

УДК 550.47

**Биогеохимические особенности техногенного загрязнения почв  
под влиянием предприятий химической промышленности**

**И.В. Кураева\*, А.А. Кроик\*\*, Е.Г. Мусич\*\*\*, Ю.Ю. Войтюк\*, А.В. Матвиенко\***

*\*Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко, г. Киев*

*\*\*Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара*

*\*\*\*Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, г. Киев*

Исследованы физико-химические свойства почв (рН, содержание органического вещества, емкость катионного обмена). Изучены закономерности распределения валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенных отложениях на территории Шостки Сумской области под влиянием предприятий химической промышленности и на фоновых участках. Получены биогеохимические показатели содержания микроскопических грибов и их видов, наиболее характерных для исследуемых почв, которые могут быть применены как дополнительный критерий при эколого-геохимических исследованиях.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, валовые и подвижные формы, биогеохимический показатель.

**Biogeochemical features technogenic pollution of soils  
under the influence chemical industry**

**I.V. Kuraeva\*, A.A. Kroik\*\*, E.G. Musich\*\*\*,  
Iu.Iu. Voitiuk\*, A.V. Matvienko\***

*\*M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kiev*

*\*\*Dnipropetrovsk national university Oles Honchar*

*\*\*\*State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine»*

**The physico-chemical properties of soil (pH, organic matter content, cation exchange capacity).  
The regularities of the distribution of total and mobile forms of heavy metals in soil sediments in the**

Дніпропетровський національний університет імені Олеса Гончара, просп. Гагаріна, 72,  
м. Дніпропетровськ, 49010, Україна.

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, prosp. Gagarina, 72, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine.

Tel.: +38-095-149-65-50. E-mail: [no-name2001@yandex.ru](mailto:no-name2001@yandex.ru)

**territory of Shostka Sumy region under the influence of the chemical industry and in the background areas. Biogeochemical indicators obtained content of microscopic fungi and their species, the most characteristic of the study of soils, which can be used as an additional criterion for ecological and geochemical studies.**

*Key words:* heavy metals, total and mobile forms, biochemical indicator.

**Введение.** Одно из важных направлений эколого-геохимических исследований – изучение влияния техногенных факторов на биогеоценозы [3]. Известно, что загрязнение почв тяжелыми металлами и их соединениями негативно воздействует на жизнедеятельность микроорганизмов и на экологическое состояние почв в целом [6]. В урбанизированных почвах, загрязненных тяжелыми металлами, изменяются микробные комплексы, зависящие от экологических условий почвенной среды.

В целом для многих почв, загрязненных тяжелыми металлами, характерны низкая обогатенность бактериями и увеличение суммарной численности отдельных групп микроорганизмов: грибов, актиномицетов и спорообразующих бактерий [12]. Некоторые незначительные концентрации металлов в почвах необходимы для жизнедеятельности микроорганизмов. Например, железо участвует в окислительно-восстановительных процессах, медь входит в состав многих ферментов живых клеток [18]. Но при существенном повышении концентраций любой металл становится токсичным: изменяется морфология клеток, происходит угнетение роста микроорганизмов до полной их гибели. Каждый элемент имеет свой диапазон безопасной концентрации, при котором происходит нормальное функционирование организма. При его нарушении отмечены различные патологические нарушения в обменных процессах, приводящие в случае недостатка к микроэлементам дефицита, избытка – к микроэлементам токсичности [4; 10]. С целью оценки угрозы влияния потенциально токсичных химических веществ на организм человека и окружающую среду применяют различные виды мониторинга, в том числе изучение состояния почвенной биоты, к которой относятся микроскопические грибы. Они имеют способность к накоплению тяжелых металлов по сравнению с другими организмами в почве. Характер влияния тяжелых металлов на микроорганизмы определяется их концентрацией в окружающей среде, степенью токсичности и биологическими свойствами живых организмов [6].

