4	0,04	0,4	0,78	0,11	1,4	1,9
80-90	0,5	3,0	0,08	0,4	0,78	0,11	1,6	2,9
100-110	0,5	3,5	0,12	0,5	1,08	0,18	1,8	2,5
120-130	1,38	8,5	0,6	1,43	2,9	0,32	4,2	6,2
140-150	1,56	10,0	0,7	1,49	3,0	0,36	4,4	6,2
Пашня 80 лет, лугово-черноземная среднemocная								
0-10	0,44	1,0	0,08	0,28	0,93	0,07	1,4	1,8
10-20	0,44	1,5	0,08	0,28	0,78	0,07	1,4	2,4
40-50	0,44	1,5	0,08	0,28	0,93	0,07	1,2	1,8
60-70	0,71	1,5	0,08	0,35	0,93	0,07	1,4	1,9
80-90	0,44	2,0	0,08	0,4	0,78	0,11	1,6	2,1
100-110	1,66	4,0	0,12	0,73	1,39	0,14	2,6	5,0
120-130	1,74	9,0	0,8	1,43	2,6	0,36	5,0	8,9
140-150	1,84	9,5	0,8	1,67	2,6	0,36	5,28	9,1
ПДК	23	6	3	5	5	6	5	-

Из данных гранулометрического анализа (табл. 2) видно, что эти почвы имеют тяжелосуглинистый и глинистый гранулометрический состав. Сумма фракций менее 0,01 мм с глубиной возрастает. Мно-

гими исследованиями установлена зависимость между гранулометрическим составом и фракционным составом гуминовых и фульвокислот, а между группой гуминовых кислот и физического песка существует высокая степень корреляции [4, 9].

Из результатов проведенного нами корреляционно-регрессивного анализа (табл. 3) следует, что содержание подвижных форм ТМ (табл. 4) находится в обратной зависимости от содержания гумуса в профиле почв. Коэффициент корреляции колеблется от -0,60 до -0,87. Этот коэффициент корреляции существенен (t_r составляет обычно 2,3-4,2) и только на пахотных почвах критерий существенности коэффициента корреляции снижается относительно некоторых металлов, а именно Pb, Cd, Co, Ni до 1,-2,0. Что касается гранулометрического состава, то корреляционная связь между ТМ и содержанием песчаной и илистой фракцией менее выражена. В этом случае наблюдается прямая зависимость между этими показателями и коэффициент корреляции между содержанием ТМ и песчаной фракцией колеблется от 0,5 до 0,68 в зависимости от угодья и исследуемого элемента.

Коэффициент корреляции между ТМ и илистой фракцией колеблется в широких пределах от 0,08, что свидетельствует об отсутствии корреляционной связи и до 0,4-0,6, что можно рассматривать как тенденцию корреляционной связи между этими показателями.

Анализируя вышеизложенное, можно с определенной уверенностью утверждать, что ТМ образуют с органическим веществом почвы комплексные соединения, которые трудно доступны растениям. В тоже время на гумусированных почвах ТМ, связанные с органическим веществом, способны мигрировать за пределы корнеобитаемого слоя с инфильтрационными водами. Наиболее устойчивые соединения ТМ в почве образуют с гуминовыми кислотами прочные связи. Установлена устойчивая обратная корреляционная связь между содержанием подвижных форм ТМ и гумусом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Таким образом, уровни содержания большинства солей тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd, Co Cr, Ni и Fe) в почвообразующих породах (лессовидные глины и суглинки) черноземных почв в Воронежской области более высоки, чем считалось до сих пор.

2. Результаты комплексного исследования установлена устойчивая обратная корреляционная связь между растворимыми формами тяжелых металлов и гумусом.

3. В гумусовом горизонте черноземов содержание ТМ не превышает допустимые нормы и находится на уровне фона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 1975. – 448 с.
2. Глазовская М.А. Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тяжелыми металлами // Биологические науки. 1989. №9. С. 38-46.
3. Джувеликян Х.А. Экология и человек. Воронеж: Изд-во ВГУ. 1999. – 360 с.
4. Добровольский В.В. Роль гуминовых кислот в формировании миграционных массопотоков тяжелых металлов // Почвоведение, 2004, №1. С. 32-39.
5. Ефимов В.Н., Сергеев Т.Н., Величко Е.В. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой глинистой почве. // Агрохимия, 2001, №10 С. 68-72.
6. Ильин В.Н., Сысо А.И., Байдина Н.Л. и др. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах Юга Западной Сибири // Почвоведение, 2003, №5. С. 550-556.
7. Курте М.Е. Экологическая химия. М.: Изд-во Мир., 1997. – 393 с.
8. Ладонин Д.В. Влияние железистых и глинистых минералов на поглощение меди, цинка, свинца и кадмия в конкреционном горизонте подзолистой почвы // Почвоведение, 2003, №10. С. 1197-1206.
9. Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профиле почв Рязанской области // Агрохимия, 2003, №8. С. 74-79.
10. Садовникова Л.К. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами // Биологические науки. 1989. №9. С. 47-53.
11. Черных Н.А., Поповичева Л.Л. Влияние урбанизации на содержание тяжелых металлов в экосистемах юга Московской области // Агрохимия, 2000, №10, с. 62-67.
12. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. М.: Изд-во РУДН, 2003, 430 с.
13. Руководство по определению ТМ в почвах сельскохозяйственных угодий и растениях». М., 1992 и 1993 гг.