

УДК 550.42 : 631.4 (477.52)

Кураева И.В., Войтюк Ю.Ю., Матвиенко О.В., Мусич Е.Г., Дунаевская О.В.

## **ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Представлены результаты изучения техногенного загрязнения тяжелыми металлами почв, находящихся под влиянием предприятий химической промышленности. Охарактеризованы закономерности распределения валовых концентраций тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах и почвах фоновых участков. Определены формы нахождения тяжелых металлов в гумусовом горизонте техногенно загрязненных почв. Построена карта суммарного их загрязнения.*

Изучение техногенного загрязнения почв в настоящее время приобретает все большую актуальность [3, 4, 6-9, 11-14]. Особое внимание уделяется исследованию поведения тяжелых металлов в почвах, в том числе вопросам их миграции в системе почва-растение, их концентрации на геохимических барьерах, экологическому состоянию окружающей среды.

Целью авторов была определение эколого-геохимического состояния почв, испытывающих влияние предприятий химической промышленности.

Основные полигоны исследований размещались на территории города Шостки Сумской области. В ходе полевых работ были отобраны 210 проб почв. Опробование проводилось в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [5] вокруг промышленных предприятий города: Шосткинского завода химических реактивов, заводов «Звезда» и «Свема». Отбор проб производился как по горизонтальному профилю, так и в вертикальных разрезах на глубину от 0 до 30-40 см. В черте города и за его пределами были заложены 3 шурфа глубиной до 2 м.

Были изучены также условно чистые полигоны для оценки природного фона территории.

Определение валовых содержаний тяжелых металлов в составе почв и показателей их подвижности проводилось с использованием атомно-абсорбционного метода. Физико-химические свойства почв определялись по методике Е.В.Аринушкиной [1], содержание в них подвижных форм металлов – по методике Ф.И.Павлоцкой [11]. Статистическая обработка геохимических данных проводилась при помощи пакета MS Excel. Карта суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами была построена с использованием программы ArgGIS 10.1.

Город Шостка находится в зоне Новгород-Северского Полесья (крайняя восточная часть Украинского Полесья [3]), которое на востоке ограничено Среднерусской возвышенностью, на юге граничит с Сумской лесостепной областью.

В тектоническом отношении Новгород-Северское Полесье занимает северную часть юго-западного склона Воронежского кристаллического массива. Глубина залегания докембрийского кристаллического фундамента

от 100 до 750 м. Кристаллический фундамент перекрыт толщей пермских, юрских, меловых, палеогеновых и антропогенных осадочных образований. Их пласты залегают наклонно, что отражает общее погружение поверхности кристаллического фундамента с северо-востока на юго-запад к осевой части Днепровско-Донецкой впадины. В современных физико-географических процессах непосредственно участвуют меловые, палеогеновые и антропогенные отложения, которые залегают выше местного базиса эрозии. Мощность антропогенных отложений в районе города Шостка составляет 20-25 м.

В орографическом отношении Новгород-Северское Полесье представляет собой низменность, переходящую в пониженный юго-западный край Среднерусской возвышенности. Долина р. Десна отделяет от нее Снов-Деснянскую водораздельную равнину с максимальной абсолютной высотой 222 м (с. Березовая Гать). Общая глубина расчленения поверхности около 100 м.

Большая глубина и густота эрозионного расчленения поверхности в значительной степени обусловлены особенностями древнего рельефа – неровностями меловой поверхности и наличием холмов и увалов, сложенных палеогеновыми песчаниками. Для Новгород-Северского Полесья характерны карстовые процессы.

Климатические условия Новгород-Северского Полесья более континентальны в сравнении с другими полесскими областями. Зима относительно холодная, снежная, более продолжительная, характерна меньшая повторяемость оттепелей. Средняя годовая температура воздуха составляет +5°C: января -7°C, июля +19°C. Среднегодовая сумма осадков 550-590 мм.

