

УДК 656.71:504.43/45(045)

С.М. Маджд, асист.
Т.В. Михалєвська, доц.
Г.М. Франчук, д-р техн. наук, проф.

АНАЛІЗ ҐРУНТІВ У ЗОНІ АЕРОПОРТУ КИЇВ

Розглянуто техногенне навантаження на ґрунтовий покрив на територіях, прилеглих до аеропорту. Виконано аналіз бази даних про стан ґрунту за допомогою математичних методів. Побудовано множинну кореляційну модель для оцінювання впливу факторних показників на довкілля.

The technogenic pressure imposed on the soils in the airport vicinity is discussed. The analysis of the database on the soils condition was carried out using mathematical models. The multitude correlation model was built for the purpose of environmental factor indexes assessment.

Постановка проблем

Проблема дослідження забруднення довкілля на територіях, які підпадають під вплив авіатранспортних процесів, є актуальною в усьому світі. Діяльність аеропортів та їх вплив на стан ґрунтів і ґрунтових вод потребують ґрунтового і ретельного вивчення, а також реалізації заходів щодо запобігання забрудненню ґрунтового покриву.

Аналітичний огляд літературних джерел показав, що дослідженню авіатранспортних процесів нині не приділяється належної уваги, переважають звичай суто експериментальні роботи. Маловивченим аспектом впливу авіатранспортних процесів на довкілля є зміни стану ґрунтового покриву та рослинних асоціацій на територіях, прилеглих до аеропорту.

У працях [1–3] подано детальну класифікацію всіх видів шкідливих впливів та зроблено спробу побудувати узагальнену багатовекторну кібернетичну екомодель, що адекватно описує поточний стан екосистеми та достовірно прогнозує її подальший розвиток. Реально такі моделі були побудовані лише для обмеженої кількості спрощених екосистем.

Мета цієї роботи – вивчення техногенного навантаження на ґрунтовий покрив на територіях у зоні впливу авіатранспортних процесів, збір та формування бази даних про стан ґрунту, аналіз отриманої бази за допомогою математичних методів та розроблення системи заходів щодо екологічної безпеки ґрунтів у зоні аеропорту.

Ґрунт є однією з головних складових у кругообігу хімічних речовин у довкіллі. Токсичні речовини, потрапляючи у ґрунт, мігрують по профілю до підґрунтових вод, які з'єднані в суцільну гідросітку з річками, озерами, болотами. Крім того, за рахунок змивання поверхневим стоком, що формується з атмосферних опадів, додатково вносяться шкідливі речовини в природні водні об'єкти.

Актуальність полягає в тому, що маловивченим аспектом впливу авіатранспортних процесів на довкілля є зміна стану ґрунтового покриву біля штучних покриттів. У результаті тривалого впливу авіатранспортних процесів ущільнюється ґрунт, що призводить до змін його геоморфологічної структури.

Зміна структури ґрунту може спричинити зміну підземного стоку, водоносного горизонту, порушення живлення струмків.

Об'єкт дослідження – це аеропорт Київ і території, прилеглі до нього, на яких розташовані авіаремонтне та авіатранспортне підприємства.

Усебічне спостереження за станом довкілля – складне завдання і його вирішення можливе лише через розподілення загального завдання на ряд підпорядкованих завдань.

Під час виконання моніторингових робіт зони аеропорту було досліджено ґрунтовий покрив, рослинні асоціації, поверхневі, ґрунтові води, донні відклади, а також атмосферні опади у вигляді дощу та снігу.

Проби ґрунту на територіях, прилеглих до аеропорту, були відібрані на поверхні та на глибині 20 см згідно з ГОСТ 17.4.3.01 – 83.

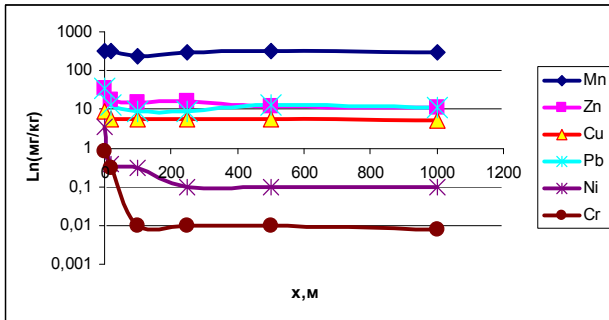
Результати досліджень

Результати аналізу поверхневого покриву ґрунту на територіях прилеглих до аеропорту наведено в табл. 1.

