

**НАУКОВІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ЯК ІНДИКАТОРА
ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ****С. М. Маджд, Є. О. Бовсуновський**

Національний авіаційний університет

просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна. E-mail: period@nau.edu.ua

О. В. Тагачинська

Національний університет харчових технологій

вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601, Україна. E-mail: madzhd@i.ua

Запропоновано загальні підходи для кількісної оцінки екологічного стану ґрунтів з хімічним типом техногенного впливу в зоні дії авіапідприємства. Проведено аналіз можливостей самоочищення системи «ґрунт-рослина». Експериментально досліджено процеси поглинання важких металів на фоні мінімальної та інтенсивної систем захисту рослин. Визначено пріоритетність органічних способів обробки ґрунту для досягнення рівноважного стану. Здійснено серію розрахунків основних геохімічних і екологічних показників для визначення ступеню хімічного забруднення ґрунтів на техногенно навантажених територіях. Показано доцільність застосування ландшафтно-геохімічних підходів для контролю ґрунтів як індикатора прояву екологічної небезпеки.

Ключові слова: ґрунт, забруднення, екологічний контроль, небезпека.**НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЧВ КАК ИНДИКАТОРА
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕХНОГЕННО НАГРУЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ****С. М. Маджд, Е. А. Бовсуновский**

Национальный авиационный университет

просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина. E-mail: period@nau.edu.ua

О. В. Тагачинская

Национальный университет пищевых технологий

ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01601, Украина. E-mail: madzhd@i.ua

Предложены общие подходы для количественной оценки экологического состояния почв с химическим типом техногенного влияния в зоне воздействия авиапредприятия. Экспериментально исследованы процессы поглощения тяжелых металлов на фоне минимальной и интенсивной систем защиты растений. Определена приоритетность органической обработки ґрунта для достижения равновесного состояния. Проведено серию расчетов основных геохимических и экологических показателей для определения степени химического загрязнения почв на техногенно нагруженных территориях. Показана целесообразность использования ландшафтно-геохимических подходов для контроля почв как индикатора проявления экологической опасности.

Ключевые слова: почва, загрязнение, экологический контроль, опасность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Ґрунтовий покрив представляє систему менш динамічну і більш буферну, ніж атмосфера чи водойми. Одна з особливостей ґрунту полягає в тому, що при оцінці техногенно-хімічного забруднення враховується не тільки та небезпека, яку представляє ґрунт при безпосередньому контакті з ним, але й наслідки вторинного забруднення контактуючих з ґрунтом середовищ [1].

Міграція важких металів (ВМ) по ґрунтовому профілю призводить до перерозподілу їх у ґрунті, а, отже, і у суміжних з ним середовищах (рослинах, воді, повітрі) [2]. Присутність металів може призвести до непередбачуваного характеру екологічної небезпеки, оскільки для них не характерна біодеградація, а притаманна акумуляція у навколишньому природному середовищі. А це призводить до надходження токсикантів через трофічні ланцюги до організму людини [1, 3]. І тому контроль за міграцією ВМ на техногенно-забруднених ґрунтах є вкрай актуальним і складним завданням. Для екологічної оцінки районів з хімічним типом техногенного впливу доцільно застосовувати еколого-геохімічний підхід. Адже у системі показників стану природно-антропогенних ландшафтів провідне місце посідають ландшафтно-геохімічні дослідження, що легко

пояснити їхньою виразністю, високим рівнем розробки методів визначення вмісту забруднювачів у довкіллі та багаторічною практикою використання [4].

Ландшафтно-геохімічний підхід є одним із просторово-системних підходів до аналізу й оцінки екологічного стану території, він дає змогу на підставі визначення геохімічного фону з'ясувати ступінь забруднення та видовий склад забруднень, міграційні здатності залежно від хімічного складу й фізико-хімічних властивостей компонентів довкілля, імовірність і можливі місця накопичення забруднюючих речовин, геохімічну здатність ландшафтів до самоочищення від забруднень [2, 4–7].

Мета роботи – розробити загальні підходи для кількісної оцінки екологічного стану ґрунтів як індикатора прояву екологічної небезпеки на техногенно-деградованих територіях через призму еколого-геохімічного підходу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Дослідження проводились протягом 2005–2015 р.р. на ділянках з інтенсивним техногенно-хімічним забрудненням, а саме на ґрунтах територій прилеглих до підприємств цивільної авіації, які розташовані на південно-західній окраїні міста Києва (Со-

лом'янський район) в кінці Повітрофлотського проспекту і межують: із південного сходу і сходу – з сільгоспугіддями; із північного сходу і півночі – з житловими масивами; із південного заходу і заходу – з промисловою зоною; із заходу – з шосейною дорогою Київ-Житомир та південно-західною залізницею; із південного сходу і півдня – з с. Жуляни. Зразки ґрунту відбиралися поблизу злітно-посадочної смуги (ЗПС) та на відстані 20, 100, 250, 500, 1000 м від неї. Також були відібрані зразки ґрунту з глибини 20 см.

