

УДК 504.064:656.71(082)

О.Ю. Драч
Г.М. Франчук, д-р техн. наук

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

НАУ, кафедра екології, e-mail: fod @ nau.edu.ua

Досліджено вплив авіаційних транспортних процесів на фітотоксичність ґрунту. Визначено суттєвий вплив нафтових забруднювачів на мікробіоту ґрунтів у зоні аеропорту. Виконано факторний аналіз ферментативної активності ґрунту за наявності важких металів і нафтопродуктів та еколого-економічне оцінювання ґрунту в умовах тривалих авіаційних транспортних процесів. Отримано математичні моделі для прогнозування стану ґрунтів на прилеглих до аеропорту територіях.

Вступ

Бурхливий розвиток промисловості та транспорту, створення нових хімічних сполук, польоти літаків і космічних апаратів, широке застосування пестицидів, добрив, поверхневоактивних речовин, інтенсивне споживання паливно-енергетичних ресурсів, розвиток ядерних технологій призводять до виникнення екологічних проблем [1]. Одне з провідних місць у соціально-економічному розвитку держави, збереженні природного середовища, умов існування людини займає аграрний сектор. Визначальною умовою сталого сільськогосподарського виробництва є наявність родючих ґрунтів. Однак площа їх у світі продовжує високими темпами зменшуватись, а площа забруднених еродованих земель збільшуватися. Компенсувати ці втрати неможливо ні новими сортами рослин, ні інформаційними агротехнологіями, ні системами захисту рослин від хвороб, шкідників і бур'янів [2]. Усі досягнення науково-технічного прогресу будуть неефективними на деградованому ґрунті. Надзвичайно важко відновити зруйнований ґрунт, його якісні показники та біоту, але на відновлення 1 см ґрунту потрібно 200–300 р. [3]. Оскільки одним із найважливіших факторів процесу погіршення стану довкілля є виробничо-господарська діяльність людей, необхідна розробка концепції сталого розвитку агроєкосистем України, яка передбачає створення системи агроєкологічного моніторингу, зростання рівня виробництва високоякісної продукції при збереженні природних ресурсів і поліпшення умов існування людей.

Основним завданням такого моніторингу повинно бути збирання, опрацювання, накопичення і передача інформації про стан агросфери та динаміки зовнішніх чинників, що впливають на її показники, аналіз отриманої інформації, модулювання і прогнозування можливих змін у часі й просторі, обґрунтування управлінських рішень та їх фахова експертиза.

Аналіз досліджень і публікацій

Результати аналізу еколого-агрохімічного стану земельних ресурсів і нові методологічні підходи до здійснення обстеження та паспортизації сільськогосподарських угідь наведено в праці [3]. Оцінювання інтенсивності емісії радіоактивного пилу і швидкості його осадження на ґрунт виконано в праці [4].

Вплив атмосферних забруднень важкими металами на властивості ґрунтів розглянуто в праці [5]. Проблема забруднення ґрунтів важкими металами присвячені праці [6–8].

У праці [6] показано, що важкі метали найбільш повно адсорбуються ґрунтом при низьких концентраціях, причому Cd і Zn поглинаються ґрунтом в менших кількостях ніж Pb. Тому при сумісному надходженні Zn, Cd і Pb, в першу чергу, слід контролювати в ґрунтах і природних водах вміст Cd як найбільш рухомого і токсичного елемента.

Для всіх важких металів відмічено зменшення селективності поглинання з підвищенням концентрацій металів і поступове переважання реакцій еквівалентного обміну катіонів важких металів на поглинутий Cd. Зі збільшенням забрудненості ґрунтів у міру заповнення місць, які специфічно адсорбують важкі метали, слід чекати послаблення зв'язку важких металів з твердими фазами ґрунтів і посилення конкуренції за іонообмінні адсорбційні місця з боку катіонів лужних і лужноземельних металів. Стан ще більше погіршується, якщо ґрунт піддається комплексному забрудненню кількома важкими металами, оскільки вони конкурують не лише за іонообмінні центри ґрунту, але й за місця, що селективно адсорбують важкі метали.

Для успішного вирішення проблеми нормування дії важких металів на ґрунт необхідно мати систему взаємозв'язаних показників [7]:

– граничнодопустимі норми надходження речовини на одиниці площі;

- граничнодопустиму концентрацію (ГДК) важкого металу в атмосфері;
- граничнодопустиму концентрацію в наземному рослинному покриві;
- граничнодопустиму концентрацію в ґрунті та в ґрунтових водах.

При цьому ґрунтове нормування повинно мати набір показників, які характеризують стан ґрунту як системи в цілому, так і окремих його фізико-хімічних властивостей.

Вплив забруднення важкими металами на фітотоксичність чорнозема досліджувався в праці [8]. Дія важких металів залежала від природи металу, його вмісту в ґрунті та терміну експозиції. Було показано, що вміст у ґрунті у великих кількостях навіть тих металів, фізіологічна роль яких до цього часу не встановлена, не тільки не виявляв фітотоксичної дії, але й стимулював ріст і розвиток рослин.

