

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ УСМАНСКОГО БОРА

Н. А. Протасова¹, А. Ю. Чарыкова²

¹ Воронежский государственный университет,

² Экологическая лаборатория ООО «ВЕГА-ЭКО»

Поступила в редакцию 19.03.2010 г.

Аннотация. Изучены формы соединений тяжелых металлов — Mn, Zn, Cu, Pb, Cd — и их внутрипрофильное распределение в дерново-лесных, дерново-лесных глееватых и глеевых и в лугово-болотных торфянисто-глеевых почвах Усманского бора. Установлено, что внутрипрофильная дифференциация тяжелых металлов и их подвижных соединений в почвах природных ландшафтов определяется интенсивностью почвенных процессов, протекающих в различных условиях гидроморфизма, а также гранулометрическим составом, химическими и физико-химическими свойствами дерново-лесных почв.

Ключевые слова: тяжелые металлы, дерново-лесные почвы, валовое содержание, подвижные соединения, внутрипрофильное распределение, аккумуляция, гидроморфизм, почвенные процессы.

Abstract. The contents and distribution of total and mobile forms of heavy metals (Mn, Zn, Cu, Pb, Cd) in various Forest Soils are investigated. Distribution of heavy metals in soil profile is determined by intensification of soil processes, conditions of hydromorphism, granulometrical composition, peculiarities of bedrock genesis, chemical and physicochemical attributes in soil profile.

Keywords: heavy metals, Forest Soils, the total contents, mobile connections, intraprofile distribution, accumulation, hydromorphism, soil processes.

ВВЕДЕНИЕ

Среди загрязнителей химической природы тяжелые металлы имеют особое экологическое, биологическое и здравоохранительное значение. Биофильные микроэлементы при значительных концентрациях в окружающей среде переходят в разряд загрязнителей. Ранее проблема этих металлов обсуждалась только с позиций недостатка их в почвах и кормах. В настоящее время акцент перенесен на проблему загрязнения, борьбу с ним, выявление и локализацию источников загрязнения, которые представляют опасность для экосистемы.

Для оценки экологического состояния техногенно загрязненных почв необходимо установить фоновое содержание тяжелых металлов в почвах природных ландшафтов заповедных территорий. Геохимический фон микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, для зональных почв Центрального Черноземья — черноземов и серых лесных — известен и используется для оценки их экологического состояния [1, 2]. Дерново-лесные почвы в этом отношении совершенно не изучены. В связи с возросшим антропогенным воздействием на лесные экосистемы необходима информация о фоновом содержании химических элементов, в том числе тяжелых металлов, в почвах биосферных

заповедников, которые считаются своего рода «эталоном сравнения».

Почвы являются наиболее эффективным объектом индикации загрязнения природной среды тяжелыми металлами. В почве начинаются все главные миграционные пути тяжелых металлов в биосфере: водные, атмосферные, биологические. По мнению В. В. Добровольского, именно в почве происходит мобилизация основной массы тяжелых металлов и образование их миграционных форм. Огромная реакционная поверхность минерального вещества, наличие почвенных растворов и мертвого органического вещества, в котором избирательно сконцентрированы значительные количества металлов, высокая насыщенность микроорганизмами, мезофауной и корнями высших растений, создают сложную систему трансформации металлов в почвах [3].

Благодаря ярко выраженной катионной погложительной способности почвы, она очень хорошо удерживает положительно заряженные ионы тяжелых металлов. Поэтому постоянное поступление их даже в малых количествах в течение продолжительного времени способно привести к существенному накоплению тяжелых металлов в почве.

Почва обладает буферностью к токсическому воздействию загрязнителей вследствие перевода их в труднорастворимые и малодоступные для рас-

тений формы. Основными факторами, контролирующими подвижность тяжелых металлов в почвах, являются: уровень валового содержания металлов, гранулометрический, минералогический и химический состав почвы, содержание гумуса, кислотнo-щелочные условия, окислительно-восстановительная обстановка. Кроме того, в число свойств, влияющих на доступность тяжелых металлов, могут входить содержание подвижного фосфора и аморфных гидроксидов Mn и Fe [4].