Одночасно з відбором проб ґрунту в цих же точках були відібрані зразки рослин. Майданчики відбору проб для рослин співпадали з майданчиками відбору проб для ґрунту, але не накладалися на них. Зразки рослин представлені сумішшю різнотрав'я з кореневою системою та гілками з листям (верба).

Крім того, дослідження проводилися в Інституті агроєкології УААН та ННЦ «Інститут землеробства» з озимою пшеницею сорту Лада Одеська на темно – сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті. Схема досліду передбачала вивчення варіантів удобрення на фоні мінімальної і інтенсивної системи захисту рослин: контроль (без добрив), $N_{60}N_{30}$, $P_{135}K_{135}+N_{80}+N_{55}$, побічна продукція, $P_{90}K_{90}+N_{60}+N_{30}$.

У досліді вивчали технологію з інтенсивним захистом рослин, з таким використанням пестицидів: амістад-екстра – 0,5 л/га (септоріоз, борошниста роса, бура листовка іржа, фузаріоз, альтернаріоз колоса), карате-зеон – 0,2 л/га (хлібні жуки, трипси, блішки), альто-супер – 0,5 л/га (септоріоз листя, іржа бура, стеблова, борошниста роса, фузаріоз, септоріоз колосу, цекроспорельоз), лінтур – 0,15 г/га (однорічні, багаторічні, дводольні бур'яни), а також мінімальним, де застосовували лише протруювач – Максім-стар – 1,5 л/т.

Емпіричну базу дослідження складають результати 108 аналітичних визначень вмісту ВМ у рослинах та пробах ґрунту, поверхневого та відібраного на глибині 20 м.

Проби ґрунту були відібрані з пробних майданчиків відповідно до методичних рекомендацій та діючих стандартів: для ґрунту – ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ДСТУ 4287:2004; для рослин – ISO 874-2002.

Відібрані зразки аналізувалися за вмістом як валих, так і рухомих форм ВМ методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на атомному спектрометрі ААС-115 ПК. Вміст рухомих форм ВМ у ґрунті визначався згідно з ДСТУ 4770.1:2007, ДСТУ 4770.9:2007, у рослинах – згідно з ГОСТ 30178-96 з попередньою мінералізацією зразків рослинного матеріалу методом сухого озолення за ГОСТ 26929-94.

Ступінь техногенно-хімічного забруднення ґрунту та можливість переходу ВМ до рослинних угруповань, на техногенно навантажених територіях, визначали шляхом розрахунку серії основних геохімічних та екологічних показників:

- акумуляція шкідливих речовин у верхніх шарах ґрунту (ВМ, залишкові кількості пестицидів);
- міграція хімічних речовин (коефіцієнти концент-

трації у різних генетичних горизонтах ґрунту шкідливих речовин (ВМ, залишкові кількості пестицидів, радіонукліди ті ін.) та біогенних елементів (сполуки азоту, фосфору, калію);

- швидкість вертикальної міграції хімічних речовин за профілем ґрунту;

- нормування накопичення шкідливих речовин на території підприємств;

- нормування забруднення ґрунтів у житлових районах, переважно в місцях збереження побутових відходів.

Тому екологічну оцінку ґрунту за впливом на процеси вертикальної міграції біогенних та шкідливих речовин доцільно проводити за:

- коефіцієнтами концентрації у різних генетичних горизонтах ґрунту шкідливих речовин (ВМ, залишкові кількості пестицидів, радіонукліди та ін.) та біогенних елементів (сполуки азоту, фосфору, калію);

- швидкістю вертикальної міграції хімічних речовин за профілем ґрунту.

В якості кількісного показника активності радіальної міграції необхідно використовувати коефіцієнт концентрації (K_c), який характеризує ступінь накопичення речовин у компоненті системи відносно обраного еталону:

$$K_c = \frac{C_B}{C_\phi} \quad (1)$$

де C_B – вміст речовини у компоненті, C_ϕ – вміст речовини в еталоні (контролі).

Розрахунок коефіцієнту концентрації передбачає використання значень фонового вмісту ВМ у ґрунтах. Для обчислення K_c були використані фонові значення концентрацій ВМ, подані у джерелах [8].

Величина коефіцієнту концентрації (1) свідчить про активність процесів вилуговування ($K_c < 1$) і накопичення ($K_c > 1$) речовин у генетичних горизонтах ґрунту.

