

УДК 631.416.8

М.В. Кузнецов, О.Г. Зима

Харківський національний економічний університет, Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Стаття присвячена розробці комп'ютерної моделі призначеної для прогнозування стану забруднення ґрунтів Харківської області важкими металами. Для створення цієї комп'ютерної моделі може бути використані такі методи і моделі: метод ARIMA, метод експонентного згладжування, модифікована модель Марчука.

**Ключові слова:** ґрунти, важкі метали, прогноз, метод, екологічне моделювання, часовий ряд прогнозування, забруднення ґрунтів.

### Вступ

Ґрунт є найбільш сприятливим середовищем існування для переважної більшості живих істот – мікроорганізмів, тварин і рослин.

Підприємства України щорічно викидають на поверхню землі більше 150 тис. тонн міді, 120 тис. тонн цинку, близько 90 тис. тонн свинцю, 12 тис. тонн нікелю, 1,5 тис. тонн молібдену, близько 800 тонн кобальту і близько 30 тонн ртуті [1].

Процес прогнозування стану забруднення ґрунтів важкими металами досить актуальний в даний час. Важкі метали відносяться до пріоритетних забруднюючих речовин, що спостереження за якими обов'язкові у всіх середовищах.

Термін важкі метали, що характеризує широку групу забруднюючих речовин, отримав останнім часом значного поширення. У різних наукових і прикладних роботах автори по-різному трактують значення цього поняття. У зв'язку з цим кількість елементів, що відносяться до групи важких металів, змінюється в широких межах. В якості критеріїв приналежності використовуються численні характеристики: атомна маса, густина, токсичність, поширеність в природному середовищі. У деяких випадках під визначення важких металів потрапляють елементи, пов'язані з крихким (наприклад, вісмут) або металоїди (наприклад, миш'як) [2].

Дослідивши динаміку розвитку геосистем та їх забруднення, можна моделювати та прогнозувати різні варіанти і сценарії їх подальшого функціонування в межах заданих екологічних та економічних параметрів, які забезпечать гармонізацію відносин між виробництвом та навколишнім середовищем

**Постановка проблеми.** Ґрунти Харківської області сильно змінені господарською діяльністю і тому відносяться до антропогенно-перетворених.

Техногенні ландшафти і ґрунти, як компонент ландшафту, забруднені, насамперед, важкими металами. В зв'язку з цим слід виділити етапи забруднення важкими металами ґрунтів Харківської області [3].

Перший етап (XVIII-XIX ст.) – початок промислового розвитку.

За літературними джерелами, наприклад, в 1815-1837 рр. кількість промислових об'єктів збільшилось на 58 %, що свідчить про стабільний ріст промислових підприємств у 20-30-ті рр. дев'ятого століття. У 1876 р. їх нараховувалося понад 125; 50 з них обслуговували харчову промисловість, решта – важку промисловість [2].

Другий етап – найпродуктивніший час радянської індустрії в 1987-1988 рр., коли забрудненість території досягла найвищого ступеня. Кількість промислових об'єктів досягла 1000, із загальним об'ємом шкідливих викидів 4 – 6 т/рік. У 60-х роках починається будівництво метрополітену і не припиняється і зараз. Ця подія зв'язана з перетворенням природних ґрунтів на міські. Це все обумовило необхідність максимальної деталізації досліджень для формування повної картини стану ґрунтів Харківської області, щодо забруднення їх важкими металами.

Третій етап – з 1995 р. і дотепер. Даний етап характеризується зменшенням ступеня забруднення ґрунту важкими металами, що пов'язано зі складними економічними умовами розвитку промисловості в Харківській області [3].

Проби забруднення ґрунту важкими металами відбиралися в районах підприємств: ОАО “Балцем”, Зміївської ТЕС, ДП ТЕЦ-5, ГПУ “Шебелинкагазпром”, ДП “Хімпром”, викиди цих підприємств забруднюють землі, але зони забруднення ґрунтів по області визначено не повністю. Ці підприємства є основними забруднювачами Харківської області [5].

**Постановка завдання.** Специфічною рисою сучасного етапу розвитку екології слід вважати широке впровадження різних методів математичного моделювання, яке повинне розглядатися як розширення традиційного, природничо-наукового поняття “експеримент”.

У даний час питання ефективного застосування обчислювальної техніки для вирішення різних задач моделювання та прогнозування в екології прийняло

широке поширення. Особливість даних проблемних областей полягає в малому числі теоретично обгрунтованих і добре узгоджувються з реальними даними обчислювальних моделей [2].

Тому прикладні задачі часто вирішуються на основі моделей, побудованих за таблицями експериментальних даних. При цьому проблему представляє як складність обліку всіх факторів, що впливають на ситуацію в конкретних територіях, так і складність збору територіально розподіленої інформації

### Основний матеріал

Для створення комп'ютерної моделі, призначеної для прогнозування стану забруднення ґрунтів важкими металами Харківської області було використано такі методи і моделі: метод ARIMA, метод експоненційного згладжування, модифікована модель Г.І. Марчука.

