


**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ЛІТО- ТА ГІДРОСФЕРИ:
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання індивідуального завдання № 1



УДК 502/504 (072)
Т38

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 4 від 30.01.2026 р.)

Укладачі:

Максимова Н. М., канд. техн. наук, доцент,
Мацак А. О., канд. техн. наук, доцент,
Таврель М. І., ст. викл.

Т38 Технології захисту літо- та гідросфери : методичні рекомендації до виконання індивідуального завдання № 1 / уклад.: Н. М. Максимова, А. О. Мацак, М. І. Таврель. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026. 33 с.

Методичні рекомендації містять тематику, завдання до індивідуального завдання № 1, критерії оцінювання, питання до самоконтролю.

УДК 502/504 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026



ЗМІСТ

ВСТУП	4
Індивідуальне завдання № 1. Визначення інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів	6
1.1 Теоретичні відомості щодо визначення інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів	6
1.2 Приклад визначення рівня забруднення ґрунтів важкими металами	7
1.3 Теоретичні відомості щодо визначення екологічного бонітету ґрунтів	9
1.4 Приклад визначення рівня екологічного (реального) бонітету ґрунтів	12
1.5 Теоретичні відомості про визначення адаптивного потенціалу ґрунтів	14
1.6 Теоретичні відомості про визначення коефіцієнту реакції ґрунтів на техногенний вплив	16
1.7 Приклад визначення адаптивного потенціалу ґрунтів	17
1.8 Теоретичні відомості про визначення екологічного потенціалу ґрунтів	19
1.9 Приклад визначення рівня екологічної стійкості ґрунтів	22
1.10 Завдання	23
Питання для самоперевірки	31
Рекомендовані джерела	31



ВСТУП

У методичних рекомендаціях наведено тематика індивідуального завдання, методичні пояснення щодо порядку виконання, питання для самоперевірки тощо.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання індивідуального завдання оцінюють за бальною шкалою, яка наведена як в семестровому графіку, так і в силабусі та робочій програмі.

Зміст та вимоги до контрольних точок

Оцінка за індивідуальне завдання виставляється через платформу дистанційного навчання Moodle та після перевірки її викладачем. Оцінка виставляється через журнал оцінок Moodle і перевіряються протягом тижня після завершення терміну подачі. Оскарження оцінки може бути здійснене на останньому практичному занятті модуля

Максимальна оцінка становить 20 балів, з них за власне завдання – 10 балів, за захист – 10 балів:


– студент підготував розрахункове завдання / есе за ситуаційним завданням, в якому: правильно визначив проблеми, комплекс факторів, які могли вплинути на їх виникнення, обґрунтував своє бачення теоретичними концепціями або моделями, виконав необхідні розрахунки в разі потреби, представив висновок або власне бачення виходу з проблеми і окреслив можливі перспективи і обмеженість такого рішення; есе структуровано, викладено діловим, науковим або публіцистичним стилем української мови (16-20 балів);

– розрахункове завдання / есе містить комплексну, логічну і оригінальну пропозицію проблематики ситуаційного завдання аж до міждисциплінарного підходу; використання штучного інтелекту (ШІ) не забороняється, оскільки пропозиції відомих застосунків ШІ суттєво залежать від обміркованої постановки питання і уточнюючих питань; однак в разі, якщо відповідь, отримана з використанням ШІ, не є комплексною або не відповідає за стилем і викладеними позиціями іншим частинам есе або завдання, містить очевидно неправдиву інформацію, то оцінка за цим критерієм знижується (12-14 балів);

– студент під час презентації / захисту есе демонструє володіння термінологічним апаратом, відповідає на запитання, здатний швидко адаптувати позицію під зміни у вихідному ситуаційному завданні (10 балів).

Додаткові зауваження:

– студент може оскаржити отримані оцінки в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](https://www.metinvest.univ.edu.ua/)) та



Положенням про політику та процедури врегулювання конфліктних ситуацій ([Академічні політики : Polytechnic \(metinvest.university\)](#))

– оцінки, отримані за роботу на практичних заняттях не можуть бути відпрацьовані або покращені, окрім процедури оскарження, оцінки за інші види поточного контролю можуть бути покращені за індивідуальною домовленістю з викладачем;

Особливі підходи до визнання результатів навчання

– В разі, якщо дисципліна є обов'язковою для здобувача освіти, і він засвоїв повністю або частково відповідні програмні результати навчання під час отримання освіти на попередніх або такому ж рівні, то кредити та оцінка з дисципліни може бути перезарахована в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)). Консультацію з даного питання можна отримати у викладача, куратора або гаранта освітньої програми, завідувача кафедри, за якою закріплено цю дисципліну;

– В разі, якщо здобувач освіти обрав цю дисципліну як дисципліну вільного вибору, не зважаючи на той факт, чи вивчалася вона раніше, оцінка та кредити з цієї дисципліни не перезараховуються;