Ієрархічна система біоіндикації ґрунтів, забруднених важкими металами, подана в праці [9].

У праці [10] було показано, що в системі моніторингу забруднення ґрунту важкими металами стосовно крупних промислових міст великого значення набуває вибір фону, оскільки від цього залежить правильність оцінки рівня забруднення ґрунту. Використання для фону кларків хімічних елементів у літосфері недоцільно, оскільки в цьому випадку не враховуються регіональні та місцеві геохімічні особливості ґрунтового покриву, а саме наявність у ньому природних ареалів з високою або низькою кількістю хімічних елементів.

Природні геохімічні акумуляції можуть бути подані за ареали техногенного забруднення, або не помічене техногенне накопичення елемента в ґрунтах, де його природна концентрація була незначною. Для запобігання появи помилок необхідно збирати інформацію про місцевий фоновий (природний) вміст хімічних елементів, у т. ч. і важких металів.

Результати комплексних досліджень впливу важких металів Cd, Pb, Zn, Cu, Mo, Mn на розвиток сільськогосподарських рослин показали, що екологічне нормування за ГДК є недостатнім, що свідчить про необхідність комплексного вивчення проблеми техногенних забруднень ґрунтів важкими металами [11].

Аналіз даних про вміст різних гумусових речовин та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у ґрунтах показав, що, надходячи на ґрунтову поверхню з частками пилу, опадами або безпосередньо з атмосфери, техногенні поліциклічні ароматичні вуглеводні практично не здатні мігрувати в ґрунтовому розчині через малу розчинність, тому в умовах стабільної поверхні вони накопичуються в перших верхніх сантиметрах профілю [12].

Постановка завдання

Антропогенна діяльність, пов'язана зі створенням і використанням авіаційної та ракетно-космічної техніки в сучасних умовах, – це найважливіша сфера застосування інтелектуальних і технічних можливостей людства в інтересах вирішення наукових та народногосподарських проблем.

Однак зі збільшенням інтенсивності експлуатації авіаційної та ракетно-космічної техніки збільшується вплив такої техніки на довкілля не тільки в районах функціонування аеродромів і космодромів, але й в значно більших просторово-часових масштабах.

Об'єктом дослідження цієї роботи є природно-територіальний комплекс в зоні дії аеропорту. Основне завдання – здійснення постійного спостереження за станом довкілля, порівняння та оцінка відповідності концентрацій забруднюючих речовин установленим вимогам, моделювання впливу автотранспортних процесів на складові біосфери і на підставі результатів досліджень прогнозування стану природно-територіальних комплексів, зокрема, агроєкосистем за умови зміни біотичних та абіотичних факторів довкілля.

Транспортний пресинг на природні та штучно змінені ландшафти збільшується.

Існуюча система землекористування не враховує негативного техногенного впливу на довкілля, принцип оцінки екосистеми в стані розробки. Для вирішення цієї проблеми першочерговим завданням є встановлення комплексного моніторингу на різних рівнях.

Дослідження впливу авіаційних транспортних процесів на ґрунти території, прилеглій до аеропорту, де інтенсивно ведуться сільськогосподарські роботи, проводили в Київській області. Основні показники ґрунтового покриву [13; 14] наведено в табл. 1.

Основними завданнями дослідження були:

- встановлення середньорічної інтенсивності руху літаків;
- розрахунок маси викидів шкідливих речовин, регламентованих ІКАО;
- визначення зміни біологічного стану ґрунту (фітотоксичності) відносно віддаленості від злітно-посадкової смуги (ЗПС).

За даними служб аеропорту складено таблицю, де наведено основні типи літаків, які експлуатуються авіаційними компаніями, кількість їх вильотів і посадок за 1 добу, розрахунок маси викидів речовин, регламентованих ІКАО, у зоні аеропорту (табл. 2).

Інтенсивність руху літаків збільшується з розширенням технічних можливостей аеропорту. Авіакомпанії здебільшого використовують літаки з двигунами типу TF та MTF, що відповідають загальноприйнятим міжнародним стандартам. У середньому за 1 добу сумарні викиди NO_x становлять 562,6902 кг, CO – 1481,5867 кг, HC – 462,8353 кг.

Відбір ґрунтових зразків проводився на території аеропорту та за його межами на відстані до 2000 м від ЗПС. Результати фітотоксичності орного шару (0–20 см) ґрунту наведено в табл. 3.

Отримані результати свідчать про те, що фітотоксичний ефект спостерігається при розвитку кореневої системи тест-культури. Фітотоксичний ефект у зоні до 1500 м від ЗПС становив 11,0–30,6 %.

За даними наукових досліджень при фітотоксичності вище 30–60 % спостерігається негативний вплив на саморегулювання ґрунту в системі ґрунт–рослина [1]. Вплив такої інтенсивності авіаційних транспортних процесів не викликає незворотних деградаційних процесів на агроландшафті в системі ґрунт–рослина.