Згідно отриманих результатів, а також з врахуванням нормативів для встановлення екологічного стану ґрунтів за перевищенням фонового вмісту хімічних речовин, пропонується відповідна градація за величиною коефіцієнтів концентрації (табл. 1).

Таблиця 1 – Екологічна оцінка ґрунту за коефіцієнтом концентрації – K_c

Екологічний стан	Перевищення коефіцієнту концентрації (разів)	Оцінка, бали
незадовільний	$\geq 5,0$	0
задовільний	3,0 – 5,0	1
нормальний	1,0 – 2,9	2
оптимальний	$\leq 1,0$	3

За показниками вертикальної міграції пропонується використовувати показник – швидкість міграції у ґрунтовому профілі. Цей показник вимірюється глибиною проникнення хімічної речовини (см) за певний проміжок часу (рекомендується – 3 місяці). Такі дослідження необхідно проводити в умовах лізиметричних установок (табл. 2).

В ході розрахунків було встановлено, K_c у зразках ґрунту перевищує цей показник в усіх точках відбору проб для міді ($K_c=8-18$), для свинцю ($K_c=20-96$), для цинку ($K_c=20-96$). Відповідно до розрахунку

Таблиця 2 – Екологічна оцінка ґрунту за показником швидкості міграції

Екологічний стан	Швидкість міграції, см	Оцінка, бали
незадовільний	> 50	0
задовільний	50 – 21	1
нормальний	20 – 10	2
оптимальний	< 10	3

коефіцієнту концентрації вміст нікелю, хрому та кадмію не представляє екологічної небезпеки для ґрунтів в усіх точках відбору проб.

Крім того, важливим показником екологічної оцінки ґрунту є використання органічних і мінеральних добрив, які впливають на процеси акумуляції та вертикальної міграції хімічних речовин, оскільки саме вони визначають потенційну загрозу забруднення верхніх шарів ґрунту та ґрунтових вод.

В умовах польового стаціонарного дослідження було вивчено вплив різних технологій вирощування пшениці на процеси акумуляції та міграції хімічних речовин на прикладі ВМ – Pb, Cu, Zn, Ni.

Відомо, що рухомість і розподіл ВМ по генетичних горизонтах ґрунту залежить від вмісту органічної речовини, реакції ґрунтового розчину, гранулометричного складу ґрунту і мінералогічного складу материнських порід та ін [9, 10].

Аналіз розподілу ВМ у темно-сірому опідзоленому ґрунті показав його тісний зв'язок з особливостями елювіального і ілювіального процесів, притаманних цьому ґрунту. Проте, дослідження засвідчили, що вміст потенційно рухомих форм ВМ також змінювався під впливом різних систем удобрення і захисту рослин. Спостерігалось його підвищення при застосуванні мінеральної системи удобрення, в першу чергу азотних добрив. Органічна система удобрення, яка передбачала застосування побічної продукції, сприяла зниженню вмісту у ґрунті потенційно рухомих форм важких металів. Особливу увагу привертає той факт, що застосування інтенсивної системи захисту рослин призвело до підвищення кількості потенційно рухомих форм ВМ порівняно з мінімальною системою захисту. Таке підвищення спостерігалось як в орному шарі ґрунту, так і в цілому за профілем ґрунту. Пестициди у своєму складі не містять ВМ, але можуть впливати на процеси, що відбуваються у ґрунті, в першу чергу на його біологічну активність, окисно-відновні реакції, трансформацію органічної речовини, здатність до хелато- і комплексоутворення, що, напевно, стало опосередкованою причиною підвищення рухомості ВМ.

Отримані результати показали, що при застосуванні мінеральної системи удобрення відбувалася активізація процесів акумуляції потенційно рухомих форм ВМ, їх кількість збільшилася у 1,1-1,5 рази. Інтенсивна система захисту сприяла цьому процесу. Необхідно відмітити, що органічна система удобрення і мінімальний захист рослин у більшій мірі

забезпечували нормальний і оптимальний екологічний стан верхніх шарів ґрунту при вирощуванні пшениці озимої, ніж високі норми мінеральних добрив та інтенсивний захист рослин: коефіцієнти концентрації коливалися у межах 1,0–0,9 (табл. 3).

За величиною коефіцієнта концентрації була дана оцінка екологічного стану ґрунту (табл. 4).

Процеси міграції ВМ при різних технологіях вирощування пшениці оцінювали за результатами аналізу їх розподілу у профілі темно-сірого опідзоленого ґрунту. Коефіцієнти концентрації показали, що системи удобрення і захисту рослин мали значний вплив на перерозподіл ВМ у різних шарах ґрунту. У варіантах, де застосовувалася мінеральна система удобрення, мало місце нагромадження ВМ, коефіцієнти концентрації досягали рівня 1,3–1,6 ($N_{60}N_{30}$; $P_{135}K_{135}+N_{80}+N_{55}$; $P_{90}K_{90}+N_{60}+N_{30}$). При органічній системі удобрення, що передбачала застосування побічної продукції, навпаки, спостерігалось деяке зменшення вмісту ВМ, коефіцієнти концентрації коливалися в межах від 1,0 до 0,8 (табл. 5).