– В разі, якщо здобувач освіти хотів би самостійно вивчити певні курси з проблематики освітнього компоненту – технологій захисту літосфери та гідросфери (наприклад, Coursera, UdeMy або інших платформ, в т.ч. платформ відкритих курсів вітчизняних та/або закордонних університетів), то 1) доцільно звернутися до списку рекомендованих вебресурсів або проконсультуватися з викладачем на предмет релевантності самосійтно знайденого освітнього ресурсу програмі дисципліни; 2) в разі успішності опанування такого курсу, яке підтверджується сертифікатом або іншим способом, такому здобувачу у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного контролю;

– У разі, якщо здобувач освіти реалізував певний вид наукової роботи (тези, стаття, результативна участь у студентській олімпіаді тощо), то у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного або навіть підсумкового контролю.

Як приклад оформлення пояснювальної та розрахункової частини індивідуального завдання № 1 слід орієнтуватись на відповідне викладення матеріалу у методичних вказівках.



Визначення інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів

1.1 Теоретичні відомості щодо визначення інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів

Для порівняльної характеристики рівня забруднення будь-яких ґрунтів, у тому числі у гірничодобувних районах, найбільш доцільним є використання інтегрального показника, який дозволив би формалізувати весь спектр забруднювачів та вийти на монооціночний критерій в залежності від їх кількісних та якісних характеристик. Таким критерієм є інтегральний показник екологічного напруження (ІПЕН), який дозволяє оцінити кінцевий рівень забруднення ґрунтів, трансформованих під дією антропогенних чинників [1-2].

Цей показник розраховується поетапно у відповідності з нижченаведеним алгоритмом [1]:

1. Визначення коефіцієнта забруднення або накопичення (C_3) для окремого елемента чи речовини (C_i) у порівнянні з його фоновим значеннями ($C_{i\text{ фон}}$):

$$C_3 = \frac{C_i}{C_{i\text{ фон}}} - 1 \quad (1.1)$$

2. Визначення коефіцієнта недостатності (C_H) для окремого елемента:

$$C_H = 1 - \frac{C_i}{C_{i\text{ фон}}} \quad (1.2)$$

3. Визначення інтегрального (або приведенного) коефіцієнта забруднення (\underline{C}_3), який є характеристикою забруднення території з низки елементів (або речовин), де n – кількість аналізованих елементів:

$$\underline{C}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{i\text{ фон}}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

4. Визначення інтегрального коефіцієнта недостатності (\underline{C}_H), який є характеристикою недостатності з низки елементів (або речовин):

$$\underline{C}_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{C_i}{C_{i\text{фон}}} \right) \quad (1.4)$$

5. Визначення коефіцієнта дисбалансу аналізованих елементів чи речовин (C_D):

$$C_D = \underline{C}_3 + \underline{C}_H \quad (1.5)$$

6. Визначення інтегрального показника забруднення ($IP3$) для об'єднання різних за характером показників (C_i) у порівнянні з їх контрольними значеннями (C_{ik}) та переходу від багатокритеріальної до однокритеріальної оцінки:

$$IP3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{C_i}{C_{ik}} - 1 \right| \quad (1.6)$$

7. Визначення інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів ($IPEN$), що використовується для ранжування території за ступенем забруднення та напруженості екологічної ситуації, який поєднує коефіцієнт дисбалансу елементів для конкретної наземної екосистеми (C_D) та рівень її забруднення у вигляді відповідного інтегрального показника ($IP3$):

$$IPEN = C_D + IP3 \quad (1.7)$$

1.2 Приклад визначення рівня забруднення ґрунтів важкими металами

Завдання

Розрахувати рівень забруднення ґрунтів важкими металами у відповідності з табл. 1.1 та порівняти їх значення, зробивши висновки.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані (приклад)

Район	Важкі метали (мг/кг)						
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
контроль (C_{ik})	34	10	13	13	41	1	10
фон ($C_{i\text{фон}}$)	30	9	10	20	30	1	10
м. Дніпро (C_i)	42,22	8,50	16,91	30,15	128,11	1,01	30,64

Розв'язок

Розрахуємо рівень забруднення ґрунтів важкими металами в м. Дніпро.

Інтегральний показник екологічного напруження та коефіцієнти

розрахуємо поетапно у відповідності з алгоритмом [1].

1. Визначимо коефіцієнт забруднення (C_3) та коефіцієнт недостатності (C_H) для елементів (C_i) у порівнянні з їх фоновим значеннями ($C_{i\text{ фон}}$).

Якщо значення елементів (C_i) в м. Дніпро (районі) більше ніж в фоновому значенні, то розраховуємо коефіцієнт C_3 . Якщо навпаки, то розраховуємо коефіцієнт C_H .

