

УДК 576.4+551.43

**О.В. Яковенко¹, І.В. Кураєва¹, В.Ф. Філатов,
Н.О. Д’яченко², Н.О. Дуброва², С.Д. Павлюк³**

*¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ, Україна*

*²Український державний науково-дослідний і
проектно-конструкторський інститут гірничої геології,
геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України,
м. Донецьк, Україна*

*³Національний університет біоресурсів і природокористування
України, м. Київ, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ КАДМІЄМ У ЗОНІ ВПЛИВУ ГОРЛІВСЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ

Визначено вміст кадмію у ґрунтах і відвалах Горлівського хімічного заводу. За еколого-геохімічними показниками оцінено ступінь екологічної небезпеки. За допомогою геоінформаційних технологій змодельовано забруднення важкими металами ґрунтів зони впливу підприємства хімічної промисловості.

Ключові слова: кадмій, важкі метали, ґрунти, забруднення навколишнього середовища, моделювання.

У ХХІ ст. екологічні проблеми набули статусу глобальних. Людство усвідомлює небезпеку скорочення життя на Землі через свій негативний вплив на природне середовище, що пов’язано із підвищенням інтенсивності господарювання і, як наслідок, зростанням рівня забруднення довкілля.

Добуваючи руду й виплавляючи з неї метал, спалюючи й перероблюючи нафту, газ і вугілля, створюючи штучні матеріали, людина не тільки отримує необхідну їй енергію, продукти і товари, а й невідворотно продукує сотні тисяч шкідливих речовин і відходів, які потрапляють в атмосферу, водойми, ґрунти, у живі організми, зокрема в організм самої людини.

У процес забруднення природного середовища найбільший внесок робить хімічна промисловість. Вона відрізняється розмаїттям продукції, складними технологіями і видами сировини. Діяльність хімічного підприємства призводить до широкого спектра техногенних викидів, значна кількість яких є високотоксичною. Обсяг деяких викидів є дуже великим і визначає екологічну обстановку у регіоні [2, 5]. Внаслідок різнома-

ніття технологічних процесів і специфічних особливостей сировини, що найчастіше є токсичною, хімічну промисловість вважають однією з найскладніших у сенсі вироблення загальної стратегії зменшення об’єму викидів. Тому дослідження процесу забруднення навколишнього середовища підприємствами хімічної промисловості має пріоритетне соціальне та економічне значення.

Мета роботи – дослідження закономірностей розподілу важких металів у зоні аерації техногенно забруднених територій на прикладі Горлівського хімічного заводу (ГХЗ), побудова 3D-карт поширення забруднювачів у відвалах, ґрунтах і суміжних середовищах з метою моделювання навантаження на навколишнє середовище.

Об’єкти і методи досліджень. Об’єкт дослідження – закономірності міграції важких металів у відвалах, ґрунтах та суміжних середовищах техногенно забруднених територій на прикладі Горлівського хімічного заводу (рис. 1). Застосовано геоінформаційні, фізико-хімічні та хімічні методи дослідження: атомно-абсорбційний, спектральний, мас-спектрометричний із індукційно зв’язаною плазмою (MS-ICP, аналізатор ELEMENT-2).



Рис. 1. Схема розташування свердловин

Екологічну небезпеку забруднення ґрунтів важкими металами оцінено методом нормування за такими еколого-геохімічними показниками [4]:

- коефіцієнт небезпеки (K_o) – відношення концентрації забруднювача (C) до його гранично допустимої концентрації (ГДК): $K_o = C/\text{ГДК}$;
- коефіцієнт концентрації (K_c) – відношення концентрації забруднювача (C) до його регіональної фонові концентрації (C_{ϕ}): $K_c = C/C_{\phi}$;
- сумарний показник забруднення – сума коефіцієнтів концентрації забруднювачів, які перевищують одиницю: $Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1)$, n – кількість підсумованих величин.

Забруднення досліджуваних об’єктів оцінено у відповідності до методичних рекомендацій [1, 4].