Территорию города дренирует р. Шостка, приток р. Десна. На территории города есть три искусственных озера. Подземные воды широко распространены в границах города, используются для водоснабжения; приурочены, в основном, к верхней трещиноватой мергелево-меловой толще и антропогенным отложениям.

В связи с такими гидроклиматическими условиями в Новгород-Северском Полесье сформировался своеобразный почвенно-растительный покров. В почвообразовательных процессах заметную роль играют коренные породы – песчано-глинистые палеогеновые и мергелево-меловые верхнего мела, покрытые маломощным слоем морены лессовидных суглинков, водно-ледниковых суглинков, водно-ледниковых и аллювиальных песков и супесей. Антропогенная толща обогащена продуктами денудации и переотложения мергелево-меловых пород. Это способствует обогащению питательными веществами и уменьшению кислотности дерново-подзолистых почв.

В почвенном покрове города Шостка распространены дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые почвы на водно-ледниковых отложениях, дерново-подзолистые легкосуглинистые на древнем аллювии, подзолисто-дерновые легкосуглинистые на озерных суглинках [2].

Дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые почвы на водно-ледниковых отложениях распространены на выровненных или холмистых участках зандровых равнин. В разрезе почв выделяют следующие горизонты: НЕ – гумусово-элювиальный серый с низким содержанием гумуса, легкосуглинистый, в верхней части (до 4 см) густо пронизан мелкими корнями травянистой растительности; Е – элювиальный светлосерый безгумусовый, отмытый от глинистых частиц, супесчаный, рыхлый; Ie – иллювиальный красно-бурый легкосуглинистый с единичными корнями древесных растений; I – иллювиальный красно-бурый влажный легкосуглинистый крупнопризматический, плотный, вязкий с линзами гравийных песков; Di – разнородный бурый с желтым оттенком; D – тонкослоистые песчаные водно-ледниковые отложения.

Дерново-подзолистые легкосуглинистые на древнем аллювии почвы распространены на понижениях террасовых и зандровых равнин в отдельных плоских понижениях. В разрезе их выделяют следующие горизонты: НЕп – гумусово-элювиальный серый с низким содержанием гумуса, пылевато-легкосуглинистый, в

верхней части (до 7 см) густо пронизанный мелкими корнями; E – элювиальный желтовато-белый с обилием ржаво-бурых пятен, без гумусовый, песчано-легкосуглинистый, отмытый от глинистых частиц; Igl – иллювиальный глееватый бурый с обилием ржавых пятен, суглинистый; IGI – слабоиллювирированный суглинок, желто-серый с ржаво-бурыми пятнами; PGI – глеевый голубовато-серый аллювий с линзами голубовато-белого песка.

Подзолисто-дерновые легкосуглинистые на озерных суглинках почвы распространены на плоскоравнинных понижениях. В их разрезе выделяют следующие горизонты: NEп – гумусово-элювиальный темносерый легкосуглинистый с редкими включениями корней растений; Eh – элювиальный серый хорошо, но неравномерно гумусированный, легкосуглинистый, с редкими корнями растений; Eeh – элювиально-иллювиальный красновато-бурый с серыми пятнами; P1 – суглинок слабоиллювирированный красно-бурый с линзами и прослойками песка, в линзах песок разнозернистый с ржавыми железистыми пятнами; P –

красновато-бурый суглинок с прослойками и линзами песка.

Основными предприятиями-загрязнителями города являются завод химических реактивов, завод «Звезда», предприятие «Свема». Завод химических реактивов производит органические реактивы, продукцию для медицинских препаратов, для производства пластмасс. В городе находилось одно из наиболее вредных производств завода – цех по производству гидрохинона. Завод «Звезда» производит порох многих марок, другие взрывчатые вещества. На предприятии «Свема» производятся фотоматериалы, рентгеновская пленка, магнитная лента для видео- и аудиокассет. Предприятия города выбрасывают в атмосферу диоксид азота, диоксид серы, аммиак, формальдегид, фенол, ацетон, бензол, толуол, ртуть.