Зміна ферментативної активності ґрунтів, забруднених нафтопродуктами

Проблема забруднення ґрунтів набула глобального характеру, тому виникає необхідність постійного моніторингу екологічного стану ґрунтів і в Україні. Відомо, що мікроорганізми є найбільш точними сенсорами зміни факторів довкілля.

Антропогенне забруднення, наприклад, важкі метали, вуглеводні нафтопродуктів порушують розвиток окремих груп мікроорганізмів, їх біохімічну активність, змінюють склад мікробних колоній.

Мета роботи – встановити рівень забруднення ґрунтів нафтопродуктами в зоні тривалої експлуатації авіаційної техніки та зміну під впливом цього фактора ферментативної активності верхнього ґрунтового покриву прилеглої до аеропорту території. Концепцією досліджень була ієрархічна система біоіндикації ґрунтів [15].

Зразки ґрунту були відібрані в шарі 0–30 см по периметру на однакових відстанях від об'єкта забруднення. Польові роботи проводили в сезон найбільш активних біологічних процесів у ґрунті (у липні).

Вміст нафтопродуктів у ґрунті визначали методом екстракції в хроматографічній колонці, ферментативну активність дегідрогеназа – за методикою Галстяна [16], поліфенілоксидаза – за методикою Карягіної [17].

Дані експерименту наведено в табл. 4.

Зміна концентрації вуглеводнів у ґрунті залежить від метеорологічних умов та інтенсивності злітно-посадочних режимів повітряних суден в зоні аеропорту.

Відхилення на 15–30 % ферментативної активності порівняно з контролем або фоном свідчить про суттєвий вплив концентрації певного забруднювача [18].

Відхилення даних за дегідрогеназою незначні (8–12 %), тобто дихання ґрунту не порушено. Поліфенілоксидазна активність ґрунту суттєво змінюється на прилеглої до аеропорту території (19–33 % від фону), тобто відбувається порушення мінералізації органіки ґрунту.

Проведений кореляційно-регресійний аналіз залежностей показників ферментативного ряду – дегідрогеназів і поліфенілоксидазів – відносно фактора вмісту вуглеводнів нафтопродуктів у ґрунті виявив суттєвий кореляційний зв'язок між фактором і показниками: для дегідрогенази 0,68, для поліфенілоксидази 0,70. Аналіз варіаційних рядів показав достатній ступінь їх однорідності та відповідність нормальному їх розподіленню, V_f не перевищує 30 %. Позитивна еластичність кожного показника від фактора не перевищує 15 %, що вказує на суттєвий вплив фактора (вміст нафтопродуктів у ґрунті) на дослідні показники (ферментативну активність ґрунту).

Для поліфенілоксидази значення еластичності дорівнюють 1,1 %, для дегідрогенази – 0,003 %.

Отримані результати свідчать про суттєвий вплив вуглеводнів нафтопродуктів на мікробіоту ґрунтів.

Зі збільшенням інтенсивності руху повітряного транспорту виникає необхідність проведення подальших досліджень, пов'язаних з методами реамедіації.

Зміна мікробіологічної активності ґрунту в зоні впливу авіаційних транспортних процесів

Авіація є одним із забруднювачів біосфери, зокрема, ґрунту. Забруднюючі речовини потрапляють у ґрунт при наземних експлуатаційних процесах, а також з атмосферними опадами. Вміст важких металів та нафтопродуктів, що потрапляють у ґрунт від наземних джерел забруднення та повітряних суден, досліджували на прилеглої до Державного міжнародного аеропорту Бориспіль території. У результаті забруднення важкими металами погіршується не тільки якість ґрунту, але й утворюється додаткове джерело забруднення поверхневих і підземних вод. Одночасно відкриті ділянки ґрунту стають

потужним джерелом вторинного забруднення атмосферного повітря внаслідок дефляції.

Таблиця 1

Фізико-хімічні та агрохімічні показники

Тип ґрунту	Горизонт, см	Вміст гумусу, %	pH _{к_с}	Сума ввібраних основ, мг-екв/100 г	Нг ³ мг-екв/100 г	Ступінь насиченості основами, мг-екв/100 г
Сірий	0–10	2,0	5,4	4,8	1,8	70,0
Опідзолений	20–30	1,4	5,6	6,2	1,5	81,0
Легкосуглинковий	45–55	0,2	6,2	9,1	1,1	89,0

Таблиця 2

Середньодобові викиди забруднюючих речовин у зоні аеропорту (2001–2002 рр.)