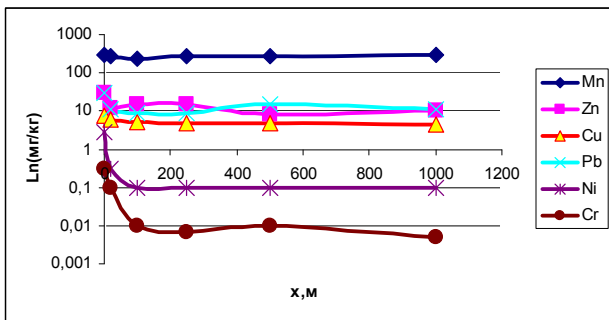
Токсичність встановлювали за результатами смертності тест-об'єктів *Daphnia magna* у водних витяжках поверхневого ґрунту в розведенні 1:5.

На злітно-посадкової смуги (ЗПС) смертність становила 75 %, на відстані від ЗПС 20 м – 72 %, 100 м – 50 %, 250 м – 50 %, 500 м – 45 %, 1000 м – 40 %, контроль – 9 %.

Результати аналізу проб поверхневих ґрунтів у зоні аеропорту Київ, показано на рис. 1, а. Для поліпшення відображення даних використовують логарифмічну шкалу осі значень концентрацій металів за сухою масою.



а



б

Рис. 1. Результати аналізу ґрунтів у зоні аеропорту Київ:
а – поверхня ґрунту;
б – на глибині 20 см

Забруднення з відстанню зменшується монотонно з найбільшим тангенсом нахилу дотичної в радіусі 100 м.

Результати аналізу проб, ґрунтів відібраних на глибині 20 см, наведено в табл. 2.

Токсичність також встановлювали за результатами смертності тест-об'єктів *Daphnia magna* у водних витяжках ґрунту, відібраного на глибині 20 см у розведенні 1:5.

На ЗПС смертність становила 70 %, на відстані від ЗПС 20 м – 65 %, 100 м – 50 %, 250 м – 50 %, 500 м – 45 %, 1000 м – 25 %, контроль – 9 %.

Графічну ілюстрацію досліджень проб ґрунту, відібраних на глибині 20 см, показано на рис. 1, б. Цей графік виявляє менший градієнт змін забруднень залежно від відстані. Загалом експериментальні дослідження встановили найвищі концентрації Mn, а проби, відібрані на глибині 20 см, указують на високі значення Mn і Zn. Це пояснюється міграційними властивостями сполук цих елементів, фільтраційними течіями та дифузійними процесами.

Для виявлення кількісних зв'язків між параметрами отриманої бази даних було застосовано кореляційно-регресійний аналіз. За показник стану довкілля було взято токсичність проб, а факторами стали концентрації забруднення і просторові характеристики його поширення.

Екологічні явища і процеси залежать від великої кількості факторів, і зазвичай кожен фактор окремо не визначає екологічні явища, що вивчаються. Тільки комплекс факторів у їх взаємозв'язку може дати більш чи менш повне уявлення про характер досліджувальних процесів. Тому використано множинну кореляцію, яка досліджує взаємодії декількох факторів із результативними показниками.

Застосування кореляційного аналізу дозволяє вирішити такі завдання:

- визначити зміни результативного показника під впливом одного або кількох чинників (в абсолютному вираженні), тобто визначити, на скільки одиниць зміниться значення результативного показника зі змінюванням факторного на одиницю;

- установити відносний ступінь залежності результативного показника від кожного чинника.

Дослідження кореляційних співвідношень має велике значення для аналізу екологічних процесів. Це виявляється в тому, що значно поглиблюється факторний аналіз, установлюється місце і роль кожного чинника у формуванні рівня дослідження показників. І як підсумок – точніше обґрунтовуються глобальні проекти захисту довкілля та поточні екологічні заходи.