Авторы изучили как техногенно загрязненные почвы, так и почвы фоновых участков.

Определяющее влияние на распределение тяжелых металлов в почвах [8] оказывают их физико-химические показатели (табл. 1).

Таблица 1.

Физико-химические показатели почв в гумусовом горизонте

Почвы	С <sub>орг.</sub> , мас.%	рН	Поглощение катионов, мг-экв / 100 г			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Почвы фоновых участков						
дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые на водно-ледниковых отложениях, n=20	0,85	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 легкосуглинистые на озерных суглинках, n=20	1,61	6,4	2	1	0,57	-
Техногенные почвы						
завод химических реактивов, n=50	0,75	5,1	2,3	0,9	0,3	0,08
завод «Звезда», n=50	0,96	4,8	1,9	0,7	0,4	0,1
предприятие «Свема», n=50	0,83	4,9	1,7	0,6	0,3	-

n – количество проб.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что содержание С<sub>орг.</sub> в составе гумусового горизонта изученных почв в границах техногенно загрязненных участков пониженное, как и показатели рН и содержания поглощенных катионов.

Валовое содержание тяжелых металлов в составе техногенно загрязненных почв представлено в табл. 2. Как видно, этот показатель почв предприятия «Свема» намного выше фоновых значений: для Ni (в гумусовом горизонте) – в 6 раз, Co – 2 раза, Cr – 20 раз, Pb – 7 раз,

Ag – 2 раза. Только валовое содержание Cu не превышает значения фона.

В почвах завода химических реактивов показатели содержания тяжелых металлов также значительно превышают фоновые значения: для Ni (в гумусовом горизонте) – в 2 раза, Cr – 10 раз, Pb – 4 раза, Cu – 6 раз. Валовые содер-

жания Co и Ag находятся в пределах фоновых значений.

Для почв завода «Звезда» показатели содержания Cr и Cu (в гумусовом горизонте) превышают фоновые значения в 4 раза. Валовые содержания Co, Ag, Ni, Pb здесь находятся в пределах фоновых значений.

Таблица 2.

Среднее валовое содержание тяжелых металлов в составе гумусового горизонта изученных почв, мг/кг

Техногенно преобразованные почвы	Ni	Cr	Cu	Pb	Co	Ag
предприятия «Свема», n=50	250 / 40	140 / 7	60 / 58	55 / 25	15 / 7	10 / 5
завода химических реактивов, n=50	85 / 10	60 / 6	300 / 50	130 / 30	5 / 4	5 / 1
завода «Звезда», n=50	25 / 10	20 / 5	210 / 50	40 / 35	4 / 2	5 / 1

Слева от наклонной черты – значение валового содержания тяжелых металлов в составе техногенно загрязненных почв; справа – фоновое значение.

n – количество проб.