Експоненційне згладжування – це популярний метод прогнозування дуже багатьох тимчасових рядів. Метод був відкритий Броуном і Холтом. Метод експоненційного згладжування дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, характеризуючи не середній рівень процесу, а тенденцію, що склалася до моменту останнього спостереження. Найбільше застосування метод знайшов для реалізації середньострокових прогнозів. Для методу експоненційного згладжування основним і найбільш важким моментом є вибір параметра згладжування  $\alpha$ , початкових умов і ступеня прогнозуємого полінома [4].

Нехай вихідний динамічний ряд описується рівнянням:

$$y_t = a_0 + a_1 t + \frac{a_2}{2} t^2 + \dots + \frac{a_p}{p!} t^p + \varepsilon_t.$$

Прогноз реалізується за обраним многочленом. Відповідно для лінійної моделі:

$$\hat{y}_{t+\tau} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \tau.$$

У числі переваг методу необхідно відзначити його точність, що збільшується зі збільшенням числа рівнів динамічного ряду. Недоліком методу є те, що відсутній точний метод для вибору оптимальної величини параметра згладжування [4].

Нижче представлений приклад прогнозу забруднення ґрунту важкими металами по методу експоненційного згладжування (рис. 1).

У середині 90-х років минулого століття було розроблено принципово новий і досить потужний клас алгоритмів для прогнозування часових рядів. Більшу частину роботи по дослідженню методології та перевірці моделей була проведена двома статистиками, Г.Е.П. Боксом (G.E.P. Box) і Г.М. Дженкінсом (G.M. Jenkins). З тих пір побудова подібних моделей і одержання на їхній основі прогнозів іноді називається методами Бокса-Дженкінса.

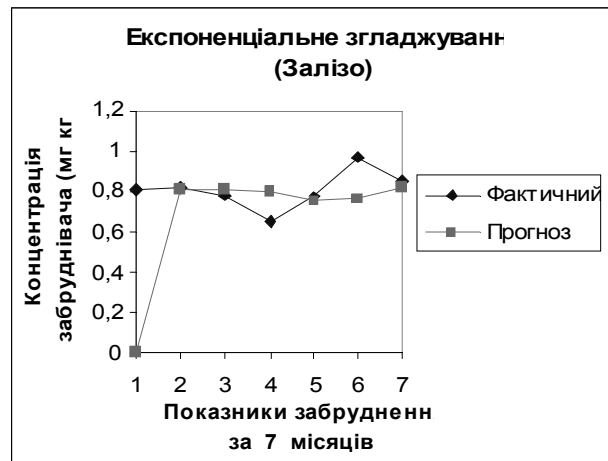


Рис. 1. Прогноз за методом експоненційного згладжування (Залізо (Fe))

Метод ARIMA (autoregressive integrated moving average, ARIMA) є узагальненням моделі авторегресійної змінної середнього. Ці моделі використовуються при роботі з часовими рядами для більш глибокого розуміння даних або пророкування майбутніх точок ряду.

Часовий ряд прогнозування стану забруднення ґрунту важкими металами – це впорядкована за часом послідовність значень деякої довільної змінної величини, в даному випадку це : показник забруднення ґрунту. Кожне окреме значення даної змінної називається відліком тимчасового ряду. Тим самим, часовий ряд істотно відрізняється від простої вибірки даних [3].

Процедури оцінки параметрів і прогнозування припускають, що математична модель процесу відома. У реальних даних часто немає чітко виражених регулярних складових. Окремі спостереження містять значну помилку, тоді як ви хочете не тільки виділити регулярні компоненти, а також побудувати прогноз.

Більшість часових рядів містять елементи, які послідовно залежать один від одного. Таку залежність можна виразити таким рівнянням:

$$x_t = \zeta + \varphi_1 \cdot \chi_{(t-1)} + \varphi_2 \cdot \chi_{(t-2)} + \varphi_3 \cdot \chi_{(t-3)} + \dots + \varepsilon_t,$$

де  $\zeta$  – константа;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – параметри авторегресії.

Кожне спостереження є сума випадкової компоненти (випадкове вплив), і лінійної комбінації попередніх спостережень. Такий ряд називається авторегресії.

Процес змінного середнього. На відміну від процесу авторегресії, в процесі змінного середнього кожний елемент ряду піддається сумарному впливу попередніх помилок. У загальному вигляді це можна записати наступним чином:

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \cdot \varepsilon_{(t-1)} - \theta_2 \cdot \varepsilon_{(t-2)} - \theta_3 \cdot \varepsilon_{(t-3)} - \dots,$$

де  $\mu$  – константа;  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – параметри змінного середнього.