Таблиця 3 – Вплив внесення добрив на процеси акумуляції ВМ в орному шарі (0–20 см) темно-сірого опідзоленого ґрунту (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти дослідження	Коефіцієнт концентрації (K_c)			
	Pb	Cu	Zn	Ni
$N_{60}N_{30}$	1,2/1,0	1,2/1,1	1,4/1,0	1,5/1,3
$P_{135}K_{135}+N_{80}+N_{55}$	1,3/1,1	1,1/1,1	1,4/1,3	1,5/1,5
$P_{90}K_{90}+N_{60}+N_{30}$	1,0/1,1	1,0/1,0	1,3/1,2	1,4/1,4
Побічна продукція	1,0/1,0	0,8/0,9	1,2/1,1	1,0/1,0

Таблиця 4 – Екологічний стан орного шару (0–20 см) темно-сірого опідзоленого ґрунту за величиною коефіцієнту концентрації ВМ (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти дослідження	Екологічний стан			
	Pb	Cu	Zn	Ni
$N_{60}N_{30}$	задов/оптим	задов/норма	незадов/оптим	незадов/незадов
$P_{135}K_{135}+N_{80}+N_{55}$	незадов/норма	норма/норма	незадов/незадов	незадов/незадов
$P_{90}K_{90}+N_{60}+N_{30}$	оптим/норма	оптим/оптим	незадов/задов	незадов/незадов
Побічна продукція	оптим/оптим	задов/норма	задов/норма	оптим/оптим

Міграція ВМ може бути небезпечною у випадку їх вимивання за межі ґрунтового профілю і надходження у ґрунтові води. Оцінити потенційну небезпеку цього процесу можливо за показниками K_c у горизонтах, які є перехідними до материнської породи (I_h та P_k) і залягають на глибині 1 м і глибше. Тому, потенційну небезпеку технологій вирощування пшениці для ґрунтових вод проводили за K_c для шару 80-100 см, що відповідає переходу ілювіального горизонту до материнської породи.

Результати дослідження показали, що збільшення концентрації ВМ відбувалося за мінеральної системи удобрення та інтенсивного захисту рослин, K_c досягали рівня 1,2–1,3, що відповідає задовільному та незадовільному екологічному стану і може

Таблиця 5 – Вплив внесення добрив на концентрацію ВМ у профілі темно-сірого опідзоленого ґрунту (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти дослідів	Глибина, см				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
коєфіцієнт концентрації Рb					
N ₆₀ N ₃₀	1,2/1,0	1,2/1,0	1,1/1,0	1,2/1,0	1,2/1,0
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	1,3/1,1	1,2/1,0	1,2/1,0	1,2/1,1	1,2/1,0
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	1,0/1,1	1,0/1,1	1,1/1,1	1,0/1,1	1,0/1,0
Побічна продукція	1,0/1,1	1,1/0,9	1,0/1,0	1,0/0,9	1,0/0,8
коєфіцієнт концентрації Сu					
N ₆₀ N ₃₀	1,2/1,1	1,3/1,3	1,2/1,1	1,1/1,0	1,2/1,0
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	1,1/1,1	1,3/1,2	1,1/1,2	1,0/1,1	1,1/1,2
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	1,0/1,0	1,1/1,1	1,0/1,3	1,0/1,1	0,9/1,0
Побічна продукція	0,8/0,9	1,0/1,0	1,0/0,9	1,0/1,0	0,9/0,8
коєфіцієнт концентрації Ni					
N ₆₀ N ₃₀	1,5/1,3	1,3/1,4	1,2/1,3	1,1/1,2	1,1/1,2
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	1,5/1,5	1,3/1,6	1,2/1,5	1,1/1,4	1,1/1,0
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	1,4/1,4	1,2/1,5	1,1/1,4	1,1/1,3	1,2/1,3
Побічна продукція	1,0/1,0	1,0/1,1	1,0/1,1	0,9/1,0	0,9/1,0
коєфіцієнт концентрації Zn					
N ₆₀ N ₃₀	1,4/1,0	1,3/1,1	1,2/1,1	1,2/1,1	1,3/1,0
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	1,4/1,3	1,3/1,4	1,3/1,4	1,3/1,3	1,3/1,1
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	1,3/1,2	1,3/1,2	1,4/1,2	1,3/1,2	1,3/1,1
Побічна продукція	1,2/1,1	1,2/1,2	1,2/1,2	1,2/1,2	1,1/1,1

свідчити про потенційну небезпеку для ґрунтових вод. Органічна система удобрення, у переважній більшості випадків, забезпечувала оптимальний та нормальний стан ґрунту (табл. 6).