На підставі проведених досліджень більш об'єктивно оцінюється підсумок природоохоронної діяльності.

Багатофакторний кореляційний аналіз складається з декількох етапів:

- на першому етапі визначають чинники, які впливають на показник, що вивчається, і відбирають найбільш суттєві для кореляційного аналізу;
- на другому етапі збирають і оцінюють вихідну інформацію, потрібну для кореляційного аналізу;
- на третьому етапі визначають характер і моделюють зв'язок між чинниками і результативним показником, тобто підбирають і обґрунтовують математичне рівняння, яке найбільш точно виражає сутність залежності, що вивчається;
- на четвертому етапі проводять розрахунок основних показників зв'язку кореляційного аналізу;
- на п'ятому етапі виконують статистичну оцінку результатів кореляційного аналізу і практичного їх застосування.

Щоб обрати чинники, які надалі будуть включені до множинної кореляції, аналізують парні регресії, встановлюють наявність зв'язку між результативним показником та кожним із чинників. Обґрунтовують рівняння зв'язку за допомогою зіставлення паралельних рядів, групування даних і лінійних факторів. У цьому дослідженні за результативний показник взято токсичність ґрунтів, що оцінюється смертністю дафній у водних витяжках ґрунтів, які обрано як тест-об'єкт дослідження.

Факторними показниками для ґрунтів є:

- вміст нафтопродуктів;
- рН водних витяжок ґрунтів;
- глибинність взяття проб;
- концентрація важких металів;
- віддаленість від ЗПС.

У розрахунковій табл. 3, взятій із середовища табличного процесора Excel, подано зведені характеристики впливу забруднювальних чинників на токсичність ґрунту (фактичну та розрахункову), що отримано моделюванням на основі багатофакторної лінійної кореляційної моделі Excel.

Результати розроблення багатофакторної моделі вбудованими засобами Excel, подано в табл. 4.

Частинні коефіцієнти кореляції, що визначають тісноту зв'язку між показником та окремими факторами досліджуваного процесу, для X1 становлять 0,94, для X2 – 0,69, для X3 – 0,28, для X4 – 0,92, для X5 – 0,79.

З аналізу їх значень видно, що найбільш тісно показник пов'язаний з першим, четвертим та п'ятим чинниками, які являють собою відповідно вміст нафтопродуктів, концентрацію важких металів, віддаленість від ЗПС. Найменш тісно показник пов'язаний з глибинністю взяття проб. Коефіцієнт парної кореляції 0,28 свідчить про слабкий парний зв'язок, однак цей фактор теж включаємо у модель, урахувавши його важливе змістовне значення. Фактор, пов'язаний з глибинністю взяття проб, має фоновий характер, і його зміна суттєво не впливає на визначальний показник моделі.

Розрахункові значення квадратичних коефіцієнтів варіації V_d , які наведено в табл. 3, в цілому менші за 33 %. Це свідчить про однорідність досліджуваної інформації, що добре позначається на якості розробленої моделі. Неоднорідними є дані про віддаленість проб від ЗПС. Ця неоднорідність обов'язково відображається в моделі. Адекватність розробленої моделі оцінювали за критерієм Фішера, який за результатами табл. 4

становив 17,087, що значно більше від табличного значення 1,7. Це свідчить про адекватність розробленої моделі досліджуваному процесу. Точність моделі оцінено в табл. 4 за допомогою квадратичного коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,9344$ та множинного коефіцієнта кореляції, який становить 0,9666. Близькість значень цих коефіцієнтів до одиниці свідчить про значну точність розробленої моделі:

$$Y = 0,0718 \cdot X_1 + 1,1714 \cdot X_2 + 0,0807 \cdot X_3 + 1,1131 \cdot X_4 - 0,012 \cdot X_5 + 32,538.$$

Коефіцієнти рівняння регресії показують абсолютну зміну відсотка смертності *Daphnia magna* зі змінюванням відповідного факторного показника на одиницю і незмінність інших. Вільний член регресії показує, яким буде відсоток смертності *Daphnia magna* без зміни впливу обраних чинників. Під час аналізу коефіцієнтів моделі виявлено той факт, що найбільш суттєво на токсичність ґрунту впливають X2 та X4 тобто рН ґрунту, вміст важких металів, вміст нафтопродуктів та глибина взяття проб. Той факт, що коефіцієнт моделі для фактора відстані від ЗПС має мале та від'ємне значення, свідчить про відображення в моделі суттєвої неоднорідності даних за цим чинником.