Метод ARIMA більш складний алгоритм, який спирається на автокореляції, очевидно, що він, в цілому, не може працювати гірше, ніж алгоритм, заснований на згладжуванні. Крім того, якщо аналізувати наукові публікації останнього десятиліття можна бачити, що у переважній кількості робіт з

прогнозування класичними методами використовуються саме ARIMA, як найбільш обґрунтований і надійний алгоритм [4].

Нижче наведено приклад використання методу ARIMA для прогнозування забруднення ґрунту важкими металами (рис. 2, 3).

# Arima

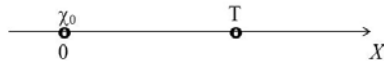
	Исходный временной ряд (Концентрация загрязнения почвы (никелем))
1	0,5200
2	0,5500
3	0,3800
4	0,4500
5	0,3100
6	0,4800
7	0,5100
8	0,5300
9	0,5200
10	0,5500
11	0,5400
12	0,4900
13	0,5300
14	0,5100
15	0,4800
16	0,5300
17	0,5200
18	0,5400

Рис. 2. Вхідні дані

Дата	Прогноз	Последние 18 точек временного ряда
2008	0,531	-0,947806229
2008	0,541	-2,020027967
2008	0,563	-0,634089545
2008	0,542	-0,578817804
2008	0,491	-0,905213198
2008	0,551	-1,45567852
2008	0,533	0,125642211
2008	0,525	-0,639815012
2008	0,527	-0,709960477
2008	0,518	0,553788293
2008	0,564	-0,193890635
2008	0,555	0,756684129
2008	0,532	0,301345665
2008	0,501	-0,528224434
2008	0,489	-0,056330742
2008	0,512	0,89583531
2008	0,541	1,836568656
2008	0,522	1,466399682
2008	0,531	1,832502923
2008	0,498	-0,385749405

Рис. 3. Результат прогнозу

Модифікована модель Г.І. Марчука заснована на параметрах, які можуть бути легко отримані або оцінені за результатами спостережень в існуючій системі моніторингу. За основу була прийнята гіпотеза Г.І. Марчука про те, що повітряні маси довгочасно переміщуються в одному напрямку (позитивний напрямок) ( $\Delta t_1$ ), а потім їхній рух міняється в протилежну сторону (негативний напрямок) ( $\Delta t_2$ ) (див. нижче схему) Тоді величина забруднення ґрунту в точці T та атмосфери над нею в основному залежить від вітрового потоку, що дме уздовж осі X у позитивному й негативному напрямку:



де  $\chi_0$  – джерело забруднення; T – крапка спостереження [1].

## Висновки

Таким чином, можна зробити висновки, що обрані методи прогнозу забруднення ґрунту важкими металами дозволяють при вивченні полів забруднення обмежитися мінімумом точок відбору проб, інтерполювати і екстраполювати значення рівнів забруднення в точках, де не було вимірювань, мати

можливість оцінити розміри зони локального забруднення і прогнозувати можливі рівні забруднення в майбутньому.

## Список літератури

1. *Сельскохозяйственный отраслевой сервер Agrotage.com [Електронний ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://www.agrotage.com/stat\\_id.php?id=530](http://www.agrotage.com/stat_id.php?id=530).*
2. *Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды: учебн. пособие / Г.И. Марчук. – М: Наука, 2000. – 350 с.*
3. *Ричак, Н.Л. Динаміка просторово-почасового забруднення важкими металами ґрунтів м. Харкова / Н.Л. Ричак. – Х.: ХПИ, 2003. – 200 с.*
4. *Безручко Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды: учебн. пособие / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. – Саратов: ГосУНЦ "Колледж", 2005. – 210 с.*
5. *Титенко А.В. Оценка состояния почвенного покрова в условиях интенсивного промышленного загрязнения / А.В. Титенко. – Х., 2004. – 133 с.*

Надійшла до редколегії 30.04.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Лістровий, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

М.В. Кузнецов, А.Г. Зима

*Статья посвящена разработке компьютерной модели предназначенной для прогнозирования состояния загрязнения почв Харьковской области тяжелыми металлами. Для создания этой компьютерной модели может быть использованы такие методы и модели: метод ARIMA, метод экспоненциального сглаживания, модифицированная модель Марчука.*

**Ключевые слова:** почвы, тяжелые металлы, прогноз, метод, экологическое моделирование, временной ряд прогнозирования, загрязнение почв.

**MODELING AND FORECASTING THE STATE OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS KHARKIV REGION**

M.V. Kuznetsov, O.G. Zima

*The article is dedicated to the development of a computer model designed to predict the state of soil pollution with heavy metals Kharkiv region. To create a computer model that can be used such methods and models: a method of ARIMA, exponential anti-aliasing method, a modified model of Marchuk.*

**Keywords:** soils, heavy metals, prognosis, method, ecological design, temporal row of prognostication, contamination of soils.