За допомогою системи супутникового зв’язку, з використанням приймача GPS Promark-2 і тахометра SFT 330 R3 здійснено маркшейдерські роботи, у результаті яких обчислено об’єми відвалів Горлівського хімічного заводу та їх площу (рис.1). Так, об’єм відвалу № 1 – 211,8 тис. м³, площа 3,2 га, відвалу № 2 – 36,5 тис. м³ і 0,9 га відповідно.

Фізико-хімічну характеристику ґрунтів зони впливу ГХЗ наведено у табл. 1.

Фізико-хімічні властивості ґрунтів у зоні впливу ГХЗ відмінні від аналогічних показників “умовно чистої” території (заповідник “Хомутівський Степ”): сума поглинених катіонів є значно більшою у ґрунтах заповіднику, у техногенно забруднених ґрунтах на 7 порядків нижчий вміст Сор_г, що є наслідком структурних змін у ґрунтовому шарі через антропогенну діяльність. Вміст Ca²⁺ та вапнякових конкрецій є досить високим у ґрунтах обох досліджуваних ділянок. Рівень рН нижчий у техногенно порушених ґрунтах.

У результаті аналітичних досліджень визначено валовий вміст мікроелементів у ґрунтах Горлівської ділянки (табл. 2).

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості ґрунтів Горлівської ділянки

Тип ґрунту	C _{орг} , %	рН	Обмінні катіони, мг·екв/100 г					Σ Е
			H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
Чорнозем звичайний середньогумусний із вкрапленнями карбонатів	0,52	5,9	10,20	8,70	1,90	0,42	0,50	21,72
Чорнозем звичайний середньогумусний (“Хомутівський Степ”)	3,6	7,2	7,20	30,10	9,10	0,50	0,90	47,8

Таблиця 2. Вміст мікроелементів та еколого-геохімічні показники ґрунтів у зоні впливу Горлівського хімічного заводу (за даними опробування 70 точок)

Елемент	Показник		
	Вміст, мг·кг ⁻¹	K_0	K_c
Cd	<u>10-30</u> 5,41	<u>10-30</u> 5,4	<u>143-429</u> 78
Cr	<u>20-200</u> 93,6	<u>0,2-2</u> 0,9	-
Co	<u>4-20</u> 5,57	<u>0,5-2,5</u> 0,7	<u>0,3-1,6</u> 0,5
Ni	<u>4-50</u> 25	<u>0,04-0,6</u> 3,1	<u>0,12-1,6</u> 0,8
Zn	<u>80-2000</u> 5264	<u>0,8-20</u> 4,4	<u>0,8-20</u> 4,4
Mn	<u>20-1000</u> 510	<u>0,01-0,7</u> 0,34	<u>0,03-1,7</u> 0,85
Pb	<u>5-2000</u> 338	<u>0,15-62,5</u> 10,5	<u>0,24-97,6</u> 16,5
Cu	<u>10-1000</u> 211,4	<u>0,18-18,2</u> 3,8	<u>0,4-40</u> 8,5
Z_c	-	-	104,1

Примітка: над ризикою – min–max, під ризикою – med; K_0 – коефіцієнт небезпеки, K_c – коефіцієнт концентрації.

У ґрунтах Горлівської ділянки за геохімічними критеріями виділено техногенну асоціацію важких металів: Cd (78) > Pb (16,5) > Cu (8,5) > Zn (4,4) (табл. 2).

За сумарним показником забруднення ($Z_c = 104$) ґрунти Горлівської ділянки належать до небезпечної категорії забруднення.

Для визначення впливу відвалів на довкілля існуючих оглядових свердловин було недостатньо. Тому за допомогою мобільного буро-аналітичного комплексу МБАК [3] для екологічної розвідки пробурено 11 свердловин (рис. 1). За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення побудовано карту-план рельєфу і уклонів ділянки дослідження (рис. 2).