При высоком содержании тяжелых металлов, особенно их подвижных форм, в почве изменяются морфофункциональные показатели почвенных микромицет: задерживается прорастание спор, снижается скорость спорообразования и роста мицелия, который становится тоньше [7; 16].

**Цель написания работы** – установить изменения биогеохимических показателей почв под влиянием выбросов предприятий химической промышленности.

**Материал и методы исследований.** Основные полигоны исследований размещались на территории города Шостка Сумской области. При полевых исследованиях региона было отобрано 210 образцов почв. Пробы почв отбирались согласно ГОСТу 17.4.4.02-84 [14] вокруг промышленных предприятий города. Отбор почв производился как по горизонтальному, так и по вертикальному профилю на глубине от 0 до 60 см. Как в черте города, так и за его пределами были заложены 3 шурфа глубиной до 200 см. Также были выбраны условно чистые полигоны для оценки природного фона территории. Настоящее исследование

проводилось на территории промышленных районов города, расположенных в зоне Публичного акционерного общества «Шосткинский завод химических реактивов» (ПАО «ШЗХР»), открытого акционерного общества «Акционерная компания «Свема»» (ОАО «АК «Свема»»), Шосткинского завода «Звезда» (ШЗ «Звезда»). Условно чистыми полигонами были выбраны территории Богдановского заказника, идентичные по ландшафтно-геохимическим условиям [17].

Пробы почв для выделения микроскопических грибов отбирались в интервале 0 – 10 см, где аккумулируется наибольшее количество тяжелых металлов. Установлено, что исследуемые почвы не имеют морфологически выраженного подзолистого горизонта и формируются под влиянием хвойной растительности. Для почв характерны некоторые физико-химические свойства подзолистых почв. Поэтому выявление специфических видов грибов может способствовать выяснению вопроса о генезисе этих почв.

Для определения набора видов микроскопических грибов, характерных для исследуемой почвы промышленных территорий, применялся наиболее широко распространенный в почвенной микробиологии метод разведения почвенной суспензии с последующим высевом ее на агоризированные питательные среды [7; 8], при этом оценивали частоту встречаемости вида и достоверность средних величин процентного содержания основных видов.

Физико-химические свойства почв определялись по методике Е.В. Аринушкиной [2]. Для определения валовых концентраций тяжелых металлов и показателей их подвижности применяли метод атомной абсорбции. Содержание подвижных форм тяжелых металлов определяли по методике А.И. Самчука [15].

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что на распределение тяжелых металлов в почве влияют их физико-химические показатели [19]. Как видно из полученных результатов (табл. 1),  $C_{орг}$  в гумусовом горизонте исследуемых почв на техногенно загрязненных участках уменьшается по сравнению с фоновыми участками. Также в этих почвах понижается рН и содержание поглощенных катионов.

Таблица 1

**Физико-химические показатели почв гумусового горизонта**

Почва	$C_{орг}$ , %	рН	Поглощение катионов, мг*экв на 100 г				
			$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^{+}$	$K^{+}$	
Почвы фоновых участков							
Дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые на водно-ледниковых отложениях, n=20	1,85	6,3	5	2	0,9	0,14	
Дерново-подзолистые легкосуглинистые на древнем аллювии, n=20	1,42	6,5	12,3	0,7	0,68	0,1	
Подзолисто-дерновые легко суглинистые на озерных суглинках, n=20	1,61	6,4	2	1	0,57	–	
Техногенные почвы							
ПАО «ШЗХР», n=50	0,75	5,1	2,3	0,9	0,3	0,08	
ШКЗ «Звезда», n=50	0,76	4,8	1,9	0,7	0,4	0,1	
ОАО «АК «Свема»», n=50	0,83	4,9	1,7	0,6	0,3	–	

Примечание: n – количество проб.

Исследование вертикального распределения тяжелых металлов показало, что в верхнем почвенном горизонте техногенно загрязненных почв накапливались Ni, Co, Pb, Cu. С глубиной валовые концентрации металлов постепенно уменьшаются.