Концентрація хрому в ґрунтах $C_i = 42,22$ мг/кг (див. табл. 1.1), що більше за фонове значення $C_{i\text{ фон}} = 30$ мг/кг, тобто $42,22$ мг/кг $>$ 30 мг/кг. Для хрому визначаємо за формулою (5.1) коефіцієнт накопичення C_3^{Cr} :

$$C_3^{Cr} = \frac{C_i}{C_{i\text{ фон}}} - 1 = \frac{42,22}{30} - 1 = 0,41,$$

Коефіцієнт недостатності C_H хрому дорівнює 0.

Концентрація кобальту в ґрунтах $C_i = 8,50$ мг/кг (див. табл. 1.1), що більше за фонове значення $C_{i\text{ фон}} = 9$ мг/кг, тобто $8,50$ мг/кг $<$ 9 мг/кг. Тому $C_3^{Co} = 0$.

Для кобальту визначаємо за формулою (1.2) коефіцієнт недостатності C_H^{Co} :

$$C_H^{Co} = 1 - \frac{C_i}{C_{i\text{ фон}}} = 1 - \frac{8,50}{9,00} = 0,056.$$

Для інших елементів важких металів коефіцієнт забруднення C_3 та коефіцієнт недостатності C_H розраховуємо аналогічно. Результати зведемо в таблицю результатів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків (приклад)

Важкі метали (див. табл. 1.1)	C_i (див. табл. 1.1)	$C_{i\text{ фон}}$ (див. табл. 1.1)	C_K (див. табл. 1.1)	C_3 (див. формулу (1.1))	C_H (див. формулу (1.2))	C_D (див. формулу (1.5))	ІПЗ (див. формулу (1.6))	ІПЕН (див. формулу (1.7))
Хром (Cr)	42,22	30	34	0,41	0		0,25	
Кобальт (Co)	8,50	9	10	0	0,056		0,15	
Нікель (Ni)	16,91	10	13	0,69	0		0,3	
Мідь (Cu)	30,15	20	13	0,51	0		1,32	
Цинк (Zn)	128,11	30	41	3,27	0		2,12	
Кадмій (Cd)	1,01	1	1	0,01	0		0,01	
Свинець (Pb)	30,64	10	10	2,06	0		2,06	
				C_3 (див. формул у (1.3))	C_H (див. формул у (1.4))			
Середнє значення				0,993	0,008	1,001	0,89	1,89

2. Визначимо інтегральний коефіцієнт забруднення (C_3) за формулою (1.3):

$$\underline{C}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{i\text{fon}}} - 1 \right) = \frac{1}{7} (0,41 + 0 + 0,69 + 0,51 + 3,27 + 0,01 + 2,06) = 0,993$$

3. Визначення інтегрального коефіцієнта недостатності (\underline{C}_H) за формулою (1.4):

$$\underline{C}_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{C_i}{C_{i\text{fon}}} \right) = \frac{1}{7} (0 + 0,056 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) = 0,008$$

4. Визначимо коефіцієнт дисбалансу аналізованих елементів (C_D) за формулою (1.5):

$$C_D = \underline{C}_3 + \underline{C}_H = 0,993 + 0,008 = 1,001$$

5. Визначаємо інтегральний показник забруднення ($IP3$) за формулою (1.6):

$$IP3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{C_i}{C_{ik}} - 1 \right| = \frac{1}{7} \left(\left| \frac{42,22}{34} - 1 \right| + \left| \frac{8,5}{10} - 1 \right| + \left| \frac{16,91}{13} - 1 \right| + \left| \frac{30,15}{13} - 1 \right| + \right. \\ \left. + \left| \frac{128,11}{41} - 1 \right| + \left| \frac{1,01}{1} - 1 \right| + \left| \frac{30,64}{10} - 1 \right| \right) = 0,89$$

6. Визначаємо інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів ($IPEN$) за формулою (1.7):

$$IPEN = C_D + IP3 = 1,001 + 0,89 = 1,891$$

Результати зводимо в табл. 1.2.

Висновок. Інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів становить $IPEN=1,89$. Аналогічним алгоритмом можна розрахувати інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів в інших районах (табл. 1.3). Потім порівняти значення між собою та дослідити, де інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів $IPEN$ вище, там і вище рівень забруднення ґрунтів.

1.3 Теоретичні відомості щодо визначення екологічного бонітету ґрунтів

При вивченні екологічних аспектів стану ґрунтів, особливо в агроландшафтах, ключовим моментом є не стільки виявлення рівня їх

забруднення, скільки визначення впливу різних техногенних факторів на родючість, яка є найбільш інтегральною серед всієї сукупності аналізуємих функцій, тим більш що специфікою її є резервність, довгостроковість та стійкість [1-2].