Графічно ілюструє зіставлення результатів моделювання та фактичних даних рис. 2, на якому видно відповідність моделювання досліджуваним процесам.

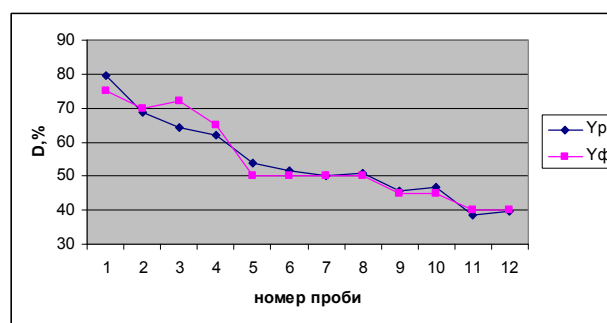


Рис. 2. Моделювання сумарного впливу факторних показників ґрунтів на смертність ракоподібних

Y_p – розрахункова смертність, %;

Y_f – фактична смертність, %

Розглянемо коефіцієнт еластичності основних факторних зв'язків, за якими оцінюється токсичність ґрунту залежно від зміни відповідного чинника.

Таблиця 1

Проби поверхневого ґрунту в зоні аеропорту Київ

Відстань від ЗПС, м	Метали, мг/кг сухої суміші						Нафтопродукти, мг/кг сухої маси	рН водних витяжок
	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr		
0	330,0	36,0	9,0	35,0	3,5	0,8	119,0	6,9
20	310,0	17,7	6,6	12,9	0,4	0,3	86,5	6,9
100	233,0	15,3	5,5	8,8	0,3	0,01	51,5	6,9
250	285,0	16,8	5,6	9,1	0,1	0,01	31,6	7,0
500	314,5	12,0	5,5	12,5	0,1	0,01	17,5	6,8
1000	306,0	11,5	5,2	11,5	0,1	0,008	13,5	7,2
Контроль	230,0	1,1	1,5	2,6	–	–	1,1	7,4

Таблиця 2

Проби ґрунту відібрані на глибині 20 см

Відстань від ЗПС, м	Метали, мг/кг сухої суміші						Нафтопродукти, мг/кг сухої маси	рН водних витяжок
	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr		
0	300,0	30,0	7,8	31,0	2,9	0,3	88,5	7,0
20	283,0	11,6	6,1	10,7	0,3	0,1	54,3	7,1
100	230,0	15,0	5,1	8,9	0,1	0,01	31,5	7,0
250	280,2	15,4	4,9	8,5	0,1	0,007	30,0	7,0
500	282,5	8,3	4,8	15,5	0,1	0,01	11,5	6,9
1000	290,0	10,5	4,3	11,1	–	0,005	11,5	7,2
Контроль	216,0	0,8	1,0	2,1	–	–	0,9	7,5

Таблиця 3

Сумарний вплив факторних показників для ґрунтів на смертність ракоподібних

Відстань від ЗПС, X5, м	Смертність Y, %		Нафтопродукти X1, мг/кг сухої маси	рН водних витяжок X2	Глибина проби X3, см	Свинець X4, мг/кг сухої маси
	Розрахункова	Фактична				
0	79,60	75	88,5	7,2	0	29
0	68,92	70	60	7	20	20
20	64,32	72	54,3	6,9	0	18
20	61,95	65	42	7,1	20	15
100	53,85	50	31,5	6,8	0	11
100	51,73	50	29	6,9	20	7,7
250	50,01	50	30	7	0	9
250	50,97	50	27	7,1	20	8,5
500	45,66	45	11,5	6,9	0	9
500	46,84	45	9,8	7,2	20	8,4
1000	38,56	40	11,5	7,5	0	7,2
1000	39,61	40	10	7,3	20	7
Vd = 94 %	Vd = 20 %	Vd = 20 %	Vd = 24 %	Vd = 2 %	Vd = 100 %	Vd = 32 %