Тип літака	Кількість вильотів і посадок за 1 добу	Маса викидів M _i , кг		
		NO _x	CO	C _x H _y
Boeing 737-300	18,2	100,5443	261,8214	15,7596
Boeing 737-500	5,6	67,7072	76,2447	4,5893
Boeing 737 Series	4,6	43,3946	38,2146	71,9044
Boeing 763	0,12	6,8019	24,8576	2,848
Іл-62	1,2	21,4914	103,4381	18,6005
Ту-134	13,4	143,7519	435,3563	247,2461
Ту-154	13,4	143,7519	471,6596	86,3019
Airbus A 310	0,4	11,7490	23,3315	5,1951
Airbus A 313	0,8	23,498	46,6629	10,3904

Таблиця 3

Розвиток тест-культури (озима пшениця Поліська-90) залежно від впливу авіаційних транспортних процесів на ґрунти прилеглих до аеропорту територій

Номер зразка	Відстань від ЗПС, м	Тест-культура		Стеблова частина		Коренева система	
		Вага, г	Відхилення від контролю, г	Вага, г	Відхилення від контролю, г	Вага, г	Відхилення від контролю, г
9(к)	1500	16,77	0	8,21	0	8,56	0
1	400	15,86	-0,91	8,45	0,24	7,41	-1,15
2	600	13,45	-3,32	7,68	-0,53	6,53	-2,03
4	800	14,75	-2,02	7,47	-0,74	7,01	-1,55
5	500	15,53	-1,24	7,91	-0,3	7,62	-0,94
6	100	14,18	-2,59	7,9	-0,31	6,28	-2,28
7	900	13,78	-2,99	7,51	-0,7	6,27	-2,29
8	1100	13,4	-3,37	6,41	-1,8	6,99	-1,57
9	1300	14,21	-2,56	7,78	-0,43	6,43	2,13
10	1500	13,92	-2,85	7,98	0,23	5,94	-2,62
11	2000	17,51	0,74	8,5	0,29	9,01	0,42
12	1700	14,23	-2,54	7,81	-0,4	6,42	-2,14
13	2000	14,9	-1,87	7,98	0,23	6,92	-1,64
14	1000	16,24	-0,053	7,76	-0,45	8,48	-0,08

Таблиця 4

Ферментативна активність ґрунтів, забруднених нафтопродуктами

Номер зони відбирання проб	Вміст нафтопродуктів, мг/кг	Активність, мг/10 г	
		Дегідрогеназна	Поліфенілоксидазна
Фон	81,5	3,96	4,8
X (0 м)	106,0	4,32	5,2
XI (1000 м)	86,0	4,44	3,6
XII (2000 м)	78,0	4,32	3,6
XIII (3000 м)	65,5	4,14	4,4
XIV (2000 м)	42,5	3,96	3,2
XV (1000 м)	40,5	4,08	3,88
XVII (0 м)	94,8	4,26	3,2

Отже, забруднення ґрунту може бути процесом дуже небезпечним за своїми наслідками.

Ступінь впливу й інтенсивність процесів переходу важких металів із забруднених ділянок ґрунту в повітря, рослини, підземні й поверхневі води залежать від ландшафтно-геохімічних умов регіону.

Забруднення природного середовища нафтопродуктами призводить до економічних і екологічних збитків:

- деградують сільськогосподарські і лісогосподарські угіддя;
- зменшується врожайність сільськогосподарських культур, продуктивність лісів;
- погіршується санітарний стан умов життєдіяльності.

Для ідентифікації навантаження на довкілля часто використовують показники мікробіологічної активності ґрунту:

- ферментативну активність поліфенілоксидази;
- дегідрогенази.

Результати експериментальних досліджень спиртових витяжок з ґрунту аналізували методом фотоколориметрії, а отримані дані – засобами регресійного аналізу.

Дослідження регресійних співвідношень має велике значення в аналізі екологічних процесів. Це проявляється в тому, що значно поглиблюється факторний аналіз, знання про явища, які вивчаються, устанавлюється місце і роль кожного фактора у формуванні рівня дослідженості показників, визначаються закономірності їх розвитку, точніше обґрунтовуються глобальні проекти захисту довкілля та поточні екологічні заходи.

На тлі проведених досліджень більш об'єктивно оцінюється підсумок природоохоронної діяльності підприємств і організацій та більш повно визначаються внутрішні резерви щодо поліпшення екологічної ситуації в досліджуваних районах.

Багатофакторний регресійний аналіз реалізувався у декілька етапів [19]:

- на першому етапі визначали фактори, які впливають на показник (відповідну ферментативну активність) та відбирали найбільш суттєві для кореляційного аналізу;
- на другому етапі збирали й оцінювали вихідну інформацію, необхідну для кореляційного аналізу;
- на третьому етапі вивчали характер і моделювання зв'язків між факторами і результативним показником, тобто підбирали й обґрунтовували математичне рівняння, яке найбільш точно виражає сутність залежності, що вивчається;
- на четвертому етапі здійснювали статистичну оцінку результатів регресійного аналізу і практичне їх застосування.

Щоб обрати фактори, які і надалі будуть включені до множинної регресії, проводили аналіз парних регресій, за яким встановлювали наявність зв'язку між результативним показником і кожним із факторів.

Обґрунтування рівняння зв'язку проводили за допомогою співставлення паралельних рядів, групування даних і лінійних графіків.

Розміщення точок на графіку вказувало на те, яка залежність утворилася між показниками, що вивчаються: прямолінійна чи криволінійна [20].