Кількісна оцінка рівня родючості ґрунтів, як відомо, зветься «бонітет». На цей час існує велика кількість методів визначення бонітету. Але за допомогою цих методів оцінюють, як правило, потенційну, а не реальну родючість ґрунтів без урахування можливостей її корегування екологічними факторами. Проте вибір критеріїв цього показника, тобто вибір конкретної ознаки чи їх набору, які можуть бути покладені в його основу, повинен не тільки задовольняти меті проведення обліку рівня родючості, але й обмежитися внутрішніми властивостями систем ґрунтів, що оцінюються [1].

Запропоноване рівняння (1.8) враховує не тільки потенційні можливості екосистем ґрунтів, але й характер їх реалізації в конкретних екологічних умовах та умовах фонового техногенного навантаження:

$$B_e = \frac{B_{\Gamma} + B_{\text{по}}}{C_{D \text{ NPK}} + \text{ІПЕН}_{\text{ВМ}}} \quad (1.8)$$

де B_e – екологічний бонітет ґрунтів; B_{Γ} – відносний бал вмісту гумусу в ґрунтах; $B_{\text{по}}$ – відносний бал співвідношення поглинутих основ $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{Na}^{+}$; $C_{D \text{ NPK}}$ – коефіцієнт дисбалансу з основних елементів живлення (N, P, K); $\text{ІПЕН}_{\text{ВМ}}$ – інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів з пріоритетних важких металів.

Підставивши значення всіх перелічених параметрів у (1.8) з наступним перетворенням одержаного рівняння, отримаємо наступне:

$$B_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\frac{X_i}{X_{\text{опт}}} + \frac{Y_i}{Y_{\text{опт}}}}{\left| \frac{C_i}{C_{\phi}} - 1 \right| + \left(\left| \frac{\Pi_i}{\Pi_{\phi}} - 1 \right| + \left| \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{к}}} - 1 \right| \right)} \right] \quad (1.9)$$

де B_e – екологічний бонітет ґрунтів; X_i – вміст гумусу в техногенних ґрунтах; $X_{\text{опт}}$ – вміст гумусу, оптимальне для цього типу ґрунтів; Y_i – співвідношення поглинутих основ $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{Na}^{+}$ в техногенних ґрунтах; $Y_{\text{опт}}$ – співвідношення поглинутих основ $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{Na}^{+}$, оптимальне для цього типу ґрунтів; C_i – вміст елементів живлення (N, P, K) в техногенних ґрунтах; C_{ϕ} – вміст елементів живлення (N, P, K) в ґрунтах регіонального фону; Π_i – вміст пріоритетних важких металів в техногенних ґрунтах; Π_{ϕ} – вміст пріоритетних важких металів в ґрунтах регіонального фону; $\Pi_{\text{к}}$ – вміст пріоритетних важких металів у контролі;



n – кількість дослідницьких проб ґрунтів.

Ґрунти виникають, функціонують та відтворюються внаслідок процесів, що прямо пов'язані з життям. Як специфічному природно історичному тілу йому властиві ознаки, серед яких найважливішим є вміст гумусу. Тому концентрація гумінових речовин є якісним та кількісним критерієм, діагностичною ознакою стану ґрунтів [1].

Це також стосується співвідношення поглинутих основ $[(Ca^{2+}+Mg^{2+})/Na^+]$, що вкрай потрібні ґрунтам через те, що вони забезпечують нормальне протікання в них біогеохімічних процесів за рахунок нормалізації структури ґрунтів, оптимізації співвідношення волога: повітря, а тому є необхідною умовою формування родючості. Більш того, співвідношення цих катіонів у ґрунтово-поглинаючому комплексі є індикаторною характеристикою ступеня їх засолення. Саме тому ці функції (рівень гуматів та співвідношення поглинутих основ) і були використані при складанні рівняння (1.8). Проте при об'єднанні різних величин з різноманітними кількісними значеннями і одиницями виміру в єдине інтегральне рівняння необхідно оперувати безрозмірними поняттями, тому в цьому рівнянні були використані відношення фактичного рівня показників до їх оптимальних значень, що до того ж потрібно для зіставлення контролюємих параметрів з їх нормою [1].

Наступним, не менш важливим критерієм родючості, є вміст в ґрунтах у доступній формі таких речовин живлення як N та зольні елементи – P і K, рівень яких також вказує на інтенсивність процесів мінералізації органіки ґрунтів. Проте суттєві не стільки їх абсолютні концентрації, скільки співвідношення цих інгредієнтів на місці (in situ) та в нормі. Саме тому було використано таке поняття як «коефіцієнт дисбалансу з основних елементів живлення», який розмістили у знаменнику рівняння через те, що він характеризує ступінь відхилення співвідношення вказаних елементів від оптимуму для конкретного типу регіональних ґрунтів [1].