Таблиця 4

Результати розробки багатофакторної моделі вбудованими засобами Excel

Розрахункові коефіцієнти моделі	X5	X4	X3	X2	X1	b
	-0,012	1,1131	0,0807	1,1714	0,0718	32,538
	0,0115	0,788	0,1497	13,718	0,2758	90,438
R2	0,9344	4,3856	Коефіцієнт кореляції F _{таб}	0,9666		
F	17,087	6		1,7		
Квадратичні відхилення	1643,3	115,4				

Коефіцієнт еластичності E_i показує, на скільки зміниться Y в разі зміни кожного чинника X на 1 % :

$$E_i = \frac{a_i X_i(\text{сер})}{Y_{\text{роз.сер}}} 100 \%,$$

де a_i – коефіцієнт регресійного рівняння.

Коефіцієнт еластичності за X_1 ($E_1 = 4 \%$) і показує, що зі збільшенням X_1 на 1% (вміст нафтопродуктів Y (відсоток смертності *Daphnia magna*) підвищився на 4 %.

Коефіцієнт еластичності за X_2 ($E_2 = 15 \%$) показує, що зі збільшенням X_2 (рН водних витяжок із ґрунтів) на 1% Y підвищиться відповідно на 15 %.

Коефіцієнт еластичності за X_3 ($E_3 = 1 \%$) показує, що зі збільшенням X_3 (глибина взяття проб) на 1 % Y відповідно збільшиться на 1 %.

Коефіцієнт еластичності за X_4 ($E_4 = 24 \%$) показує, що зі збільшенням X_4 (вміст важких металів Y збільшиться відповідно на 24 %.

Коефіцієнт еластичності за X_5 ($E_5 = 7 \%$) показує, що зі збільшенням X_5 (відстань від ЗПС) на 1 % Y зменшиться відповідно на 7 %.

Сумарна еластичність для ґрунту E показує, на скільки відсотків зміниться Y за одночасної зміни всіх X на 1 %.

Для ґрунтів $E = \sum E_i = 39 \%$.

Отже, у разі одночасної зміни всіх X для ґрунтів на 1 % Y збільшиться на 39 %.

Висновки

З проведеного кореляційно-регресійного аналізу та моделювання стану ґрунтів у зоні впливу авіатранспортних процесів можна зробити такі висновки.

1. Вплив діяльності аеропорту на ґрунти може призвести до підвищення їх токсичності, яку визначали за допомогою тест-об'єктів *Daphnia magna*.

2. Кількісні зв'язки між показником смертності *Daphnia magna* і чинниками забруднення довкілля, визначені за допомогою кореляційно-регресійного аналізу, дають змогу зробити висновки про повноту і суттєвість зв'язку між факторним і результативним показниками як попарно, так і сумарно.

3. Побудована множинна кореляційна модель дозволяє оцінити шкідливий синергетичний вплив факторних показників на довкілля. Результати свідчать про значний вплив авіатранспортних процесів на природно-територіальний комплекс. Найбільш небезпечним для довкілля є вміст важких металів, нафтопродуктів з обов'язковим урахуванням кислотності ґрунтів та відстані від ЗПС.

Література

1. Толбатов Ю.А. Загальна теорія статистики засобами Excel: Навч. посіб. – К.: Четверта хвиля, 1999. – 224 с.
2. Ларсен Р.У. Инженерные расчеты в среде Excel / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 554 с.
3. Герасименко С.С. Загальна статистика: Підруч. – К.: КНЕУ, 1998. – 468 с.
4. Ассєв Г.Г. Теорія ймовірностей та математична статистика: Навч. посіб. – Х.: ХДАК, 2004. – 89 с.
5. Бадрызлов В. А. Общая теория статистики: Учеб. пособие. – Омск, 2001. — 106 с.

Стаття надійшла до редакції 17.11.07.