Наибольшие содержания тяжелых металлов характеризуют почвенный профиль, заложенный возле ОАО «АК «Свема»». На глубине 0,7 – 0,9 м выделен техногенный геохимический барьер (табл. 2).

Таблица 2

**Распределение тяжелых металлов в почвенных разрезах техногенно загрязненных почв на исследуемой территории (мг/кг)**

Горизонт, см	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Открытое акционерное общество «Акционерная компания «Свема»»											
Ni	10	30	50	80	50	80	50	80	70	70	50
Co	6	10	100	100	200	100	100	250	300	200	100
Pb	40	50	60	60	100	50	100	250	100	200	100
Cu	200	800	200	300	200	250	200	200	500	300	300
Шосткинский казенный завод «Звезда»											
Ni	20	30	30	50	30	40	30	20	20	40	30
Co	15	10	10	15	8	8	8	6	6	8	6
Pb	80	60	40	30	20	50	30	60	30	60	40
Cu	200	80	60	50	400	60	50	60	40	80	200
Публичное акционерное общество «Шосткинский завод химических реактивов»											
Ni	10	9	7	5	6	6	6	6	6	3	4
Co	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pb	40	30	8	6	8	5	6	3	10	5	5
Cu	50	30	10	30	80	40	80	30	20	40	6

Примечание: «–» – элемент не определялся.

В образцах почв, отобранных на территории возле химических предприятий города на глубине 0 – 5 см валовые концентрации Cu, Cr, Pb превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) в 2, 10 и 20 раз соответственно (рис. 1).

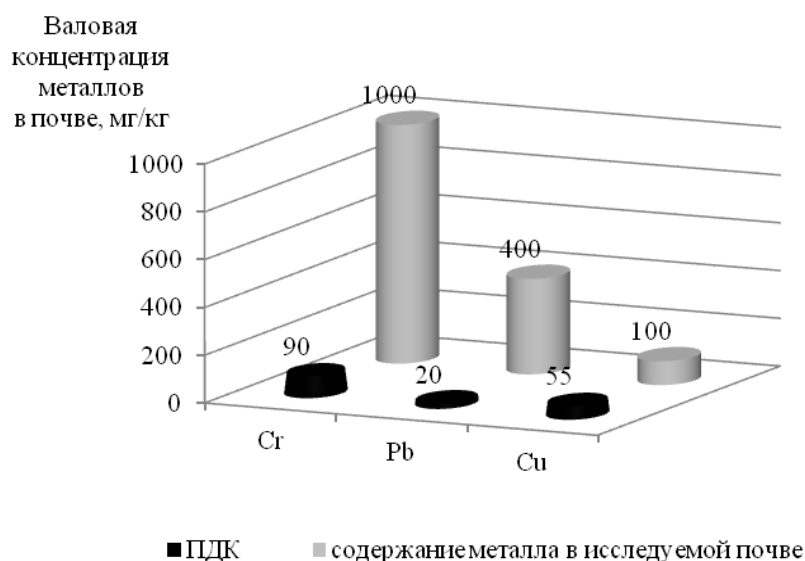


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий

Особое значение при биогеохимическом исследовании почв и оценке степени их загрязнения принадлежит подвижности тяжелых металлов. К подвижным формам относятся ионнообменная и водорастворимая.

Установлено, что содержание подвижных форм металлов на изученных территориях под влиянием выбросов предприятий химической промышленности

показали, что подвижность тяжелых металлов повышается в сравнении с фоновыми участками, что является критерием загрязненности почвенных отложений [19]. Например, подвижность Cr возрастает в 32, Ni — 14, Cu — 10 и Pb — 8 раз (рис. 2). Дополнительным критерием степени загрязнения территории тяжелыми металлами в почвах являются биогеохимические показатели.