Через те, що необхідно охарактеризувати не просто родючість, а саме «екологічну» (або реальну) родючість ґрунтів, використання в рівнянні (1.8) показників забруднення ґрунтів є вкрай необхідним. Проте урахувати всі фактори антропогенезу (особливо хімічної природи), що впливають на родючість ґрунтів, неможливо. Тому були обрані лише важкі метали. Це було обумовлено тим, що проблема забруднення ґрунтів України в цілому та Дніпропетровської області зокрема саме цими компонентами стала найбільш актуальною у зв'язку з так званою «металізацією» біосфери, що супроводжується збільшенням впливу цих елементів та їх сполучень практично на всі етапи біогеохімічних циклів, які забезпечують стійкість екосистем. Крім того, важкі метали – це елементи, які практично не підлягають деструкції у ґрунтах, а лише

змінюють валентність та форму свого існування, а тому їх ефекти (особливо в умовах постійного поповнення загального пулу) зростають і в якісному, і в кількісному відношенні [1].

Слід також відмітити, що наведене рівняння посередньо враховує й інші фактори, що впливають на родючість ґрунтів (внесок мінеральних та органічних добрив, зміни щільності та механічного складу ґрунтів, а також окислювально-відновлювальних умов і т. ін.). Інакше кажучи, у рівнянні (1.9) автоматично генерується практично вся необхідна інформація, тому один рівень забезпечує даними іншій, замінюючи дорогі натурні виміри.

Необхідно також відмітити, що розроблене рівняння відноситься до типу так званих субстантивних, тому що воно побудовано з урахуванням внутрішніх властивостей ґрунтів, що тісно корелюють з врожайністю, яку вони в змозі забезпечити.

1.4 Приклад визначення рівня екологічного (реального) бонітету ґрунтів

Завдання (приклад)

Розрахувати рівень екологічного (реального) бонітету ґрунтів у відповідності з табл. 1.3 за прикладом, проаналізувати одержані результати та зробити відповідні висновки [1].

Таблиця 1.3 – Хімічні показники ґрунтів окремих регіонів (мг/кг)

Показник	Фон* 1, 3 / 2, 4	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
			оптимум	фактично	оптимум	фактично	оптимум	фактично	оптимум	фактично
Гумус			5,18	3,56	3,25	2,22	2,46	3,56	4,22	4,01
Кальцій			35,26	22,36	45,14	38,12	38,28	41,15	41,97	37,35
Магній			18,56	15,56	21,19	19,87	19,65	22,36	22,45	20,87
Натрій			3,22	1,18	2,45	3,56	3,18	2,99	4,00	4,26
Азот	2,15/3,54			4,69		1,67		3,65		2,85
Фосфор	1,54/1,89			2,22		1,56		1,11		1,89
Калій	12,18/9,41			11,22		12,85		8,54		11,37
Хром	30	34		41,15		28,14		29,47		37,19
Кобальт	9	10		8,15		11,45		8,56		12,45
Нікель	10	13		18,26		7,15		12,87		21,25
Мідь	20	13		45,21		25,18		15,26		36,28
Цинк	30	41		65,78		30,18		45,36		22,58
Кадмій	1	1		0,89		2,15		1,87		1,11
Свинець	10	10		22,32		11,18		16,21		31,54

Примітка. (*) – 1 і 3 райони / 2 і 4 райони. Відноситься лише до азоту, фосфору та калію

Розв'язок

Розрахуємо рівень екологічного бонітету ґрунтів в 1-ому районі з табл. 1.3 поступово. Спочатку визначимо B_g , потім $B_{по}$, $C_{D\ NPK}$ та $ІПЕН_{ем}$.

1. Визначимо відносний бал вмісту гумусу в ґрунтах:

$$B_g = \frac{X_i}{X_{опт}} = \frac{3,56}{5,18} = 0,69 \quad (1.10)$$

2. Визначимо відносний бал співвідношення поглинутих основ $[(Ca^{2+}+Mg^{2+})/Na^+]$:

$$B_{по} = \frac{Y_i}{Y_{опт}} = \frac{(22,36 + 15,56)/1,18}{(35,26 + 18,56)/3,22} = 1,92 \quad (1.11)$$

3. Визначимо коефіцієнт дисбалансу за основними елементами живлення (N, P, K) (табл. 1.4). Розрахунок $C_з$ та C_H проводимо за прикладом пп. 1.1-1.2.

Таблиця 1.4 – Розрахунок коефіцієнту дисбалансу

Хімічний показник	C_i	$C_i\ fon$	$C_з$	C_H	$C_{D\ NPK}$
Азот (N)	4,69	2,15	1,18	0	
Фосфор (P)	2,22	1,54	0,44	0	
Калій (K)	11,22	12,18	0	0,08	
Середнє значення			0,54	0,03	0,57

4. Визначимо інтегральний показник екологічної напруженості ґрунтів за пріоритетними важкими металами (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Розрахунок $ІПЕН_{ем}$ ґрунтів


Важкі метали	C_i	$C_i\ fon$	C_k	$C_з$	C_H	C_d	$ІПЗ$	$ІПЕН$
Хром (Cr)	41,15	30	34	0,37	0		0,21	
Кобальт (Co)	8,15	9	10	0	0,09		0,19	
Нікель (Ni)	18,26	10	13	0,83	0		0,40	
Мідь (Cu)	45,21	20	13	1,26	0		2,48	
Цинк (Zn)	65,78	30	41	1,19	0		0,60	
Кадмій (Cd)	0,89	1	1	0	0,11		0,11	
Свинець (Pb)	22,32	10	10	1,23	0		1,23	
Середнє значення				0,70	0,03	0,73	0,75	1,48

5. Розрахунок $ІПЕН_{ем}$ проводимо за прикладом пп. 1.1-1.2.