Глибина свердловин 1,5–7 м. Під час буріння було відібрано проби з глибин 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0 і 7,0 м і досліджено їх на вміст важких металів. Побудовано карти латерально-вертикального поширення кадмію і 3D-моделі рельєфу відвалів з накладеною картограмою розподілу кадмію

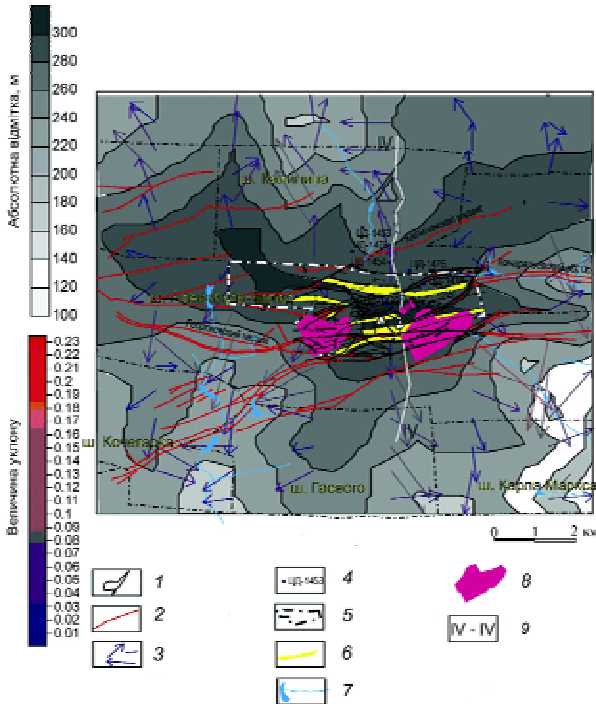


Рис. 2. Ситуаційний план рельєфу і уклонів площі дослідження: 1 – відвал; 2 – тектонічне порушення; 3 – напрямок і величина уклону; 4 – розвідувальна свердловина та її номер; 5 – межі шахтних полів; 6 – пісковики; 7 – елементи орографії; 8 – територія ГХЗ; 9 – лінії геологічного розрізу

(рис. 3, 4), а також об’ємні карти-схеми розподілу кадмію у відвалах ГХЗ з використанням ГІС-технологій (рис. 4, 5).

Максимальні концентрації кадмію зафіксовано на поверхні відвалів – 300 мг/кг.

У зразках ґрунту зі св. 2 і 3 на глибинах 0,5, 1,5 і 5 м вміст кадмію перевищує ГДК у 10–50 разів, що пов’язано з розташуванням цих свердловин у безпосередній близькості до сульфатних відвалів і нахилом поверхні у напрямку свердловин (див. рис. 3). Так, мікроелементи у токсичних концентраціях змиваються і переміщуються по ерозійній мережі на нижчі гіпсометричні рівні, утворюючи зони акумуляції (“пастки”). Проте не завжди можна прослідкувати цю тенденцію, тому що крім геоморфологічних факторів, як правило, чинять вплив сорбційно-ємнісні власти-