На підставі отриманих результатів було побудовано регресійні рівняння множинної регресії, які описують залежності мікробіологічної активності ґрунту від вмісту важких металів і нафтопродуктів:

– для дегідрогенази:

$$Y_d = 3,88561 - 0,0034968 * X_1 - 0,0204002 * X_2 + 0,0882858 * X_3 + 0,0688943 * X_4 - 0,00868412 * X_5 + 0,00576771 * X_6,$$

де Y_d – ферментативна активність дегідрогенази ґрунту, мг/10 г; X_1 – Pb, мг/кг; X_2 – Zn, мг/кг; X_3 – Cu, мг/кг; X_4 – Cd, мг/кг; X_5 – Ni, мг/кг; X_6 – нафтопродукти, мг/кг;

– для поліфенілоксидази:

$$Y_n = 4,98584 - 0,0838112 * X_1 + 0,0297336 * X_2 + 0,630717 * X_3 - 0,128946 * X_4 - 0,352705 * X_5 + 0,0667047 * X_6,$$

де: Y_n – ферментативна активність поліфенілоксидази, мг/10 г.

Перевірка моделей на адекватність за критерієм Фішера вказала на задовільну якість розроблених моделей у межах допустимої точності 95 %.

Коефіцієнти рівнянь виявляють кількісний вплив кожного фактора на результативний показник при незмінності інших.

У розроблених моделях коефіцієнти b при змінних вказують, наскільки одиниць зміниться результативний показник зі зміною факторного на одиницю в абсолютному виразі.

Отже, факторний аналіз отриманих рівнянь показав, що найбільш впливовими антропогенними факторами для дегідрогенази є вміст в ґрунті – Zn, Cu, Cd, а для поліфенілоксидази – Cu, Cd, Ni.

Розраховані значення коефіцієнтів еластичності вказують, наскільки відсотків у середньому зміниться функція зі зміною аргументу на 1 %.

Еластичність зв'язку між показником і відповідними факторами для дегідрогенази становила:

Pb	0,092164301
Zn	0,086342496
Cu	0,129761546
Cd	0,03468393
Ni	0,006072399
Нафтопродукти	0,104253414

Розраховані абсолютні значення еластичності зв'язку між показником і відповідними факторами для поліфенілоксидази становили:

Pb	2,371606504
Zn	0,13510963
Cu	0,995264071
Cd	0,069694984
Ni	0,264785824
Нафтопродукти	1,294469852

Отже, найбільш швидко поліфенілоксидаза реагує на зміну вмісту в ґрунті Pb, Cu, Ni, а дегідрогеназа – Pb, Zn, Cu.

Ці розрахунки повністю узгоджуються з порівнянням вмісту шкідливих домішок з фоновими, яке виявило перевищення вмісту Pb, Zn, Cu в межах два-п'ять разів, а вміст у ґрунті інших металів перевищує ГДК менше, ніж у два рази. Дані вказують на практичну цінність розробленої статистичної моделі стану довкілля для території, прилеглих до аеропорту.

Еколого-економічна оцінка ґрунту природно-територіального комплексу в умовах тривалих авіаційних транспортних процесів

Зниження продуктивності земель, низька екологічна якість ґрунтового покриву внаслідок забруднення його хімічними сполуками, негативні тенденції у зміні структури земельних угідь зумовили екологізацію наукових досліджень у галузі ґрунтознавства, агрохімії, урбанізованих ґрунтів, техногенних ландшафтів. Підсилення негативної антропогенної дії, що зумовлюється економічними міркуваннями, не завжди відповідає вимогам екологічної безпеки. Збитки від впливу на біогеоценози як природні, так і штучно створені, можна відобразити у вигляді економічних показників. Оскільки в ґрунті здійснюються процеси перетворення речовин і трансформації потоків енергії екологічних систем, то моніторинг стану ґрунтів є необхідною системою, що допомагає найбільш доцільно скоординувати економічні й екологічні аспекти діяльності людини. Еколого-економічна оцінка (бонітування ґрунтів) є одним із етапів ґрунтово-екологічного моніторингу, який використовують для: регулювання економічно-правових відносин у суспільстві; генерального планування розвитку регіону; коректного землевпорядкування та раціонального використання земельних ресурсів. Теоретичною основою агроекологічного принципу бонітування ґрунтів є закон рівнозначності та незамінності факторів життєзабезпечення рослин [21].

Бонітування ґрунтів як метод визначення ґрунтової родючості дає можливість надати кількісну оцінку якості ґрунтів.

Показником якості стану ґрунту є бонітет, виражений у балах. Природні властивості й ознаки ґрунту виступають як критерії бонітування (основні та модифіковані). Оцінювання виділеного елементарного ґрунтового ареалу території виконано в зоні дії інтенсивних авіаційних транспортних процесів. Середні дані діагностичних ознак сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту є основою для встановлення балу типової ознаки бонітету $B_{т.о.}$ ґрунту, розрахованого за формулою [21]:

$$\hat{A}_{o,i} = \frac{\hat{O}}{A} 100,$$

де Φ – фактичне значення ознаки; E – еталонне (стандартне) значення ознаки.