Цель наших исследований — выявить закономерности внутрипрофильной дифференциации валового содержания марганца, цинка, меди, свинца, кадмия и их подвижных соединений в дерново-лесных почвах катены, заложеной на территории Усманского бора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Усманский бор — один из крупных островных лесных массивов в Центральном Черноземье — находится на водоразделе рек Воронежца и Усмани в природном комплексе, территорию которого составляют пойма реки Усмань и надпойменные террасы. Доминирующее положение в природном комплексе биосферного заповедника занимают лесные экосистемы. По ботанико-географическому районированию Воронежской области растительный покров заповедника относится к Усманскому району зеленомошных сосновых и осоковых дубовых лесов Боброво-Усманского округа Среднерусской дубово-сосновой провинции [5]. К. А. Дроздов и К. Ф. Хмелев описывают Усманский бор в физико-географическом отношении как сложный парагенетический комплекс, состоящий из разнообразных элементарных ландшафтов, резко отличающихся друг от друга по составу подпочвенных пород, глубине грунтовых вод, особенностям развития древесного яруса и другим показателям. На его территории доминируют ландшафты пойменного, надпойменно-террасового и водораздельно-зандрового типов местности. Коренные породы (известняки девона и мела) перекрыты флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями легкого гранулометрического состава [6]. Усманский бор характеризуется сложными экологическими условиями почвообразования, что обусловлено неоднородностью рельефа, геологического строения, гидрологии и разновозрастностью террас, на которых он произрастает. Как показали исследования Б. П. Ахтырцева, в лесных катенах Усманского бора наблюдается смена почв от плоских вершин зандровых валов до днищ впадин и понижений, т.е. автоморфные

почвы закономерно сменяются полугидроморфными и гидроморфными [7].

В окрестностях комплекса ВГУ «Веневитиново» на катене, проложенной со второй надпойменной террасы к пойме р. Усмань по градиенту влажности и элементам ландшафта (элювиальная, транзитная, аккумулятивная позиции) было заложено 7 разрезов.

Лесные почвы Усманского бора сформировались под различными формациями древесной и ассоциациями травянистой растительности благодаря воздействию различных условий увлажнения. На относительно возвышенной равнинной части катены (вторая надпойменная терраса, сосна, дуб) получили распространение автоморфные дерново-лесные псевдофибровые песчаные почвы (элювиальная позиция). Автоморфные почвы первой надпойменной террасы (дуб, осина), чей ландшафт рассечен песчаными валами и относительно глубокими западинами, представлены дерново-лесными песчаными почвами. У сухих подножий относительно крутых склонов второй надпойменной террасы (сосна, береза) сформированы дерново-лесные намывные супесчаные почвы (транзитная позиция). В условиях транзитной позиции рельефа, при уменьшении мощности песчаного плаща и близком залегании грунтовых вод под сосновой формацией формируются полугидроморфные дерново-лесные глееватые ожелезненные песчаные почвы. Полугидроморфные дерново-лесные глеевые песчаные почвы подножий склонов, балок и понижений под сосновой и березовой формациями (транзитная и аккумулятивная позиции ландшафта) несут признаки смены окислительных процессов восстановительными. Гидроморфные почвы влажных западин (береза, дуб, черная ольха) представлены лугово-болотными торфянисто-глеевыми почвами (аккумулятивная позиция).

Из каждого разреза были взяты почвенные образцы послойно по схеме: 0—10, 10—20...100—110 см или до глубины залегания грунтовых вод, в которых были определены pH_{KCl} , гидролитическая кислотность, обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} , гумус, гранулометрический состав — общепринятыми методами [8]. Валовое содержание тяжелых металлов и их подвижных соединений (ацетатно-аммонийная вытяжка с pH 4,8) определяли вольтамперометрическим методом на вольтамперометрическом анализаторе ТА-4 [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным А. Б. Беляева и др., в дерново-лесных песчаных почвах Усманского бора содер-

жание пассивного кварца составляет 95—98%, что сдерживает и ограничивает биоаккумулятивные почвенные процессы [10]. Дерново-лесные псевдофибровые, глееватые ожелезненные и глеевые ортзандовые почвы характеризуются песчаным составом всего почвенного профиля. Содержание глинистых частиц в них не превышает 9%, преобладают песчаные фракции. Дерново-лесная намытая почва имеет супесчаный состав — в верхних горизонтах количество глинистых частиц составляет 13,8%, лугово-болотная торфянисто-глеевая — легкосуглинистый с содержанием физической глины 23%. Профиль дерново-лесных почв не дифференцирован по гранулометрическому составу, который незначительно изменяется только в дерново-лесной намытой и лугово-болотной торфянисто-глеевой почвах.