6. Визначаємо екологічний бонітет ґрунтів в 1-ому районі за формулою (1.8)

$$B_e = \frac{B_g + B_{по}}{C_{D\ NPK} + ІПЕН_{ем}} = \frac{0,68 + 1,92}{0,57 + 1,48} = 1,27$$

Висновок. Екологічний бонітет ґрунтів в 1-ому районі становить B_e



= 1,27. Аналогічним алгоритмом можна визначити екологічний бонітет в інших районах (табл. 1.3). Потім порівняти значення між районами та дослідити: де *Be* вище, там і вище рівень родючості ґрунтів.

1.5 Теоретичні відомості про визначення адаптивного потенціалу ґрунтів

Одним з універсальних параметрів ранньої діагностики забруднення ґрунтів вважається комплекс їх біологічних характеристик. Аргументацією цьому твердженню є той факт, що ґрунти, як відомо, є біокосною системою, яка функціонує як єдине ціле при узгодженому протіканні процесів хімічних, біологічних та біохімічних. Але, як відомо, активність та спрямованість біохімічних змін визначається кількісним та якісним спектром ферментів, тому контроль ензиматичної активності систем ґрунтів повинен забезпечувати об'єктивне уявлення про специфіку біопроектів в межах профілю ґрунтів, а також про рівень їх антропогенної корекції. Крім того, біологічні показники дозволяють виявляти ефект забруднення незалежно від джерела та природи техногенного фактора, формалізуючи таким чином сам процес антропогенезу [1-2].

Таким чином можна сказати, що ензиматична активність ґрунтів, як один з методів їх ранньої біодіагностики, забезпечує виявлення характеру та глибини впливу можливих екстремальних факторів на ґрунти, а тому є по суті критерієм їх біохімічного функціонування, що доводить доцільність використання цих показників в якості експрес-тестів під час моніторингу.

Проте максимально об'єктивна оцінка забруднення ґрунтів стає можливою тільки на базі системи показників, які враховують як ступінь забруднення, так і різні властивості цих екосистем, які зумовлюють їх стійкість до впливу забруднюючих речовин і котрі підлягають трансформації під їх впливом [1].

Тому під час аналізу ступеня зміни ґрунтів при забрудненні були обрані також показники ґрунтоутворюючих процесів, тобто ті параметри, які прямо чи опосередковано віддзеркалюють практично всі зміни, що мають місце у ґрунтах. До цієї групи увійшли якісний та кількісний склад гумусу, окислювально-відновлювальні умови, що вказують на спрямованість процесів у ґрунтах, ступінь мінералізації його розчину, а також колоїдно-хімічні властивості цих екосистем – склад та вміст обмінних катіонів ґрунтового-поглинаючого комплексу. Зведення, таким чином, до мінімуму аналізованих параметрів, дозволило вийти на найбільш повні в інформаційному відношенні критерії. Таким чином були забезпечені основні вимоги до вибору вектора моніторингу, а саме – здійсненність та репрезентативність.

Узагальнення одержаної інформації дозволило вийти на інтегральну оцінку якості ґрунтів з екологічної позиції, що забезпечує виявлення прямої залежності змін їх характеристик від сукупного забруднення.

Таким показником став адаптивний потенціал ґрунтів (*АПГ*), який є також показником здатності цих екосистем до самоочищення. Представимо у вигляді [1-2]:

$$АПГ = f(Ox_{акт}, C_{D\text{ НРК}}, ІПЕН_{ВМ}) \quad (1.12)$$

де $Ox_{акт}$ – сумарна активність основних окислювальних ферментів ґрунтів – пероксидази, поліфенолоксидази, каталази та дегідрогеназ; $C_{D\text{ НРК}}$ – коефіцієнт дисбалансу з основних елементів живлення (N, P, K); $ІПЕН_{ВМ}$ – інтегральний показник екологічної напруженості ґрунтів з пріоритетних для цього регіону важких металів.