Почвенные отложения характеризуются большим разнообразием видов микроорганизмов [3; 11]. Такие виды могут быть использованы в качестве геохимических индикаторов процессов загрязненности почв или их свойств при количественной оценке видов микроорганизмов. Индикаторные и доминирующие виды проще выявить среди грибов, чем среди других микроорганизмов, поскольку грибы легче и точнее идентифицировать [12].

Грибы в почве находятся или в виде спор, или в состоянии активно растущего мицелия.

Количество грибных зародышей, выделенных на сусло-агаре и среде Чапека, незначительно, что, вероятно, обусловлено наличием огромного спектра тяжелых металлов (табл. 3) и зависит от места отбора проб. Исключение составил образец, отобранный возле ПАО «Шосткинский завод химических реактивов», в котором преобладали высокие концентрации ряда тяжелых металлов (Ni, Pb, Cr, Cu, Co), а количество живых грибных зародышей было максимальным.

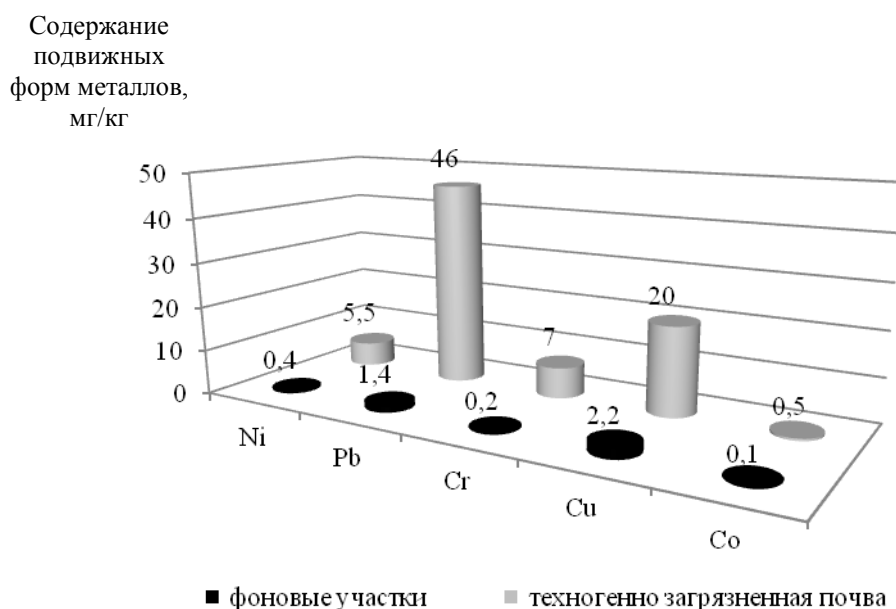


Рис. 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий

Видовой состав грибных зародышей довольно разнообразен и включает 53 вида (табл. 4); большинство видов грибных зародышей сосредоточено как в подстилке (образец 1), так и на глубине 100 см (17 видов – образец 2); 0 – 5 см (16 видов – образец 4).

Таблица 3

## Средняя численность грибов подзолистой почвы промышленных территорий

№ образца	Характеристика района исследований	Глубина, см	Количество грибных спорыш, тыс./5 г
1	Открытое акционерное общество «Акционерная компания «Свема»»	0 – 2	1,7·1000
3	Открытое акционерное общество «Акционерная компания «Свема»»	2 – 5	2,37·1000
5	Шосткинский казенный завод «Звезда»	0 – 5	3,17·1000
6	Публичное акционерное общество «Шосткинский завод химических реактивов»	0 – 5	50 (высевали почвенную суспензию)
4	Фоновая почва	0 – 5	2,142·1000
2	Фоновая почва	100	3,857·1000