В дерново-лесной псевдофибровой, глееватой ожелезненной и глеевой почвах в верхних горизонтах преобладают фракции крупного и среднего песка — 73—82%. Отмечено преобладание фракции мелкого песка в дерново-лесной, дерново-лесной глеевой ортзандовой — 52—54%, дерново-лесной намытой — 40% и лугово-болотной торфянисто-глеевой почвах — 66%. Минимальное содержание крупнопылеватой фракции в верхних горизонтах характерно для дерново-лесной глеевой, дерново-лесной и псевдофибровой почв — 0,7—1,5%. Дерново-лесная намытая и глееватая ожелезненная почвы характеризуются минимальным количеством фракции средней пыли — 1—2%. Дерново-лесная глеевая ортзандовая почва отличается минимальным содержанием в верхних горизонтах мелкой пыли — 0,7%. Максимальное количество илистой фракции в верхних горизонтах — 8% — отмечается в дерново-лесной намытой почве, в остальных — 3,3—5,1%. Данные почвы различаются по соотношению в своем составе песчаных, пылеватых и илистых частиц, что приводит к неоднородности их химического состава.

Содержание гумуса в верхних горизонтах составляет 1,5—2,1% в дерново-лесной песчаной и намытой супесчаной, 2,9—3,8% в дерново-лесной псевдофибровой, глееватой ожелезненной и глеевой песчаной, 4,4—5,4% в дерново-лесной глеевой ортзандовой песчаной и лугово-болотной торфянисто-глеевой легкосуглинистой почвах. С глубиной количество гумуса резко снижается до 0,1—0,2%.

Исследуемые почвы характеризуются сильно-кислой средой с pH_{kcl} 3,7—4,5. В нижней части

профиля pH_{kcl} изменяется до 5,4—6,1. В верхних горизонтах дерново-лесных почв отмечается высокая гидролитическая кислотность, достигающая 6,3 ммоль⁺/100 г почвы. С глубиной она заметно уменьшается до 0,3 ммоль⁺. Сумма обменных катионов $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ составляет 3,6—9,3 ммоль⁺/100 г почвы. Дерново-лесные почвы имеют невысокую степень насыщенности основаниями — 46—77%. Согласно исследованиям А. Б. Беляева и др. в дерново-лесных почвах Усманского бора происходит ландшафтное элювиально-аккумулятивное перераспределение гумуса, азота, фосфора и калия по элементам рельефа [10].

По данным Н. А. Протасовой и А. П. Щербакова, в древнеаллювиальных и флювиогляциальных супесях и песках Центрального Черноземья содержится (мг/кг): Mn — 73—270, Cu — 2,2—2,4, Zn — 12,0—12,4 [1]. В соответствии с почвенно-геохимическим районированием Воронежской области, территория Усманского бора расположена в Окско-Донском округе, Рамонском районе выщелоченных и типичных черноземов с недостатком валового Mn и подвижных соединений Zn [11].

Средние данные валового содержания ТМ в древнеаллювиальных песчаных отложениях надпойменных террас Усманского бора составляют (мг/кг): Zn — 8,32; Cu — 2,41; Mn — 137; Cd — 0,06; Pb — 2,92, что не превышает фоновое в аналогичных породах Окско-Донской равнины.