Підставивши значення $Ox_{акт}$, $C_{D\text{ НРК}}$ та $ІПЕН_{ВМ}$ у рівняння (1.12) та перетворивши його, можна одержати наступне рівняння:

$$АПГ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{Pe_i + P\phi_i + K_i + D\Gamma_i}{\left| \frac{C_i}{C_\phi} - 1 \right| + \left(\left| \frac{Pi}{P\phi} - 1 \right| + \left| \frac{Pk}{Pk} - 1 \right| \right)} \right] \quad (1.12)$$

де *АПГ* – адаптивний потенціал ґрунтів; *Pe_i* – активність пероксидази техногенно навантажених ґрунтів; *Pφ_i* – активність поліфенолоксидази пероксидази техногенно навантажених ґрунтів; *K_i* – активність каталази пероксидази техногенно навантажених ґрунтів; *DΓ_i* – активність дегідрогеназ пероксидази техногенно навантажених ґрунтів; *C_i* – вміст елементів живлення (N, P, K) у пероксидази техногенно навантажених ґрунтах; *Cφ* – вміст елементів живлення (N, P, K) у ґрунтах регіонального фону; *Pi* – вміст пріоритетних важких металів у пероксидазі техногенно навантажених ґрунтів; *Pφ* – вміст пріоритетних важких металів у ґрунтах регіонального фону; *Pк* – вміст пріоритетних для цього регіону важких металів у ґрунтах фонового полігону (у контролі); *n* – кількість дослідницьких проб ґрунтів.

Чисельник у цьому виразі залежить від знаменника, а їх співвідношення характеризує питому біологічну активність ґрунтів, яка обумовлює їх резерв мінливості під впливом техногенних факторів, що віддзеркалює їх потенційну здатність до самоочищення.

В залежності від значення *АПГ* здатність ґрунтів до самоочищення можна визначити як [1-2]:

- $АПГ \leq 1,00$ – мінімальну;

- $1,00 < АПГ \leq 2,00$ – низьку;
- $2,00 < АПГ \leq 3,00$ – помірну;
- $3,00 < АПГ \leq 4,00$ – середню;
- $АПГ > 4,00$ – високу.

1.6 Теоретичні відомості про визначення коефіцієнту реакції ґрунтів на техногенний вплив

Для визначення ступеня мінливості ґрунтів при техногенному впливі на них зручно користуватися безрозмірною величиною, яка дозволяє виміряти не абсолютні значення контрольованих параметрів, а їх розмір з поправкою на фонові рівні аналогічних характеристик [1].

Для цього був запропонований коефіцієнт реакції ґрунтів на техногенне навантаження, який враховує їх потенційну здатність до самоочищення у відношенні до техногенної складової діючих факторів:

$$K = \frac{АПГ_K - АПГ_З}{АПГ_K} \quad (1.13)$$

де K – коефіцієнт реакції ґрунтів на техногенний вплив; $АПГ_З$ – значення адаптивного потенціалу ґрунтів при забрудненні; $АПГ_K$ – значення адаптивного потенціалу ґрунтів в умовах контролю.

Для того, щоб проаналізувати ступінь мінливості ґрунтів під впливом факторів техногенезу необхідно провести відповідне ранжування значень коефіцієнта « K » :

- $0,000 < K \leq 0,200$ – низька;
- $0,200 < K \leq 0,400$ – помірна;
- $0,400 < K \leq 0,600$ – середня;
- $0,600 < K \leq 0,800$ – висока;
- $K > 0,800$ – критична.

Наведений показник є оптимальним не тільки для моніторингу ґрунтів, але й для контролю їх екологічного потенціалу – він точний, чутливий, досить простий, універсальний, а також специфічний. Крім того, розрахована з його допомогою ступінь мінливості ґрунтів під час їх техногенезу дозволяє підійти безпосередньо до виявлення межі інваріантності останніх у вигляді їх екологічного потенціалу та забезпечує можливість орієнтуватися щодо екологічної небезпеки цих ґрунтів: чим ближче цей показник до 1,00, тим більш небезпечним є техногенний вплив на ці екосистеми.

1.7 Приклад визначення адаптивного потенціалу ґрунтів

Завдання (приклад)

Розрахувати рівень адаптивного потенціалу ґрунтів (АПГ) та коефіцієнт їх реакції на техногенний вплив (K) у відповідності з табл. 1.6, оцінити їх якісний характер та зробити відповідні висновки [1].