Вероятно, такое разнообразие грибов связано с многолетними промышленными выбросами данных предприятий. Специальные исследования с большой повторяемостью высевов показали (табл. 4), что наиболее часто и в большом количестве встречаются представители *Penicillium*. Среди них много видов с большой биохимической активностью, продуктов различных биологически активных веществ, важных для народного хозяйства, ферментов, антибиотиков и т.д. (*P. hazzianum* Rifai, *P. Thomii* Zalesky, *P. Godlevsky* Zalesky, *P. Decumbens* Thom). Именно эти виды пенициллиев и *Trichoderma harzianum* Rifai могут служить индикаторами наличия в почве тяжелых металлов. Интересно, что эти виды максимально представлены в пахотном слое [1; 5]. Для образца 2 (табл. 4), взятого на глубине 100 см, выделены виды грибов, которые также можно считать индикаторами повышенной концентрации тяжелых металлов. В данном случае интересны два вида *Trichoderma* – *Tr. hamatum* Bainier и *Tr. koningii* Oudem, а также *P. notatum* Westling и *P. kursanovii* Chalab, которые специфичны только для почвы этого промышленного района. Есть и другие виды – *Alternaria*, *Aspergillus*, но представители их типичны для многих промышленных районов.

Образцы 3 – 5 не отличаются по содержанию тяжелых металлов. Среди выделенных грибов отличны виды *Tr. viride* Pers, *Tr. virens* Arx, а также виды несовершенных грибов *Mycelia sterilia* (White) и *Mortierella alpine* Peyronel, которые типичны для образцов 3 – 5, но есть и специфические виды, индикаторы *Acremonium murorum* var. *Murorum* Gams, *P. funiculosum* Thom (образец 3), *Curvularia inaequalis* Boedijn и *Tr. atroviride* Bissett (образец 4), *Absidia glauca* Hagem и *Fusarium sambucinum* Fuckel (образец 5). Интересный в микологическом аспекте образец 6. Именно из него выделены наиболее токсичные виды *Aspergillus sulphureus* Thom et Church, *Botrytis cinerea* Fries, *Chaetomium homopilatum* Omvik, темноокрашенные *Cladosporium cladosporioides* и *Clonostacchis rosea*, которые устойчивы к экстремальным условиям обитания.

Таблица 4

## Видовой состав грибов

№ п/п	Вид	Автор	№ образца					
			1	2	3	4	5	6
1	<i>Absidia cylindrospora</i>	Hagem.				+		
2	<i>Absidia glauca</i>	Hagem.					+	
3	<i>Acremonium murorum</i> var. <i>murorum</i>	(Corda.)Gams			+			
4	<i>Alternaria tenuissima</i>	(Kunze) Wiltshire		+				
5	<i>Aspergillus parvulus</i>	Sm.		+				
6	<i>Aspergillus sulphureus</i>	(Fresen) Thom et Church						+
7	<i>Botrytis cinerea</i>	Person: Fries						+
8	<i>Chaetomium homopilatum</i>	Omvik.						+
9	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	(Fresen)de Vries						+
10	<i>Cladosporium herbarum</i>	(Pers)Link						+
11	<i>Clonostachis rosea</i>	(Preuss) Mussat					+	
12	<i>Clonostachis rosea f. catenulata</i>	(Gilman et Abbot)Schroers						+
13	<i>Codophora malorum</i>	(Kitt et Beaum) Gams		+				
14	<i>Curvularia inaequalis</i>	(Shear)Boedijn				+		
15	<i>Fusarium moniliforme var lactis</i>	(Pirotta et Riboni)Bilai						+
16	<i>Fusarium oxysporum</i>	Sm. Et Swinge			+	+		
17	<i>Fusarium sambucinum</i>	Fuckel					+	
18	<i>Fusarium solani</i>	(Mart) Sacc				+	+	
19	<i>Geotrichum candidum</i>	Link.				+	+	
20	<i>Isaria farinosa</i>	(Holmsk) Fr.	+			+		
21	<i>Mortierella alpina</i>	Peyronel.	+		+	+	+	
22	<i>Mortierella oligospora</i>	Oudem		+		+		
23	<i>Mortierella pusilla</i>	Oudem		+	+			+
24	<i>Mortierella ramanniana</i> var. <i>angulispora</i>	(Naumov) Linnem	+	+				
25	<i>Mortierella ramanniana</i> var. <i>ramanniana</i>	(Gilman et Abbott)Schroers.		+				+
26	<i>Mucor hiemalis f. hiemalis</i>	Wehmer.						
27	<i>Mycelia sterilia (white)</i>		+	+	+	+	+	+
28	<i>Neosartorya fischeri</i>	Wehmer.						+
29	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	(Holmsk) Fr.					+	
30	<i>Penicillium coeruleoviride</i>	G.Sm.					+	