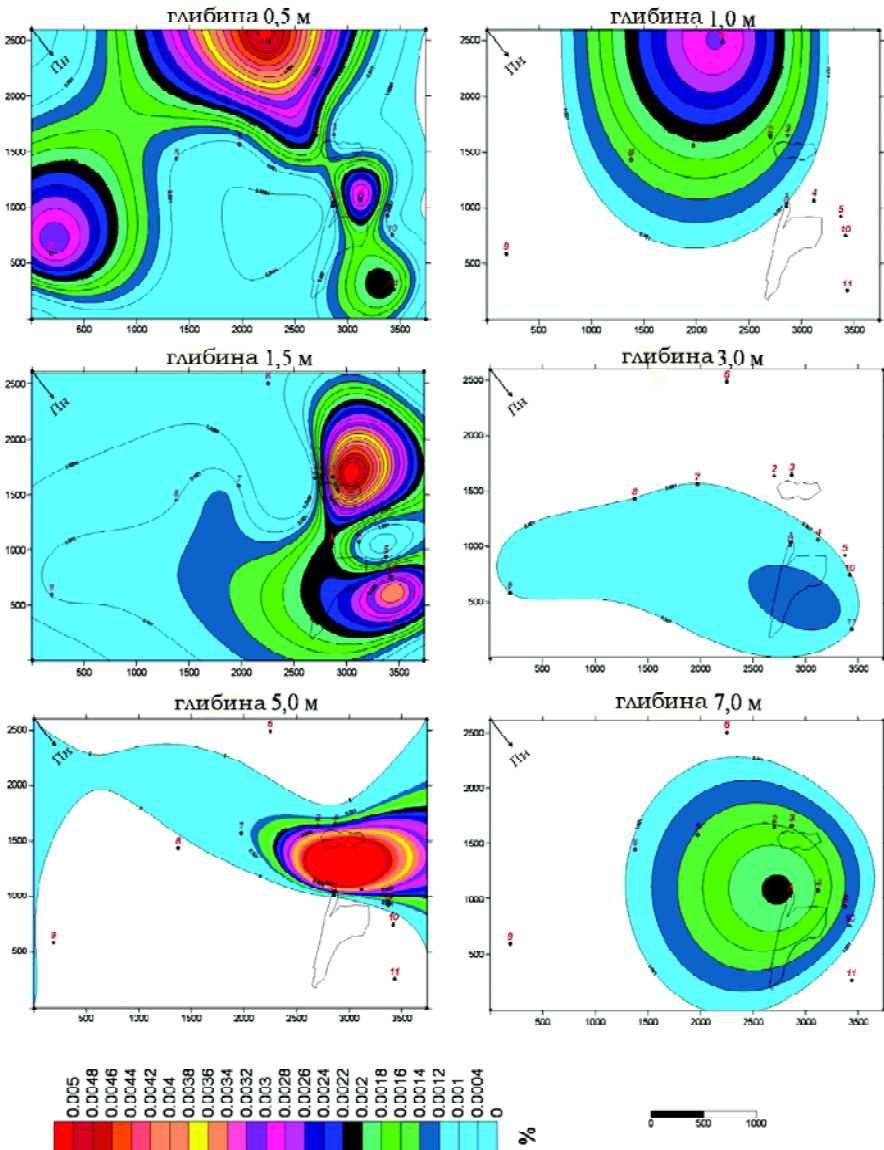


Рис. 3. Карти-схеми погоризонтного поширення кадмію

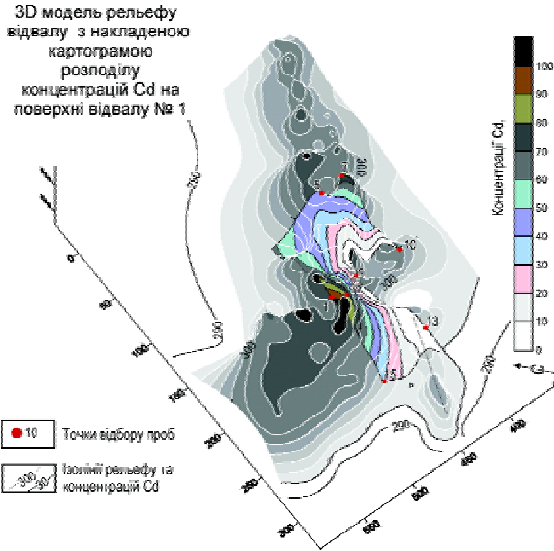


Рис. 4. Об'ємна модель відвалу № 1 з накладеною картограмою розподілу кадмію на поверхні відвалу.