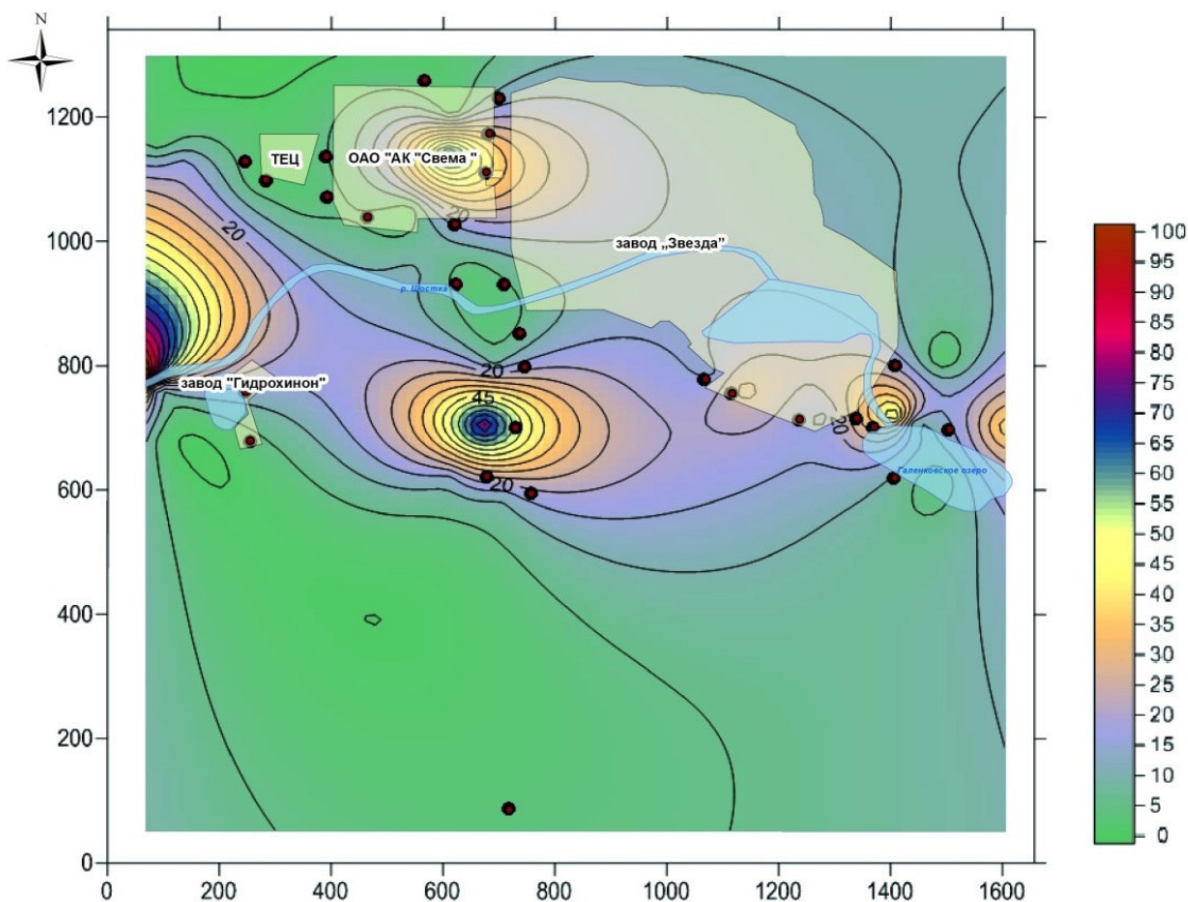


Рис. 1. Суммарные показатели содержания в составе почв Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag.

Для общей характеристики загрязнения почвенного покрова города была построена карта суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) (формула 1) металлами: Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Ag, Nb, Zn (рис. 1). [13]:

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1), \text{ где } K_c = \frac{C_i}{C_{\phi}} \quad (1)$$