№ п/п	Вид	Автор	№ образца					
			1	2	3	4	5	6
31	<i>Penicillium corylophilum</i>	Dierckx					+	
32	<i>Penicillium decumbens</i>	Thom.	+					
33	<i>Penicillium funiculosum</i>	Thom.			+			
34	<i>Penicillium glabrum</i>	(Wehmer)Westing		+	+	+		
35	<i>Penicillium godlevsky</i>	Zalessky	+					
36	<i>Penicillium kursanovii</i>	Chalab		+				
37	<i>Penicillium notatum</i>	Westling.		+				
38	<i>Penicillium raciborskii</i>	Zalessky.			+	+		
39	<i>Penicillium spinulosum</i>	Thom.	+				+	+
40	<i>Penicillium tardum</i>	Thom.	+					+
41	<i>Penicillium thomii</i>	Zalessky	+					
42	<i>Penicillium variabile</i>	Wehmer.						+
43	<i>Penicillium verrucosum</i>	Dierckx.						+
44	<i>Penicillium waksmanii</i>	Zalessky.	+	+				
45	<i>Trichoderma atroviride</i>	Bissett.				+		
46	<i>Trichoderma harzianum</i>	Rifai.	+					
47	<i>Trichoderma koningii</i>	Oudem		+				
48	<i>Trichoderma virens</i>	(Pens.Giddens.Foloster)Arx	+	+	+	+	+	
49	<i>Trichoderma viride</i>	Pers	+		+	+	+	
50	<i>Trichoderma hamatum</i>	(Bonord)Bainier		+				
51	<i>Umbelopsis isabellina</i>	(Oudem)Gams	+	+			+	
52	<i>Umbelopsis viceum</i>	(Dixon Stev)Arx	+	+		+	+	
53	<i>Zygorhynchus moelleri</i>	Vuil			+			

Примечание: 1 – ОАО «Акционерная компания “Свема”» (глубина 0 – 2 см); 2 – фоновая почва (глубина 100 см); 3 – ОАО «Акционерная компания “Свема”» (глубина 2 – 5 см); 4 – фоновая почва (глубина 0 – 5 см); 5 – Шосткинский казенный завод «Звезда»; 6 – ПАО «Шосткинский завод химических реактивов».

**Выводы.** Установлено, что в техногенно загрязненных почвах изменяются физико-химические свойства, а именно понижается рН, количество гумуса, емкость катионного обмена. Тяжелые металлы сорбируются в верхнем почвенном горизонте. Их содержание превышает ПДК в десятки раз.

Для техногенно загрязненных почв характерно повышенное содержание подвижных форм тяжелых металлов. Например, подвижность Cr, Pb, Ni, Cu возрастает в 32, 8, 14 и 10 раз соответственно.

Выделены 53 вида микроскопических грибов. Установлено, что в почвах преобладают: *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Mycelia stilia* (White). Некоторые виды являются специфическими и могут служить индикаторами на наличие металла определенной концентрации.