Дерново-лесная псевдофибровая песчаная почва, расположенная на самом возвышенном месте катены — одна из доминирующих почв Усманского бора — занимает автономные элементы ландшафта с глубоким залеганием грунтовых вод и формируется в условиях периодически-промывного и промывного типов водного режима. Данная почва характеризуется очень низким валовым содержанием Mn, Pb и повышенным — Cu, Zn, Cd. Максимальное количество Mn и Cu обнаружено в самой верхней, наиболее гумусированной части профиля; Zn, Cd, Pb — в слое 30—50 см. Концентрация подвижных соединений ТМ с глубиной заметно уменьшается. Наиболее подвижны Mn и Pb, которые легко мигрируют по профилю, и малоподвижны Zn, Cd и Cu (табл. 1, 2).

Cu и Mn связаны с органическим веществом, о чем свидетельствует постепенное снижение их концентрации вниз по профилю. Для Zn и Pb отмечено усиление степени подвижности на глубине образования зебровидных прослоек (60—90 см). По степени подвижности тяжелые металлы в этой почве образуют ряд — Pb > Mn > Zn > Cd > Cu, а

Формы соединений марганца и цинка в дерново-лесных почвах Усманского бора

Глубина, см	Содержание, мг/кг почвы					
	Марганец			Цинк		
	1	2	3	1	2	3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Дерново-лесная песчаная почва, разрез 2						
2—10	296	64	22	6,1	1,3	21
10—20	170	36	21	2,7	0,3	10
20—30	164	37	23	1,9	0,8	40
30—40	300	69	23	1,7	0,8	46
40—50	401	81	20	3,4	0,8	24
60—70	197	42	21	3,1	1,2	38
Дерново-лесная намытая супесчаная почва, разрез 3						
3—10	121	82	68	4,8	0,43	9
10—20	167	13	8	7,4	0,73	10
20—30	127	10	8	1,7	0,17	10
30—40	73	10	14	16	0,12	0,8
40—50	196	10	5	42	1,70	4
60—70	81	0,1	0,1	36	2,90	8
80—90	17	0,2	1	23	0,21	1
100—110	12	0,5	4	5,1	0,35	7
Дерново-лесная псевдофибровая песчаная почва, разрез 1						
2—10	12	2,1	17	52,6	1,50	3
10—20	6,4	Следы	—	56,0	1,50	3
20—30	Следы	Следы	—	63,9	1,70	3
30—40	Следы	Следы	—	89,6	0,82	1
40—50	Следы	Следы	—	54,8	0,54	1
60—70	Следы	Следы	—	3,8	0,61	16
80—90	Следы	Следы	—	4,6	1,10	24

Дерново-лесная глееватая ожелезненная песчаная почва, разрез 4						
1	2	3	4	5	6	7
3—10	220	74	33	8,3	0,86	11
10—20	381	116	30	7,6	0,48	6
20—30	406	78	19	2,4	0,64	27
30—40	213	29	14	3,3	0,46	14
40—50	255	57	22	4,1	0,56	14
60—70	448	64	14	5,7	0,56	10
80—90	593	68	11	13,0	0,62	5
100—110	566	103	18	5,3	0,74	14
Дерново-лесная глеевая песчаная почва, разрез 5						
2—10	194	94	48	13,0	0,74	6
10—20	227	164	72	6,4	0,43	7
20—30	195	99	51	4,4	0,35	8
30—40	210	68	32	6,4	0,45	7
40—50	142	44	31	2,2	0,12	5
60—70	31	9	29	1,4	0,08	6
1	2	3	4	5	6	7
Дерново-лесная глеевая ортзандовая песчаная почва, разрез 6						
2—10	349	78	22	3,6	0,48	13
10—20	41	24	58	11,0	0,60	5
20—30	11	Следы	—	36,0	0,28	1
30—40	Следы	Следы	—	21,0	0,73	3
40—50	Следы	Следы	—	9,0	0,92	5
60—70	Следы	Следы	—	7,4	1,00	13
Лугово-болотная торфянисто-глеевая легкосуглинистая почва, разрез 7						
2—10	606	32	5	12,0	3,50	29
10—20	808	55	7	8,8	0,45	5
20—30	554	48	9	3,2	0,03	0,9
30—40	384	10	3	3,6	0,01	0,3
40—50	201	12	6	3,4	0,25	7
Фон*	674	90		39	0,25	

Примечание: 1 — валовое содержание, 2 — подвижные соединения, 3 — степень подвижности элемента, %. Фон * — среднее содержание в серых лесных почвах ЦЧР [1].