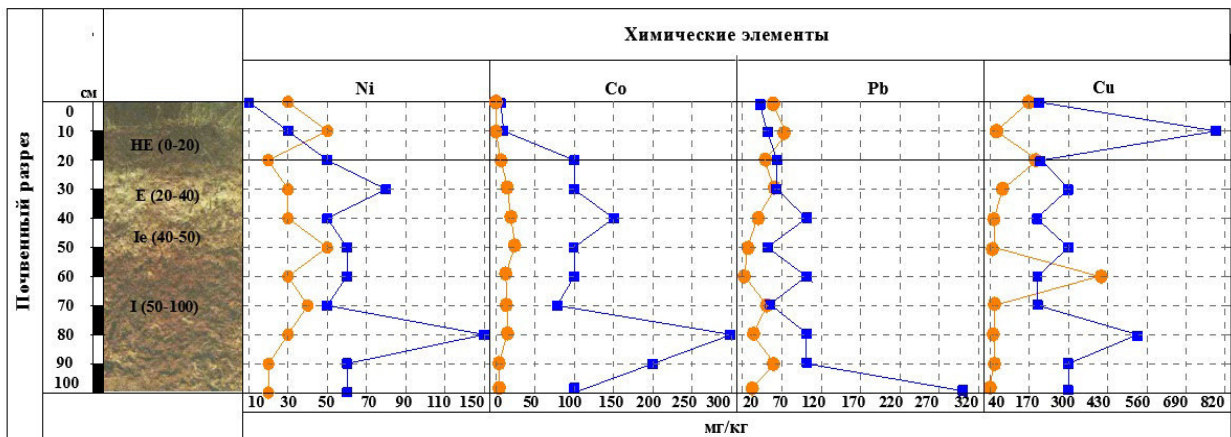
- $K_c$  – коэффициент концентрации;
- $n$  – число учитываемых аномальных элементов;
- $C_i$  – концентрация элемента в составе изученного объекта;
- $C_{\phi}$  – фоновое содержание элемента.

Как показали полученные результаты, показатель суммарного загрязнения элементами Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag достигает максимальных значений в районе промышленных предприятий города – величины 110 вблизи предприятия «Свема». Таким образом, изученная территория находится под интенсивным техногенным воздействием. Средний показатель суммарного загрязнения составляет 55,4. Суммарный показатель загрязнения изменяется от промышленных предприятий города к его окраинам до 0,66.

Изучалось также вертикальное распределение тяжелых металлов в техногенно преобразованных почвенных горизонтах на глубину до 1 м (рис. 2).

Было установлено, что горизонт на глубине 0,7-0,9 м является техногенным геохимическим барьером для Ni, Co, Pb, поскольку их валовое содержание на этой глубине резко увеличивается. С глубиной концентрация металлов постепенно уменьшается. Было обнаружено интенсивное накопление Cu на глубине 10-15 см. Эта тенденция не сохраняется для почв завода «Звезда» и завода химических реактивов. В их составе концентрации тяжелых металлов постепенно уменьшаются с глубиной.

С использованием методики Ф.И.Павлоцкой [11] были изучены также формы нахождения тяжелых металлов в составе компонентов почв (табл. 3). Как видно из приведенных данных, содержание подвижных форм металлов в границах изученной территории под влиянием предприятий химической промышленности заметно более высокое по сравнению с соответствующими показателями фоновых территорий: для Pb в 8 раз, Ni – 36 раз, Cr – 42 раза, Co – 65 раз.



**Рис. 2.** Изменение содержания тяжелых металлов в составе почв предприятия «Свема». Оранжевое – валовое содержание тяжелых металлов в составе почв фоновых участков; синее – валовое содержание тяжелых металлов в составе техногенно измененных почв. Индексы горизонтов: HE – гумусово-элювиальный, E – элювиальный, Ie – иллювиальный элювирующий, I – иллювиальный.

Таблица 3.

Формы нахождения тяжелых металлов в составе гумусового горизонта почв предприятия «Свема» (n=15)

Формы нахождения	Ni	Pb	Zn	Cr	Cu	Co
	<b>Техногенные почвы</b>					
валовая	200	393	4000	300	200	13
подвижная	5,5 / 2,75	46,0 / 11,7	2400 / 60	7 / 2,3	20 / 10	0,2 / 1,5
резервная	49,5 / 24,75	197,0 / 50,1	1400 / 35	33 / 11	150 / 75	6,6 / 50,7
фиксированная	145 / 72,5	150 / 38,2	200 / 5	260 / 86,6	30 / 15	6,2 / 47,7
<b>Почвы фоновых участков</b>						
валовая	80	17	56	60	20	12
подвижная	0,4 / 72,5	1,4 / 8,2	1,7 / 3	0,2 / 0,3	2,2 / 1,1	0,1 / 0,8
резервная	2,6 / 72,5	4,8 / 28,2	7,8 / 14	0,6 / 1	4,3 / 21,5	1,3 / 10,8
фиксированная	77 / 72,5	10,8 / 63,5	46,5 / 83	59,2 / 98,6	13,5 / 67,5	10,6 / 88,3

Слева от косой черты – валовое содержание компонентов (мг/кг), справа – процентное содержание (%).

n – количество проб.