Таблиця 6 – Вплив внесення добрив на процеси міграції ВМ за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти дослідів	Екологічний стан (за величиною К _с)			
	Рb	Сu	Zn	Ni
N ₆₀ N ₃₀	задов/оптим	задов/оптим	незадов/оптим	норма/задов
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	задов/оптим	норма/задов	незадов/норма	норма/оптим
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	оптим/оптим	норма/оптим	незадов/норма	задов/незадов
Побічна продукція	оптим/задов	норма/задов	норма/норма	норма/оптим

Таким чином, в ході досліджень було показано, що мінеральна система удобрення та інтенсивний захист рослин можуть бути причиною нагромадження потенційно небезпечних шкідливих речовин у верхніх горизонтах ґрунту, а також сприяти їх міграції вниз за ґрунтовим профілем і створювати потенційну загрозу забруднення ґрунтових вод.

Проте К_с не є достатньо інформативним показником екологічного стану ґрунту, оскільки техногенне забруднення ґрунту майже завжди є поліелементним. До того ж межу токсичної дії на рослини конкретного ВМ встановити дуже складно, оскільки майже завжди має місце поліелементне забруднення ґрунтів, що ускладнює прогноз реакції рослин на дію певного металу. І тому вкрай необхідно є санітарно-гігієнічна оцінка стану ґрунтів та рослин,

на основі розрахунків сумарного показника забруднення (Z_с), який відображає ефект впливу групи металів, здійснювався за формулою [5]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1) \quad (2)$$

де K_с – коєфіцієнт концентрації ВМ; n – кількість ВМ, за якими розраховується сумарне забруднення.

Оціночна шкала містить такі категорії та рівні за сумарним показником забруднення Z_с: 1 – допустима категорія, низький рівень забруднення, Z_с < 16; 2 – помірно небезпечна категорія, середній рівень забруднення, Z_с = 16–32; 3 – небезпечна категорія, високий рівень забруднення, Z_с = 32–128; 4 – надзвичайно небезпечна категорія, надзвичайно високий рівень забруднення, Z_с > 128.

Результати розрахунків сумарного показника забруднення ґрунтів ВМ на територіях прилеглих до авіапідприємств представлені в табл. 7.

Таблиця 7 – Сумарний геохімічний показник забруднення ґрунтів ВМ

Місце відбору проб, м	Поверхневі проби ґрунту	Проби ґрунту на глибині 20см
ЗПС	867,3	332,4
20	395,4	212,2
100	210,3	91,1
250	105,1	77,3
500	105,8	64,3
1000	105,3	48,1

Результати розрахунку сумарного показника забруднення ґрунтів ВМ показали, що поверхневі проби поблизу ЗПС на відстані 20 м і 100 м належать до надзвичайно небезпечної категорії і рівень забруднення надзвичайно високий, а на відстанях 250, 500, 1000 м небезпечна категорія і високий рівень забруднення.

Зразки ґрунту, що були відібрані на глибині 20 см поблизу ЗПС і на 20 м відносяться до надзвичайно небезпечної категорії і мають надзвичайно високий рівень забруднення, а на відстанях 100, 250, 500, 1000 м належать до небезпечної категорії і рівень забруднення – високий.

У ході досліджень рослинні угруповання розглядалися не як ізольована складова екосистеми, а у системі ґрунт-рослина і тому після проведення санітарно-екологічної оцінки ґрунтів постала необхідність розрахунку сумарного показника забруднення рослинних угруповань (Z_с).

Розрахунок сумарного показника забруднення ВМ рослин поблизу ЗПС (Z_с=90,5), та на відстані 20 м (Z_с=39,2) вказує на небезпечну категорію та високий рівень забруднення рослин, а у зразках рослин на 100 м (Z_с=19,7), 250 м (Z_с=17,9), 500 м (Z_с=16,7), і 1000 м (Z_с=18,2), за сумарним показником помірно небезпечна категорія і середній рівень забруднення

Оцінка стану ґрунтів при внесенні мінеральних добрив наведена в табл. 8.

Таблиця 8 – Сумарний показник забруднення ґрунтів при внесенні мінеральних добрив

Варіанти	Z _c	Оцінка стану ґрунту
N ₆₀ N ₃₀	15,71	допустимий
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	16,83	помірно-небезпечний
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	12,16	допустимий
Побічна продукція	10,32	оптимальний

Результати досліджень показали, що внесення різних норм мінеральних добрив характеризує допустимий помірний стан ґрунту. Цьому процесу сприяла інтенсивна система захисту рослин. Мінімальна система захисту рослин, особливо при застосуванні органічної добрива забезпечували оптимальний стан ґрунту. Це пояснюється тим, що при систематичному використанні органічної системи добрив поліпшуються фізико-хімічні властивості, буферність ґрунту, і це сприяє зниженню ступеню рухомості ВМ.