Бал типової діагностичної ознаки гумосу становив 26,0%, азоту 41,0 %, фосфору 5,3 %, калію 7,19%, середній бал з типових критеріїв 19,87 %. Розрахований середній бал за основними критеріями корегується на клімат, зрошення та інші особливості даного типу ґрунту. Модифікований середній бал бонітету становить 15,92 %.

Еколого-агрохімічний стан ґрунтів оцінюється не тільки за показниками груп основних і модифікованих критеріїв, але й з урахуванням виду і ступеня забруднення [22; 23]. Найбільш поширений вид забруднення ґрунтового покриву в зоні інтенсивних авіаційних транспортних процесів є забруднення важкими металами. Вміст валових форм важких металів в еталонному ґрунті не повинен перевищувати одного кларку або 0,5 ГДК [11]. Згідно з ГОСТ 17.4.1.02-83 у ґрунті встановлено вміст "пріоритетних металів", таких, як Cd, Pb, Zn, що належать до I класу небезпечності і Ni, Cu, Cr (II клас небезпечності) [22]. На підставі наведених даних табл. 5 встановили рівень забруднення важкими металами та поправковий коефіцієнт на негативний вплив на ґрунтовий покрив.

Таблиця 5

Співставлення даних ГДК і фактичного вмісту важких металів у ґрунті

Елемент	ГДК, мг/кг		Фактичний вміст, мг/кг		Рівень забрудненості (ГОСТ 17.4.3.06-86)
	Валова форма	Рухома форма	Валова форма	Рухома форма	
Cd	3	–	0,7	–	Не перевищує ГДК
Pb	32	–	156,6	–	Сильно забруднений
Zn	–	5,0	–	28,4	Сильно забруднений
Cu	–	3	–	6,9	Сильно забруднений

Cr	100	–	2,8	–	Не перевищує ГДК
Ni	–	4	–	2,1	Не перевищує ГДК

Отже, кінцевий результат балу бонітету виділеного елементарного ґрунтового ареалу становить 11,14 %. Одержаний бал з поправкою на забруднення переводиться в потенційну врожайність зернових культур згідно зі шкалою [21] і дорівнюватиме 5 ц/га. Грошову оцінку землі Ц розраховували за формулою [21]:

$$Ц = Y_{\text{роз}} \cdot C_3$$

де $Y_{\text{роз}}$ – розрахунковий урожай, т/га; C_3 – ціна 1 т зерна, грн: $C_3 = 0,5 \cdot 950 = 475$ (950 грн/т – ціна рядового ячменю на торговій біржі України).

Виконаний розрахунок демонструє потенційний економічний збиток унаслідок постійного забруднення важкими металами і поступового зниження екологічної стійкості ґрунту. Наведені дані свідчать про втрату цінності прилеглої до аеропорту території для вирощування екологічно чистої продукції для дитячого харчування.

Математичне моделювання токсичності ґрунту на прилеглих до аеропорту територіях

Актуальність екологічного передбачення наслідків впливу авіаційних транспортних процесів зумовлена, з одного боку, складною екологічною ситуацією в Україні, а, з іншого боку, недостатнім вивченням токсичного впливу емісії шкідливих речовин повітряних суден на довкілля. Маловивченим аспектом впливу авіаційних транспортних процесів на довкілля є зміна стану ґрунтів біля штучного покриття. Відомо, що ґрунт є одним з головних складових кругообігу хімічних речовин у довкіллі. Токсичні речовини, потрапляючи в ґрунт, мігрують по профілю до підґрунтових вод, які з'єднані в суцільну гідросітку з річками, озерами, болотами. Крім того, під час змивання поверхневим стоком, що формується з атмосферних опадів, додатково вносяться шкідливі речовини в природні водні об'єкти. Токсичні випаровування та шкідливий дрібнодисперсний пил, потрапляючи в атмосферне повітря, поширюються на великі території.

Речовини газів, що відпрацювали, при злітно-посадочному циклі повітряного судна маловивчені з екологічних позицій. Особливий інтерес викликає біологічна деструкція токсичних речовин у природних умовах. Найбільш чутливі об'єкти до накопичення продуктів емісії в ґрунті при злітно-посадочному циклі – сукупність організмів, що забезпечують нормальне протікання біологічних процесів у довкіллі.

Методологія визначення токсичності ґрунтів, викликаної антропогенним навантаженням під час виконання авіаційних транспортних операцій, містила в собі біотестування на стандартизованих гідробіонтах *Daphnia magna* Straus [24] і вищих рослинах *Allium cere L* [25].

Ґрунтові зразки були відібрані на відстанях 100–2000 м від ЗПС з урахуванням рози вітрів. Результати біотестування подано в табл. 6.