### Выводы

1. Физико-химические свойства, показатели содержания  $S_{орг.}$ , рН, емкости катионного обмена техногенно загрязненных почв г. Шостка значительно отличаются от соответствующих показателей почв условно чистых территорий.

2. Показатель суммарного загрязнения тяжелыми металлами (Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag) максимален для почв предприятий химической промышленности города. Для них же характерна повышенная подвижность металлов (Ni, Pb, Zn, Cr, Cu, Co), которые осаждаются на техногенных геохимических барьерах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв // Москва: Изд. Московского университета, 1970.– 487 с.

2. **Атлас почв Украинской ССР / Ред. Крупский Н.К., Полупанов Н.И.** // Киев: Урожай, 1970.– 159 с.

3. **Верднер И.Б., Тютюнник Д.А.** Природа Украинской ССР. Почвы // Киев: Наукова думка, 1986.– 229 с.

4. **Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т.** Загрязнение почв тяжелыми металлами // Москва: РАСХН, 2012.– 304 с.

5. **Глазовская М.А.** Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тя-

желыми металлами // Биологические науки.– 1990.– №9.– С.38-52.

6. **ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».**

7. **Долин В.В., Смирнов В.Н., Ищук А.А., Орлов А.А.** Техогенно-экологическая безопасность биогеосистемы Бугского лимана в условиях загрязнения тяжелыми металлами / Ред. **Соботвич Э.В.** // Киев-Николаев: РАЛ-полиграфія, 2011.– 200 с.

8. **Жовинский Э.Я.** Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины // Киев: Наукова думка, 2002.– 215 с.

9. **Ильин В.Б.** Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами // Агрехимия.– 1997.– №11.– С. 65-70.

10. **Мицкевич Б.Ф.** Геохимические ландшафты Украинского щита // Киев: Наукова думка, 1971.– 174 с.

11. **Павлоцкая Ф.И.** Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах // Москва: Атомиздат, 1974.– 215 с.

12. **Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С.** Город как техногенный субрегион биосферы // Труды биогеохимических лабораторий.– 1985.– №20.– С. 133-166.

13. Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды // Москва: Недра, 1989.– 325 с.

14. Самчук А.И., Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я., Шрамаренко И.Ф. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах Киевского Полесья // Геологический журнал.– 1993.– №1.– С. 81-86.

15. Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Долгин В.В. Развитие геохимии техногенеза после Чернобыльской катастрофы / Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища // Київ: ІГНС, 2011.– Вип. 19.– С. 19-40.

**КУРАЄВА І.В., ВОЙТЮК Ю.Ю., МАТВІЄНКО О.В., МУСІЧ О.Г., ДУНАЄВСЬКА О.В. Еколого-геохімічні дослідження ґрунтів, які знаходяться під впливом підприємств хімічної промисловості.**

*Резюме.* Були вивчені ґрунти підприємств хімічної промисловості та фонових ділянок міста Шостки Сумської області. Основні полігони досліджень знаходились поблизу заводу хімічних реактивів, заводу «Звезда» та підприємства «Свема». У відповідності з одержаними результатами, для техногенно забруднених ґрунтів характерні понижені показники вмісту  $C_{орг.}$ , рН і вмісту обмінних катіонів, а також підвищені концентрації важких металів у порівнянні з ґрунтами фонових ділянок. Вміст рухливих форм металів (Ni, Pb, Zn, Cr, Cu, Co) у ґрунтах підприємств значно більший високий у порівнянні з відповідними показниками ґрунтів фонових територій. Побудована карта загального забруднення ґрунтів міста важкими металами (Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag). Техногенні аномалії з максимальною концентрацією цих металів у складі ґрунтів поширені на відстані до 1 км від меж підприємств. Розміщення та конфігурація техногенних аномалій залежать від переважного напрямку вітрів. Рівень загального забруднення ґрунтів дослідженої території важкими металами є небезпечним або помірно небезпечним.