Для оцінки безпеки рівня забруднення ґрунтового покриву ВМ здійснений розрахунок коефіцієнта токсичної безпеки (K_{нб}), що визначався як відношення концентрації ВМ у ґрунтах до його значення ГДК і розраховувався за формулою [12]:

$$K_{нб} = C_i / \text{ГДК} \quad (3)$$

де C_i – концентрація ВМ у ґрунті, мг/кг; ГДК – показник гранично допустимої концентрації валового вмісту ВМ у ґрунті, мг/кг.

Для обчислення K_{нб} були використані нормативні показники значень ГДК валового вмісту ВМ, подані у джерелах [7]. За нормальних умов коефіцієнт безпеки має бути меншим або дорівнювати одиниці.

В ході розрахунків встановлено, що вміст ВМ у дослідних ґрунтах перевищує цей показник в усіх точках відбору проб для міді, у поверхневих пробах ґрунту (K_{нб}=1,4–3), у пробах відібраних на глибині 20 м (K_{нб}=1,1–2,2). Для свинцю встановлені перевищення поблизу ЗПС (у поверхневих пробах K_{нб}=1,3, взятих на глибині 20 м K_{нб}=1) та на відстані 1000 м (у поверхневих пробах K_{нб}=1,5, відібраних на глибині 20 м K_{нб}=1,4). На 1000 м високе значення коефіцієнту безпеки обумовлене близьким розташуванням автомобільних шляхів. Для цинку встановлені перевищення лише у поверхневих пробах ґрунту поблизу ЗПС (K_{нб}=1,6) та на відстані 20 м (K_{нб}=1,1). На 1000 м високе значення коефіцієнту концентрації також обумовлене близьким розташуванням автомобільних шляхів. Вміст нікелю, хрому та кадмію не представляє токсичної безпеки для ґрунтів в усіх точках відбору проб.

Встановлені коефіцієнти безпеки для ВМ в ґрунтовому покриві не свідчать про такі ж показники для рослин, що ростуть на цих ґрунтах. Адже ВМ в ґрунті присутні у різних формах з'єднань, які можуть вільно трансформуватися і переходити з однієї форми в іншу. Зазвичай метали перебувають у валовій та рухомій формах з'єднань, проте лише остання є доступна для рослин.

Для оцінки ступеня рухомості важких металів був розрахований показник рухомості ВМ (P), який дає змогу встановити можливість переходу ВМ із валової форми у доступну для рослин рухому. Показник рухомості визначався за формулою:

$$P = P_{\phi} / B_{\phi} \cdot 100 \% \quad (4)$$

де B_φ – валова форма ВМ, мг/кг; P_φ – рухома форма ВМ, мг/кг.

Результати розрахунку показника рухомості свідчать про високу ймовірність переходу міді, свинцю та цинку із валової форми в рухому – доступну для рослин, адже показник рухомості для Cu = 99,1 %, Pb = 76,5 %, Zn = 63,9 %.

Для визначення доступності металу в ґрунті для рослин та здатності накопичення рухомих форм ВМ в рослинах здійснювався розрахунок коефіцієнту накопичення або коефіцієнту біологічного поглинання (K_{БП}), який визначався як співвідношення концентрації ВМ у рослинній золі до його концентрації в ґрунті за формулою:

$$K_{БП} = \frac{C_p}{C_{gp}} \quad (5)$$

де C_p – концентрація ВМ у золі рослин, мг/кг; C_{gp} – концентрація ВМ у ґрунті, мг/кг.

Коефіцієнти біологічного поглинання дають можливість оцінити вплив технології не лише на процеси накопичення ВМ рослинами, а і охопити всю систему ґрунт-добрива-пестициди-рослина. За рівнем відхилення від контрольного варіанту можна провести екологічне оцінювання транс локації переходу ВМ з ґрунту в рослини.

Отримані результати показали, що кількість свинцю зменшується у ряду ґрунт- вегетативні органи – генеративні органи (зерно). У контрольному варіанті на фоні інтенсивного захисту рослин K_{б.п.} свинцю відповідно складав: 0,15–0,09. Застосування мінеральних добрив збільшило величину K_{б.п.} у зерні до 0,10–0,17, застосування побічної продукції сприяло зниженню переходу свинцю у рослини – K_{б.п.} становив 0,11–0,12 (табл. 9). Відповідно до визначених коефіцієнтів біологічного поглинання свинцю було проведено оцінювання технологій вирощування пшениці озимої (табл. 10).