Формы соединений меди, свинца и кадмия в дерново-лесных почвах Усманского бора

Глубина, см	Содержание, мг/кг почвы								
	Медь			Свинец			Кадмий		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Дерново-лесная песчаная почва, разрез 2									
2—10	12,0	0,22	2	6,60	3,20	48	0,04	Следы	—
10—20	1,00	0,13	13	2,70	0,57	21	0,19	Следы	—
20—30	0,17	0,05	29	0,92	0,47	51	0,16	Следы	—
30—40	0,51	0,05	10	0,54	0,48	89	0,10	Следы	—
40—50	0,49	0,04	8	1,90	0,56	29	0,04	Следы	—
60—70	0,41	След.	—	0,60	0,35	58	0,06	Следы	—
Дерново-лесная намытая супесчаная почва, разрез 3									
3—10	4,3	След.	—	10,0	0,39	3,9	0,32	0,08	25
10—20	Сл.	След.	—	6,3	0,41	6,5	0,21	0,06	29
20—30	1,8	След.	—	4,5	0,06	1,3	0,15	0,04	27
30—40	7,0	След.	—	3,9	0,07	1,8	0,54	0,06	11
40—50	6,8	След.	—	4,4	0,06	1,4	0,84	0,01	1
60—70	Сл.	След.	—	7,6	0,02	0,3	0,07	0,01	14
80—90	Сл.	След.	—	5,6	0,02	0,4	0,05	0,01	20
100—110	Сл.	След.	—	5,0	0,01	0,2	0,06	0,01	17
Дерново-лесная псевдофибровая песчаная почва, разрез 1									
2—10	50,0	0,04	0,1	4,3	0,52	12	0,80	0,010	1,3
10—20	44,0	0,03	0,1	4,7	0,53	11	0,75	0,010	1,3
20—30	32,0	0,03	0,1	4,9	0,58	12	0,72	0,004	0,6
30—40	30,0	0,03	0,1	5,1	0,16	32	0,95	0,003	0,3
40—50	26,0	0,02	0,1	3,3	0,21	6	0,82	0,003	0,3
60—70	8,6	0,02	0,3	1,7	0,33	19	0,70	0,003	0,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80—90	13,0	0,02	0,2	1,3	0,14	11	0,12	След.	—

Дерново-лесная глееватая ожелезненная песчаная почва, разрез 4									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3—10	0,94	След.	—	3,20	0,85	27	0,04	0,01	25
10—20	0,69	След.	—	1,40	0,43	31	0,13	0,01	8
20—30	0,38	0,11	29	0,67	0,37	55	След.	След.	—
30—40	0,13	0,06	46	0,53	0,34	64	След.	След.	—
40—50	0,28	0,14	50	0,99	0,44	44	След.	След.	—
60—70	0,77	0,22	29	1,80	1,10	61	0,02	0,01	50
80—90	0,20	0,07	35	0,88	0,11	13	След.	След.	—
100—110	0,73	0,11	15	2,80	0,47	17	След.	След.	—
Дерново-лесная глеевая песчаная почва, разрез 5									
0—10	1,40	0,05	3,6	5,30	0,63	12	0,18	0,010	5
10—20	0,53	0,01	1,9	1,40	0,27	19	0,09	0,002	2
20—30	0,51	След.	—	0,45	0,06	13	След.	След.	—
30—40	0,53	След.	—	0,71	0,07	10	След.	След.	—
40—50	0,20	След.	—	0,85	0,07	8	След.	След.	—
60—70	0,18	0,06	33	0,89	0,06	7	След.	След.	—
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дерново-лесная глеевая ортзандовая песчаная почва, разрез 6									
2—10	0,93	След.	—	8,3	0,89	11	0,50	0,010	2
10—20	0,89	След.	—	3,8	0,28	7	0,55	0,010	2
20—30	2,30	След.	—	22,0	0,18	9	0,61	0,010	2
30—40	1,20	След.	—	12,0	0,37	3	0,13	0,002	2
40—50	0,13	0,10	77	9,0	0,11	1	0,09	0,001	1
60—70	0,11	0,01	9	1,3	0,04	3	0,06	0,002	3
Лугово-болотная торфянисто-глеевая почва, разрез 7									
2—10	3,0	0,10	3	8,8	3,6	41	0,36	0,05	14
10—20	6,4	0,16	3	12,0	3,6	30	0,27	0,05	17
20—30	1,8	0,05	3	4,8	2,2	46	0,21	0,02	10
30—40	4,2	0,19	5	13,0	5,2	40	0,11	0,03	27
40—50	2,6	0,71	27	3,4	1,1	32	0,10	0,02	20
Фон [1, 2]	12	2,8		21	1,3		0,22	0,05	