### Библиографические ссылки

1. Agrohimičeskaja harakteristika pochv SSSR (Ukrainskoj SSR) [Text]. – M.: Nauka, 1994. – 352 p.
2. **Arinushkina, E.V.** Rukovodstvo po himičeskomu analizu pochv [Text] / E.V. Arinushkina. – M.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1970. – 487 p.
3. Biogeohimični pokazniki gruntiv v zoni vplivu Kostjantinis'kogo svinčevocinkovogo kombinatu [Text] / I.V. Kuraeva [et al.] // Mineralog. žurn. – K., 2009. – № 1. – P. 58–61.
4. **Es'kov, E.K.** Nakoplenie svinca i kadmija različnymi organami rastenij v zavisimosti ot ih udalenija ot avtomagistrali [Text] / E.K. Es'kov, M.D. Es'kova // Agrohimija. – M. – 2013. – № 5. – P. 81–85.
5. Funkcionuvannja mikrobnih cenziv gruntu v umovah antropogenogo navantazhenija [Text] / K.I. Andrejuk [et al.]. – K.: Oberegi, 2001. – 240 p.
6. **Kashin, V.K.** Osobennosti nakoplenija mikrojelementov v zerne ovsa v zapadnom Zabajkal'e [Text] / V.K. Kashin // Agrohimija, – M., 2013. – № 10 – P. 55–65.
7. **Malinina, M.S.** Issledovanie pochvennogo rastvora v celjah jekologičeskogo monitoringa [Text] / M.S. Malinina // Problemy jekologičeskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem. – 1992. – Vyp. 14. – P. 35–56.
8. **Malinina, M.S.** Vlijanie rastenij i mikrobnij aktivnosti na sodержanie metallov v pochvennyh rastvorah derno-podzolistoj pochvy v uslovijah model'nogo jeksperimenta [Text] / M.S. Malinina, Dias Maher, T.N. Bolysheva // Pochvovedenie, 2011. – №3. – P. 336–345.
9. **Minenko, A.K.** Regulirovanie biologičeskoj aktivnosti derno-podzolistykh pochv [Text]: avtoref. diss... dokt. biolog. Nauk / A.K. Minenko. – M.: TSHA, 1991. – 41 p.
10. **Minkina, T.M.** Nakoplenie i raspredelnie tjazhelyh metallov v rastenijah zony tehnogeneza [Text] / T.M. Minkina [et al.] // Agrohimija. – 2013. – №9 – P. 65–75.
11. **Mirchink, T.G.** Pochvennaja mikologija [Text] / T.G. Mirchink. – M.: Izd-vo MGU, 1976. – 206 p.
12. **Mynbaeva, B.N.** Vlijanie medi na strukturu mikrobnih soobshhestv pochv g. Almaty (model'nye jeksperimenty) [Text] / B.N. Mynbaeva, N.A. Kireeva // Agrohimija. – 2013. – №7. – P. 75–79.
13. **Nikolas, D.T.** Studies of fungi in a podzol [Text] / D.T. Nikolas // J. Soil Sci. – 1995. – Vol. 32, № 2. – P. 42–45.
14. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himičeskogo, bakteriologičeskogo, gel'mintologičeskogo analiza [Text]: GOST 17.4.4.02–84. – [dejstvujushhij ot 1986–01–01. – M.: Gosstandart SSSR, 1984. – 7 p.
15. **Samchuk, A.I.** Fiziko-himičeskie uslovija obrazovanija mobil'nyh form toksichnyh metallov v pochvah [Text] / A.I. Samchuk [et al.] // Mineralog. žern. – 1998. – №2. – P. 48–59.
16. **Skarlato, O.A.** Zakonomernosti razvitija pochvennyh mikroorganizmov [Text] / O.A. Skarlato. – L.: AN SSSR, 1985. – 283 p.
17. **Verdener, I.B.** Priroda Ukrainskoj SSR. Pochvy [Text] / I.B. Verdener, D.A. Tjutjunnik. – K.: Nauk. dumka, 1986. – 229 p.

18. **Vorob'eva, L.A.** Himicheskij analiz pochv [Text] / L.A. Vorob'eva. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1998. – 272 p.

19. **Zhovinskij, Je.Ja.** Geohimija tzhelyh metallov v pochvah Ukrainy [Text] / Je.Ja. Zhovinskij. – K.: Nauk. dumka, 2002. – 215 p.

*Надійшла до редколегії 25.02.2015*