Таблиця 6

Результати біотестування токсичності ґрунту на *Daphnia magna* і *Allium cere*

Номер ґрунтового зразка	Відстань від ЗПС, м	Смертність тест-об'єкта, %	Активність росту тест-культури, %
1	100	100	5
2	400	100	41
3	500	100	40
4	600	100	46
5	800	80	54
6	900	70	44
7	1100	20	28
8	1300	23	24
9	1500	10	17
10	1700	20	0
11	2000	17	5

Повноту виборки та адекватність нормального розподілу даних перевірено статистичними методами [26]. За результатами біотестування встановлено, що гостра токсичність ґрунту спостерігається в межах 100–800 м від ЗПС, тобто в зоні аеропорту (табл. 6). Пригнічення росту корінців тест-культури *Allium cere* спостерігається також на відстані до 800 м від ЗПС.

На підставі результатів біотестування на гідробіонтах та вищих рослинах виявлено значний негативний вплив антропогенного навантаження на ґрунти при авіаційних транспортних процесах у зоні аеропорту. На прилеглий до аеропорту території токсичність ґрунту знижується з віддаленістю від ЗПС, але її показники залишаються високими порівняно з результатами біотестування ґрунту-фону.

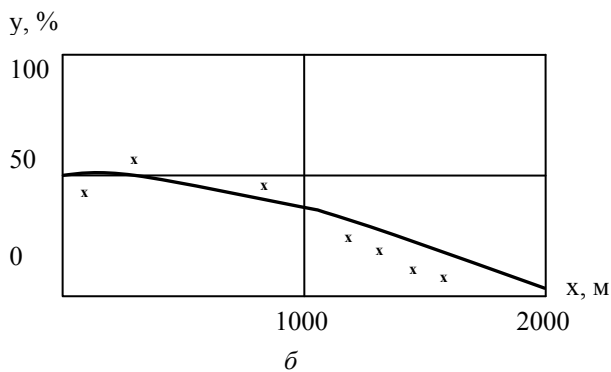
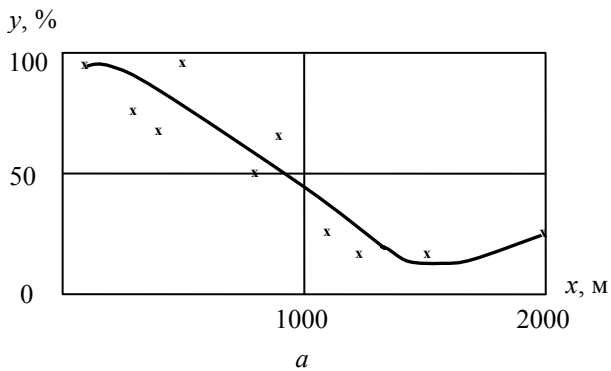
На підставі отриманих даних були побудовані математичні моделі досліджуваних процесів [27]:

– для графіка на рисунку (а): $y = 3,5 \cdot 10^{-5} x^2 + 112$;

– для графіка на рисунку (б): $y = 1,4 \cdot 10^{-5} x^2 + 52$.

Відносна похибка моделей знаходиться в межах 15 %, що зумовлено значним ступенем впливу невизначених факторів довкілля, які містять реальні метеоумови, рівень хімізації сільськогосподарських робіт на прилеглий до аеропорту території та складну гідродинаміку підземних вод і фільтраційних процесів [28; 29]. Урахування цих факторів дозволить підвищити точність моделей за рахунок підвищення її складності.

Побудовані моделі можна вважати базовими для первинних оцінок ступеня токсичності ґрунтів, зумовленої антропогенним навантаженням на довкілля в процесі експлуатації авіаційної техніки. Такі моделі можна використати для розробки методів і заходів захисту довкілля в зоні аеропорту та прилеглих до нього територіях.



Залежність токсичності ґрунту y (а) й активності у росту кореневої системи тест-культури (б) від відстані до ЗПС x , м

Висновки

1. Дослідження екологічної безпеки природно-територіального комплексу в зоні дії аеропорту підтвердили суттєвий вплив викидів забруднюючих речовин на біологічний стан (фітотоксичність) ґрунту. Однак зі збільшенням інтенсивності повітряного руху при фітотоксичності вище 30–60 % буде спостерігатися негативний вплив авіаційних транспортних процесів на саморегулювання ґрунту.

2. Виконана еколого-економічна оцінка ґрунту природно-територіального комплексу в умовах тривалих авіаційних транспортних процесів визначає потенційний економічний збиток унаслідок постійного забруднення важкими металами і поступового зниження екологічної стійкості ґрунту.

Результати розрахунків свідчать, зокрема, про втрату цінності прилеглої до аеропорту території для вирощування екологічно чистої продукції.

3. За результатами біотестування токсичності ґрунту, викликаній антропогенними навантаженнями в зоні аеропорту, отримано математичні моделі, які дозволяють прогнозувати зміни токсичності ґрунту з відстанню до ЗПС, зумовлені виконанням авіаційних транспортних операцій.