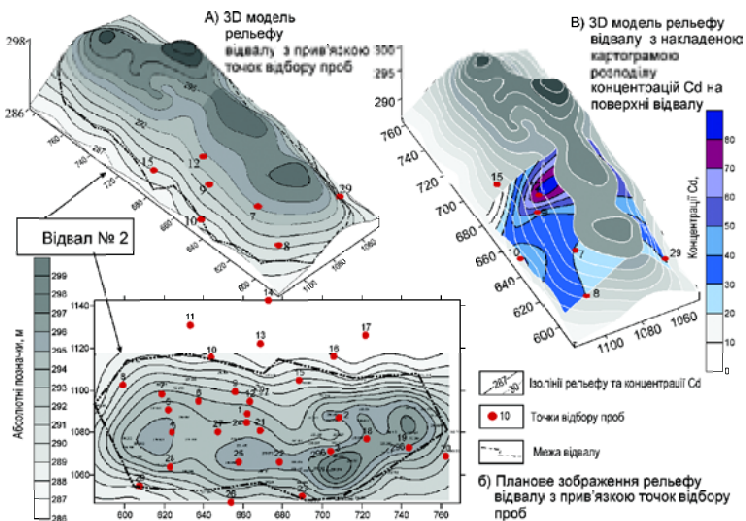


Рис. 5. Об'ємна модель відвалу № 2 з накладеною картограмою розподілу кадмію на поверхні відвалу.

вості ґрунтів, кислотно-лужна обстановка, а також наявність геохімічних бар’єрів.

Висновки. У результаті досліджень встановлено, що вміст кадмію та інших важких металів у відвалах та ґрунтах зони впливу Горлівського хімічного заводу значно перевищує ГДК. Важкі метали проникають на значні глибини внаслідок особливостей геологічної будови та величезних обсягів накопичених відходів на поверхні.

За сумарним показником забруднення ($Z_C = 104$) ґрунти Горлівської ділянки належать до небезпечної категорії забруднення.

Отже, комп’ютерне моделювання є ефективним інструментом для оцінки ризиків забруднення навколишнього середовища, контролю і керування факторами, що впливають на них, а також полегшує прийняття управлінських рішень для виконання більшого кола задач, які стоять перед екологічною геохімією.

1. *Андросова Н.К.* Геолого-экологические исследования и картографирование / Н.К. Андросова. – М.: РУДГН, 2000. – 98 с.
2. *Жовинский Э.Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – Киев: Наук. думка, 2002. – 214 с.
3. *Пат. 77135* Україна: МКИ Е 21 В 3 / 00. Установка для бурения малогабаритна / А.В. Анциферов, М.М. Кисельов, В.Ф. Філатов, – № 2012 09947; заявл. 17.08.2012; опубл. 25.01 2013. Бюл. № 2.
4. *Саэт Ю.Е.* Геохимия окружающей среды / Ю.Е.Саэт, Б.А.Ревич. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
5. *Яковенко О.В.* Форми знаходження та міграції кадмію у ґрунтах та ґрунтових розчинах техногенно забруднених територій на прикладі Побузького феронікелевого комбінату / О.В. Яковенко, І.В. Кураєва, В.Ф. Філатов, Н.О. Д’яченко, Н.О. Дуброва / Зб. наук. праць УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2011. – С. 416–428.

Моделирование загрязнения почв кадмием в зоне влияния Горловского химического завода А.В. Яковенко, И.В. Кураева, В.Ф. Филатов, Н.А. Дьяченко, Н.А. Дуброва, С.Д. Павлюк

Определено содержание кадмия в почвах и отвалах Горловского химического завода. По эколого-геохимическим показателям оценена степень экологической опасности. С помощью геоинформационных технологий смоделировано загрязнение почв кадмием и другими тяжелыми металлами в зоне предприятия химической промышленности.

Ключевые слова: кадмий, тяжелые металлы, почвы, загрязнение окружающей среды, моделирование.

Modelling of cadmium pollution in soils of Gorlivsky chemical factory

A. Yakovenko, I. Kuraeva, V. Filatov, N. Diachenko, N. Dubrova, S. Pavlyuk

The cadmium content in soils and sailings of Gorlivsky chemical factory is defined. On to ecological indicators it is estimated degree of ecological danger. By means of geoinformation technology pollution by cadmium and other heavy metals of soils in a zone of the enterprise of the chemical industry is simulated.

Keywords: Cadmium, heavy metals, soils, environmental pollution, modelling.