Примечание: 1 — валовое содержание, 2 — подвижные соединения, 3 — степень подвижности элемента, %.

по среднему валовому содержанию в верхнем 30-ти см слое представляют ряд — $Zn > Cu > Mn > Pb > Cd$. По сравнению с серыми лесными почвами ЦЧР (геохимический фон), в исследуемых почвах наблюдается превышение содержания Zn , Cd и Cu на фоне резкого дефицита Mn .

Дерново-лесная песчаная почва также является одной из доминирующих почв, но, в отличие от дерново-лесной псевдофибровой, тяготеет к пересеченной местности, где занимает обширные пространства сухих вершин песчаных валов. Максимальное содержание ТМ обнаружено в верхней части профиля, кроме Mn , который концентрируется на глубине 40—50 см. Для всех металлов, кроме Cd , характерна высокая степень подвижности (табл. 1, 2). ТМ по среднему валовому содержанию в дерново-лесной песчаной почве представляют ряд — $Mn > Cu > Zn, Pb > Cd$, а по степени подвижности — $Pb > Zn > Mn > Cu > Cd$. По сравнению с геохимическим фоном, в дерново-лесной песчаной почве отмечается низкий уровень валового содержания всех ТМ и повышенная концентрация подвижных соединений Zn .

Дерново-лесная намытая супесчаная почва формируется у сухих подножий крутых склонов песчаных валов на второй надпойменной террасе р. Усмань. Внутрипрофильное распределение тяжелых металлов в этой почве крайне неравномерное (табл. 1, 2). Так, максимальное накопление Pb обнаружено в слое 3—10 см, Cu — на глубине 30—40 см, Mn, Zn, Co — в слое 40—50 см. Подвижные соединения Mn, Pb, Cd концентрируются в верхнем слое почвы, где идут интенсивные процессы разложения опада и образования агрессивных гумусовых кислот. Из этого ряда выпадает Zn , чья активность резко возрастает на глубине 40—70 см. Наиболее подвижны Mn, Cd , менее — Zn, Pb , в почвенном профиле обнаружены следы Cu . По степени подвижности тяжелые металлы в этой почве располагаются в ряд — $Cd > Mn > Zn > Pb > Cu$, а по среднему валовому содержанию в верхнем 30-ти см слое они образуют ряд — $Mn > Pb > Zn > Cu > Cd$. По сравнению с геохимическим фоном, исследуемые почвы бедны Mn, Zn, Cu .

Дерново-лесная глееватая ожелезненная песчаная почва расположена на днище сухой балки. Переувлажнение нижней части профиля имеет периодически сезонный характер. На глубине 90 см залегают ожелезненные подстилающие суглинки, играющие роль водоупора. Песчаная толща непосредственно над суглинками также имеет при-

знаки ожелезнения. Внутрипрофильное распределение тяжелых металлов, кроме Cd , в дерново-лесной глееватой ожелезненной почве носит элювиально-иллювиальный характер (табл. 1, 2). Вследствие такого распределения происходит заметное накопление Zn, Pb, Cu, Mn в верхней гумусированной части почвенного профиля и в иллювиальном горизонте, имеющем признаки ожелезнения и более высокое содержание глинистых частиц. Zn слабо подвижен. Наиболее подвижны Cd, Pb, Cu и Mn . Наибольшая подвижность Mn отмечается в верхней части профиля и уменьшается с глубиной, Pb — в иллювиальном горизонте. Степень подвижности остальных металлов довольно сильно варьирует по профилю и может быть представлена в виде ряда — $Mn > Pb > Cd > Zn > Cu$. По уровню среднего валового содержания тяжелые металлы в верхнем 30-ти см слое этой почвы располагаются в ряд — $Mn > Zn > Pb > Cu > Cd$. По сравнению с геохимическим фоном, в дерново-лесной глееватой ожелезненной песчаной почве отмечается резкий недостаток Zn и Cu .