Література

1. *Информатизация аерокосмического земледелия* / С.О. Довгий, В.І. Лялько, О.М. Трофимчук та ін. – К.: Наук. думка, 2001. – 607 с.
2. *Колупаев Ю.С.* Біоорганічна і бінеорганічна хімія: Фітофізіологічні та агроекологічні аспекти. – Х.: ХДАУ, 2000. – 305 с.
3. *Патика В.П., Тараріко О.Г., Банцаровський Д.М.* Сучасні проблеми охорони, агрохімічного обстеження та паспортизації сільськогосподарських угідь // Агроекологічний журн. – 2001. – № 2. – С. 3–7.
4. *Гаргер Е.К.* Подъем и выпадение радиоактивной пыли при сельскохозяйственной деятельности // Агроекологічний журн. – 2001. – № 1. – С. 12–15.
5. *Гришина Л.А.* Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв. – М.: МГУ, 1990. – 205 с.
6. *Горбатов В.С., Зырин Н.Г., Обухов А.И.* Адсорбция почвой цинка, свинца и кадмия // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1988. – № 1. – С. 10–14.
7. *Черных Н.А., Ладонин В.Ф.* Нормирование загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1995. – № 6. – С. 71–81.
8. *Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксичность чернозема // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 50–55.
9. *Иерархическая система биоиндикации почв, загрязненных тяжелыми металлами* / Е.И. Андреев, Г.А. Иутинская, Е.В. Валагурова и др. // Почвоведение. – 1997. – № 12. – С. 1491–1496.
10. *Ильин В.Б.* Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 81–86.
11. *Латыпова М.М., Павлова Е.В., Колесников Л.М.* Комплексные исследования влияния тяжелых металлов на развитие сельскохозяйственных растений // Наука – производству. – 2001. – № 3. – С. 22–24.
12. *Органопрофиль дерново-глеевой почвы с высоким уровнем загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами* / С.С. Чернянский, Т.А. Алексеева, А.Н. Геннадиев и др. // Почвоведение. – 2001. – № 11. – С. 1312–1322.

13. Шкварук М.М., Делеменчук М.І. Грунтознавство. – К.: Урожай, 1965. – 388 с.
14. *Robinson G.W.* Soils: their origin, constitution and classification. – London, 1982. – 390 p.
15. *Иерархическая система почв, загрязненных металлами // Почвоведение.* – 1997. – № 12. – С. 1491–1496.
16. *Методика визначення дегідрогеназної активності ґрунту (в модифікації лабораторії ґрунтової мікробіології 13 УААН).* – К.: НАУ, 1989. – 45 с.
17. *Хазиев А.В.* Почвенные ферменты. – М.: Наука, 1977. – 245 с.
18. *Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. Методично-нормативне забезпечення / За ред. В.П. Папики, О.Г. Тараріко.* – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – 308 с.
19. *Толбатов Ю.А.* Загальна статистика в середовищі Excel. – К.: Вища шк., 2000. – 365 с.
20. *Ларсен Р.У.* Инженерные расчеты в сфере Excel: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 554 с.
21. *Франчук Г.М., Ісаєнко В.М.* Екологія, авіація і космос. – К.: НАУ, 2005. – 456 с.
22. *Воробьева Л.А., Рудакова Т.А., Лобанова Е.А.* Элементы прогноза уровня концентраций тяжелых металлов в почвенных растворах и водных вытяжках из почв // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М.: МГУ, 1980. – С. 28–34.
23. *Большаков В.А., Краснова Н.М., Сорокин С.В.* Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. – М.: Почвенный ин-т им. В. Докучаева, 1993. – 100 с.
24. *КНД 211.1.4.054-97.* Визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus. – К.: Ін-т гідробіології, 1997. – 25 с.
25. *Литвак П.В., Малиновський А.С., Рибак М.Ф., Дереча О.А.* Екологія та рослинництво. – Житомир: Полісся, 2001. – 231 с.
26. *Михалевська Т.В.* Моделювання та прогнозування стану довкілля: Лабораторний практикум. – К.: НАУ, 2003. – 124 с.
27. *Згуровский М.З.* Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. – К.: Наукова думка, 1997. – 139 с.
28. *Франчук Г.М., Малахов Л.П., Півторак Р.М.* Екологічні проблеми довкілля. – К.: КМУЦА, 2000. – 180 с.
29. *Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86.* – Л.: Гидрометеодиздат, 1986. – 120 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.05.

Исследовано влияние авиационных транспортных процессов на фитотоксичность почвы. Определено существенное влияние нефтяных загрязнителей на микробиоту почв в зоне аэропорта. Выполнены факторный анализ ферментативной активности почвы в присутствии тяжелых металлов и нефтепродуктов и эколого-экономическая оценка почвы в условиях длительных авиационных транспортных процессов. Получены математические модели для прогнозирования состояния почв на прилегающих к аэропорту территориях.

It was learnt the negative effect of oil pollution on soil microorganisms in the zone of the airport activity. Factor-analysis of soil fermentative activity in the environment of heavy metals and oil products was done. There is ecologo-economical valuation of the soil affected by lasting aircraft activities and airport services. Mathematical model envisages the soil alive phase stability on the territories close to the airport.