Таблиця 9 – Коефіцієнт біологічного поглинання (K_{б.п.}) свинцю вегетативними (солома) і генеративними (зерно) органами пшениці озимої (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти	Вміст Pb у темно-сірому опідзоленому ґрунті	Органи пшениці	
		Вегетативні (солома)	Генеративні (зерно)
N ₆₀ N ₃₀	2,69/2,00	0,22/0,21	0,14/0,13
P ₁₃₅ K ₁₃₅ +N ₈₀ +N ₅₅	3,05/2,05	0,17/0,24	0,11/0,13
P ₉₀ K ₉₀ +N ₆₀ +N ₃₀	3,27/2,31	0,15/0,20	0,08/0,10
Побічна продукція	2,33/2,07	0,16/0,14	0,11/0,13
Контроль	2,55/1,85	0,15/0,18	0,09/0,09

Таблиця 10 – Екологічне оцінювання технологій вирощування пшениці за величиною $K_{б.п.}$ свинцю для генеративних органів (зерна) (інтенсивна/мінімальна система захисту рослин)

Варіанти	Екологічне оцінювання	
	Екологічний стан	Оцінка, бали
$N_{60}N_{30}$	незадовільний/ задовільний	0/1
$P_{135}K_{135}+N_{80}+N_{55}$	незадовільний/ незадовільний	0/0
$P_{90}K_{90}N_{60}+N_{30}$	задовільний/ незадовільний	1/0
Побічна продукція	незадовільний/ незадовільний	0/0
Контроль	оптимальний/ оптимальний	3/3

Розраховані коефіцієнти ($K_{б.п.}$) свідчать про високу ступінь доступності та високу можливість рослин акумулювати, накопичувати в собі міді та свинцю із ґрунту, в результаті чого спостерігається високий ступінь транс локаційних процесів переходу з ґрунту до вегетативних і генеративних органів рослини. Для міді коефіцієнт біологічного поглинання становив 1,1 поблизу ЗПС на відстані 20 м. Аналогічно для свинцю $K_{б.п.}$ становив 2,6 поблизу ЗПС на відстані 20 м, на відстані 1000 м – $K_{б.п.}=1,8$.

ВИСНОВКИ. Очевидно, отримані значення основних геохімічних і екологічних показників показали, що ґрунту на територіях, прилеглих до підприємств цивільної авіації потерпають від техногенного впливу. Про це свідчать накопичення, насамперед, міді та свинцю, в меншій мірі цинку та висока імовірність їх акумуляції у рослинах. Тому описані загальні підходи доцільно використовувати для кількісної оцінки екологічного стану ґрунтів, наприклад, як індикатора прояву екологічної небезпеки при техногенно-хімічному забрудненні.

Досліджено, що коефіцієнти концентрації дають можливість встановити ступінь нагромадження потенційно небезпечних шкідливих речовин у верхніх горизонтах ґрунту і міграцію їх за ґрунтовим профілем.

Показано, що за різних норм внесення добрив і пестицидів кількість шкідливих речовин зменшується у ряду ґрунт – вегетативні органи – генеративні органи. Застосування мінеральних добрив, особливо

на фоні інтенсивного захисту рослин, збільшувало величину $K_{б.п.}$ у генеративних органах, застосування побічної продукції, навпаки, сприяло зниженню переходу шкідливих речовин у рослини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Булаєнко О.М. Теоретично-експериментальний аналіз використання біодеструкторів для ліквідації нафтового забруднення ґрунту та акваторії Маріупольського торгового порту // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2(16). – С. 65–69.
2. Алексєєва Т.М., Козловська Т.Ф., Безденєжних Л.А. Стан ґрунтового покриву як індикатор екологічної небезпеки // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 1(11). – С. 73–77.
3. Екологічний стан ґрунтового покриву в зоні експлуатації і ремонту авіаційної техніки / В.А. Гроза, С.М. Маджд, Г.М. Франчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К.: 2010. – Вип. 5. – С. 56–66.
4. Etingoff K. Urban ecology: strategies for Green Infrastructure and Land Use / K.Etingoff. – Apple academic press, 2015. – 351 p.
5. Luo X. Trace metal contamination in urban soils of China // Science of The Total Environment – 2012(1). V. 421. – PP. 17–30.
6. Клімова Н.М. Деякі питання методики оцінки стану забруднення ґрунтів унаслідок нафто газовидобутку // Вісник Львів. ун-ту. – Львів: ЛьВУ, 2006. – Вип. 33. – С. 144–151.
7. Малишева Л.Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану території. – К.: РВЦ «Київський університет», 1998. – 264 с.
8. Важкі метали в ґрунтах Українського Полісся та Київського маґаполісу / А.І. Самчук, І.В. Кураєва, О.С. Єгоров. – К.: Ін-т геохімії, мінералогії та рудотворення НАН України, 2006. – 108 с.
9. Вміст важких металів у сірому опідзоленому ґрунті під озимою пшеницею залежно від систем удобрення та способів основного обробітку в сівозміні / Ю.А. Білявський, Н.Я. Кривіч, Г.А. Берегова // Вісник ДАУ. – 2001. – № 2. – С. 48–51.
10. Влияние природных мелиорантов и тяжелых металлов на урожайность зерновых культур и микрофлору дерново-подзолистой почвы / Т.Л. Жигарева, Р.М. Алексахин, Д.Г. Свириденко // Агрохимия. – 2005. – № 11. – С. 60–65.