Дерново-лесная глеевая песчаная почва занимает понижения между песчаными валами, нижнюю часть их склонов при залегании грунтовых вод около 1,5 м. На эти гидроморфные почвы оказывают значительное влияние, помимо атмосферных осадков, минерализованные грунтовые воды. В условиях повышенного увлажнения и слабой дренированности внутрипрофильное распределение тяжелых металлов и их подвижных соединений в дерново-лесной глеевой песчаной почве определяется характером распределения глинистых частиц, гумуса, гидролитической кислотности и обменных катионов (табл. 1, 2). Максимальное количество ТМ обнаружено в верхней, наиболее гумусированной части почвенного профиля. С глубиной и валовое содержание, и концентрация подвижных соединений ТМ довольно резко снижаются. В этих почвах высока степень подвижности Mn , достигающая 72% в верхней части профиля. По степени подвижности ТМ образуют ряд — $Mn > Pb > Zn > Cd > Cu$. Среднее валовое содержание тяжелых металлов в верхнем 30-ти см слое дерново-лесной глеевой песчаной почвы намного ниже фонового и представляет ряд — $Mn > Zn > Pb > Cu > Cd$.

Дерново-лесная глеевая ортзандовая песчаная почва редко встречается на территории Усманского бора. Она примыкает к лугово-болотным почвам, занимая глубокие понижения. Здесь выделяется ортзандовый горизонт, густо окрашенный в ржавый

цвет оксидными формами железа, которые являются основными носителями тяжелых металлов в незагрязненных почвах, и с крупными железистыми конкрециями. Глубина залегания грунтовых вод в межень не более 1 м. Внутрипрофильное распределение тяжелых металлов и их подвижных соединений в этих почвах определяется сочетанием таких почвенных процессов, как гумусообразование и гумусонакопление, глееобразование и иллювиирование, протекающих в условиях избыточного увлажнения. В верхнем слое почвы, содержащем 4,4% гумуса, значительно накапливаются Mn и Cd. Интенсивная аккумуляция Zn, Pb и Cu происходит в ортзандовом горизонте, играющем роль геохимического барьера для этих металлов (табл. 1, 2). В верхней части почвенного профиля наиболее подвижны Mn, Zn и Pb, в нижней — Cu. Для Cd характерна очень низкая степень подвижности во всех горизонтах. По степени подвижности в этих почвах тяжелые металлы образуют ряд — Mn > Zn > Pb > Cd > Cu. Среднее валовое содержание тяжелых металлов в верхнем 30-ти см слое дерново-лесной глеевой ортзандовой песчаной почвы, кроме Cd, ниже геохимического фона и представляет ряд — Mn > Zn > Pb > Cu > Cd.

Лугово-болотная торфянисто-глеевая почва достаточно широко распространена на территории Усманского бора. Она занимает влажные депрессии. Глубина залегания грунтовых вод в межень не более 0,5 м с капиллярной каймой, выходящей на дневную поверхность. Периодически здесь скапливаются дождевые и талые воды, стекающие с возвышенных элементов ландшафта. Постоянная водонасыщенность профиля затрудняет горизонтальную миграцию тяжелых металлов. Эти почвы формируются под влиянием не только глеевых процессов, но и в результате торфообразования. Вследствие этого в торфянистом горизонте интенсивно накапливаются Mn, Zn и их подвижные соединения, в меньшей степени Pb, Cu и Cd. Самой высокой подвижностью в этих почвах обладают Pb и Zn (табл. 1, 2). Среднее валовое содержание тяжелых металлов, кроме Cd и Mn, в этих почвах в верхнем 30-ти см слое не превышает геохимический фон и представляет ряд: Mn > Pb > Zn > Cu > Cd, а по степени подвижности — Pb > Zn > Cd > Mn > Mn.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, уровень содержания тяжелых металлов, их подвижность и характер распределения в дерново-лесных почвах Усманского бора