**Ключові слова:** Україна, Сумська область, підприємства хімічної промисловості, ґрунти, техногенне забруднення ґрунтів, важкі метали.

**КУРАЕВА И.В., ВОЙТЮК Ю.Ю., МАТВИЕНКО А.В., МУСИЧ Е.Г., ДУНАЕВСКАЯ О.В. Эколого-геохимические исследования почв, находящихся под влиянием предприятий химической промышленности.**

*Резюме.* Были изучены почвы предприятий химической промышленности и фоновых участков города Шостки Сумской области. Основные полигоны исследований находились вблизи завода химических реактивов, завода «Звезда» и предприятия «Свема». В соответствии с полученными результатами, для техногенно загрязненных почв характерны пониженные показатели содержания  $C_{орг.}$ , рН и содержания обменных катионов, а также повышенные концентрации тяжелых металлов по сравнению с почвами фоновых участков. Содержание подвижных форм металлов (Ni, Pb, Zn, Cr, Cu, Co) в почвах предприятий значительно более высокое по сравнению с соответствующими показателями почв фоновых территорий. Построена карта суммарного загрязнения почв города тяжелыми металлами (Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag). Техногенные аномалии с максимальной концентрацией этих металлов в составе почв распространены на расстоянии до 1 км от границ предприятий. Размещение и конфигурация техногенных аномалий зависят от преимущественного направления ветров. Уровень суммарного загрязнения почв изученной территории тяжелыми металлами является опасным или умеренно опасным.

**Ключевые слова:** Украина, Сумская область, предприятия химической промышленности, почвы, техногенное загрязнение почв, тяжелые металлы.

**KURAYEVA I.V., VOYTYUK Yu.Yu., MATVIYENKO O.V., MUSICH O.G., DUNAYEVSKA O.V. Ecological and geochemical studies of soils influenced by chemical industry enterprises.**

**Summary.** *Geochemical aspect has particular importance when studying heavy metals behavior in soils, namely the issues of heavy metals migration in the system soil-plant, their concentrations at geochemical barriers, ecological state of the environment.*

*The soils from chemical industry enterprises and background areas were the subject of researches of the authors. Ecological and geochemical assessment of state of the soils subjected to technogenic influence was the target of the work. The main testing areas were located in Shostka city, Sumy Oblast near industrial enterprises of the city that are Chemical agents plant, "Zvezda" plant and "Svema" enterprise.*

*According to the obtained results, decreased indices of  $C_{org}$  content, pH, exchange cations content as well as increased concentrations of heavy metals comparing to background area soils are typical for technogenically contaminated soils. Content of mobile forms of studied metals (Ni, Pb, Zn, Cr, Cu, Co) in soils of chemical industry enterprises is considerably higher comparing to corresponding indices of background area soils.*

*The map of total soil contamination of the city by heavy metals (Ni, Cr, Cu, Pb, Co, Ag) has been compiled. Technogenic anomalies with maximum concentration of these metals in soils are abundant at the distance of 1 km from the boundaries of chemical industry enterprises. Location and configuration of technogenic anomalies depend on prevailing direction of winds. The level of total contamination of soils of the studied area by heavy metals is hazardous and moderately hazardous.*

**Key words:** Ukraine, Sumy Oblast, chemical industry enterprises, soils, technogenic contamination of soils, heavy metals.

*Надійшла до редакції 9 січня 2015 р.  
Представив до публікації проф. В.О.Плотников.*