QUALITY CONTROL OF SOILS AS INDICATORS OF ENVIRONMENTAL HAZARDS OF URBAN AREAS BY SCIENTIFIC METHODS

S. Madzhd, Y. Bovsunovsky

National Aviation University

prosp. Kosmonavta Komarova, 1, Kiev, 03058, Ukraine. E-mail: period@nau.edu.ua

O. Tagachinska

National University of Food Technologies

vul. Volodymyrska, 68, Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: madzhd@i.ua

Purpose. To develop common approaches to quantify the ecological state of soils as an indicator of the manifestation of environmental hazards to technogenic degraded areas through the lens of environmental and

geochemical approach. **Methodology.** We have applied the theory of migration chemical elements in the system "soil - plants" for calculation environmental and geochemical indicators. **Results.** We have determined the degree of absorptions by plants the Pb, Cu, Zn, Ni from soil with intensive and minimal plant protection. Concentrations of heavy metals are increased when we used mineral system of fertilization and intensive plant protection, K_c reached the level 1,2 – 1,3, which corresponds to a satisfactory and unsatisfactory environmental condition and made indicate potential danger. Organic fertilizer system, in most cases, provide optimal and normal environmental condition. **Originality.** Grading scale allows you to quickly adjust settings accumulation of heavy metals in the system "soil - plant". Priority to organic fertilization technologically loaded areas was determined. **Practical value.** Common approaches to quantify the ecological state of soils as an indicator of the manifestation of environmental hazards to technogenic degraded areas allow you to control the process of cleaning soil from heavy metals. References 10, tables 9.

Key words: soil, pollution, environmental control, hazard.

REFERENCES

1. Burlaenko, O.M. (2013), "Theoretical and experimental analysis using Biodestructors to eliminate oil pollution and waters of Mariupol commercial port", *Environmental safety*, Vol. 2(16), pp. 65–69.
2. Alekseeva, T.M., Kozlovska, T.F., Bezdezhnih, L.A. (2011), "State of soil as indicator environmental hazard", *Environmental safety*, Vol. 1(11), pp. 73–77.
3. Groza, V.A., Madzhd, S.M., Franchuk, G.M. (2010), "Environmental state of soil in the aircraft area", *Environmental safety and nature managment: Collection of scientific papers*, Vol. 5, pp. 56–66.
4. Etingoff, K. (2015), *Urban ecology: strategies for Green Infrastructure and Land Use*, Apple academic press, Waretown, USA.
5. Luo, X. (2012), "Trace metal contamination in urban soils of China", *Science of The Total Environment*, iss. (1), Vol. 421, pp. 17–30.
6. Klimova, N.M. (2006), "Some questions of methodology assessment of soil contamination due to oil gas extraction", *Annals of Lviv university*, Vol. 33, pp. 144–151.
7. Malisheva, L.L. (1998), *Landshaftno geohimichna otsinka ekologichnogo stanu teritoriy* [Landscape-geochemical assessment of the ecological state of area], RVTs «Kiyv University», Kyiv, Ukraine.
8. Samchuk, A.I., Kuraeva, I.V., Egorov, O.S. (2006), *Vazhki metaly v gruntah ukrainskogo Polissya ta Kiyvskogo megapolisu* [Heavy metals in soils Polesie and Ukrainian metropolis of Kiev], Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
9. Bilyavsky, U.A., Krivich, N.Y., Beregova, G.A. (2001), "The content of heavy metals in gray podzolic soil under winter wheat depending on fertilizing systems and methods of basic soil in crop rotation", *Annals DAU*, Vol. 2, pp. 48–51.
10. Zhigareva, T.L., Alexahen, R.N., Sviridenko, D.G. (2005), "Influence of natural ameliorants and heavy metals on the yield of grain crops, and the microflora of sod-podzolic soil", *Agrochemistry*, Vol. 11, pp. 60–65.

Стаття надійшла 28.03.2016.