зависит прежде всего от интенсивности таких почвенных процессов как подстилкообразование, торфообразование, гумусообразование, выщелачивание, иллювиирование, оглеение, которые протекают в неодинаковых условиях рельефа местности и уровня залегания грунтовых вод, под различной древесной и травянистой растительностью. Так, в лугово-болотной торфянисто-глеевой почве интенсивно аккумулируются Mn, Cd и Pb; в дерново-лесной псевдофибровой — Cu, Zn и Cd; в дерново-лесной намытой и глеевой ортзандовой — Cd, Zn, Pb; в дерново-лесной глееватой ожелезненной — Mn. Дерново-лесные почвы характеризуются различной подвижностью тяжелых металлов, которая зависит от их гранулометрического состава (соотношения песчаных, пылеватых и илистых частиц), гумусированности, кислотности, суммы обменных катионов. Самым подвижным элементом в большинстве почв является Pb, в дерново-лесной — Zn, в дерново-лесной глеевой — Mn. Уровень валового содержания Mn, Cu, Zn, Pb в дерново-лесных почвах Усманского бора не превышает геохимический фон зональных почв региона. В дерново-лесной глеевой ортзандовой и псевдофибровой почвах происходит заметное накопление Cd по сравнению с зональными почвами. Гидроморфные почвы интенсивно аккумулируют подвижные соединения Zn и Pb. Валовое содержание тяжелых металлов и количество их подвижных соединений в дерново-лесных почвах Усманского бора можно использовать как «эталон сравнения» при оценке экологического состояния аналогичных почв, испытывающих техногенное загрязнение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасова Н. А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков. — Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003. — 368 с.
2. Протасова Н. А. Формы соединений никеля, свинца и кадмия в черноземах ЦЧР / Н. А. Протасова, Н. С. Горбунова // Агрехимия. — 2006. — № 6. — С. 1—9.
3. Добровольский В. В. Роль гуминовых кислот в формировании миграционных массопотоков тяжелых металлов / В. В. Добровольский // Почвоведение, 2004. — № 1. — С. 32—39.
4. Протасова Н. А. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков // Почвоведение. — 2004. — № 1. — С. 50—59.
5. Камышев Н. С. Растительный покров Воронежской области и его охрана / Н. С. Камышев, К. Ф. Хмелев. — Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1976. — 168 с.

6. Дроздов К. А. Усманский бор / К. А. Дроздов, К. Ф. Хмелев // Природа и ландшафты Приворонезья. — Воронеж : Изд-во ВГУ, 1983. — С. 19—38.

7. Ахтырцев Б. П. Почвы песчаных валов и котловин в Усманском бору / Б. П. Ахтырцев // Состояние и проблемы экосистем Усманского бора. — Воронеж : ВГУ, 1992. — Вып. 1. — С. 132—143.

8. Воробьева Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. — М. : МГУ, 1998. — 272 с.

9. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. Методика выполнения измерений

массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. — ФР.1.34. 2005.02119.

10. Агрохимические свойства почв Усманского бора / А. Б. Беляев [и др.] // Состояние и проблемы экосистем Усманского бора. — Воронеж : ВГУ, 1993. — Вып. 3. — С. 144—151.

11. Протасова Н. А. Почвенно-геохимическое районирование Воронежской области / Н. А. Протасова, М. Т. Копаева // Почвоведение. — 1995. — № 4. — С. 446—453.

Протасова Нина Алексеевна — д.б.н., профессор кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами Воронежского государственного университета; тел.: (4732) 208577, prot.niko@rambler.ru

Protasova Nina A. — Doctor of Science (Biology), Professor of the Department of Soil Science and Management of Land Resources of the Voronezh State University; tel.: (4732) 208577, e-mail: prot.niko@rambler.ru

Чарыкова Анастасия Юрьевна — инженер «ООО ВЕГА-ЭКО»; тел.: (4732) 212585

Charykova Anastasiya U. — Engineer of laboratory “VEGA-EKO”; tel.: (4732) 212585