Таблиця 1.6 – Основні характеристики ґрунтів для визначення їх АПГ та K

Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		фон	фактично	фон	фактично	фон	фактично	фон	фактично
Pe		3,98	2,37	4,51	3,04	3,98	1,99	4,51	2,91
П/ф		0,897	0,198	0,812	0,053	0,897	0,328	0,812	0,049
Дг		9,95	2,05	10,52	2,45	9,95	8,83	10,52	12,15
K		15,41	23,14	14,87	16,35	15,41	6,15	14,87	26,59
Азот	1,95	2,15	3,69	3,54	2,67	2,15	2,65	3,54	3,85
Фосфор	2,15	1,54	2,29	1,89	2,56	1,54	1,88	1,89	2,89
Калій	10,21	12,18	21,22	9,41	14,85	12,18	10,54	9,41	10,37
Хром	34	30	31,15	30	38,14	30	39,47	30	34,19
Кобальт	10	9	11,15	9	11,85	9	18,56	9	10,45
Нікель	13	10	21,26	10	8,15	10	16,87	10	11,25
Мідь	13	20	35,21	20	23,18	20	25,26	20	26,28
Цинк	41	30	75,78	30	34,18	30	65,36	30	32,58
Кадмій	1	1	1,89	1	1,15	1	1,57	1	1,19
Свинець	10	10	42,32	10	14,18	10	26,21	10	21,54

Розв'язок

Розрахуємо рівень адаптивного потенціалу ґрунтів (АПГ) та коефіцієнт їх реакції на техногенний вплив (K) в 1-ому районі у відповідності з табл. 1.6, оцінимо його якісний характер та зробимо відповідні висновки.

1. Визначаємо адаптивний потенціал ґрунтів при забрудненні в 1-ому районі.

1.1. Визначаємо сумарну активність основних окислювальних ферментів ґрунтів:

$$O_{\text{акт}} = Pe_i + Pf_i + K_i + Dg_i = 2,37 + 0,198 + 2,05 + 23,14 = 27,758. \quad (1.14)$$

1.2. Визначимо коефіцієнт дисбалансу за основними елементами живлення (N, P, K) (табл. 1.7). Розрахунок S_z та S_n проводимо за прикладом першої практичної роботи.

Таблиця 1.7 – Розрахунок коефіцієнту дисбалансу

Хімічний показник	C_i	$C_i \text{ фон}$	\underline{C}_z	\underline{C}_H	$C_D \text{ NPK}$
Азот (N)	3,69	2,15	0,72	0	
Фосфор (P)	2,29	1,54	0,49	0	
Калій (K)	21,22	12,18	0,74	0	
Середнє значення			0,65	0	0,65

1.3. Визначимо інтегральний показник екологічної напруженості ґрунтів за пріоритетними важкими металами (табл. 1.8).

Таблиця 1.8 – Розрахунок $ІПЕН_{\text{вм}}$ ґрунтів

Важкі метали	C_i	$C_i \text{ фон}$	C_k	\underline{C}_z	\underline{C}_H	C_d	$ІПЗ$	$ІПЕН$
Хром (Cr)	31,15	30	34	0,04	0		0,08	
Кобальт (Co)	11,15	9	10	0,24	0		0,12	
Нікель (Ni)	21,26	10	13	1,13	0		0,64	
Мідь (Cu)	35,21	20	13	0,76	0		1,71	
Цинк (Zn)	75,78	30	41	1,53	0		0,85	
Кадмій (Cd)	1,89	1	1	0,89	0		0,89	
Свинець (Pb)	42,32	10	10	3,23	0		3,32	
Середнє значення				1,12	0	1,12	1,07	2,19

1.4. Визначаємо адаптивний потенціал ґрунтів при забрудненні в 1-ому районі:

$$АПГ_3 = \frac{Ox_{\text{акт}}}{C_D \text{ NPK} + ІПЕН_{\text{вм}}} = \frac{27,758}{0,65 + 2,19} = 9,77 \quad (1.15)$$

$АПГ_3$ майже 10, тобто $АПГ_3 > 4$. Це показує, що здатність ґрунтів до самоочищення висока.

2. Визначаємо адаптивний потенціал ґрунтів в умовах контролю в 1-ому районі.

2.1. Визначаємо сумарну активність основних окислювальних ферментів ґрунтів:

$$Ox_{\text{акт}} = Pe_i + Pf_i + K_i + Dg_i = 3,98 + 0,897 + 9,95 + 15,41 = 30,237.$$

2.2. Визначаємо коефіцієнт дисбалансу за основними елементами живлення (N, P, K) (табл. 1.9).

Таблиця 1.9 – Розрахунок коефіцієнту дисбалансу

Хімічний показник	$C_i \text{ фон}$	контроль (C_k)	\underline{C}_z	\underline{C}_H	$C_D \text{ NPK}$
Азот (N)	2,15	1,95	0,103	0	
Фосфор (P)	1,54	2,15	0	0,28	
Калій (K)	12,18	10,21	0,193	0	
Середнє значення			0,099	0,093	0,192

2.3. Визначаємо інтегральний показник екологічної напруженості ґрунтів за пріоритетними важкими металами (табл. 1.10).

Таблиця 1.10 – Розрахунок $ІПЕН_{вм}$ ґрунтів

Важкі метали	$C_{i\text{ фон}}$	C_k	C_z	C_H	C_d	$ІПЗ$	$ІПЕН$
Хром (Cr)	30	34	0	0,12		0,12	
Кобальт (Co)	9	10	0	0,1		0,1	
Нікель (Ni)	10	13	0	0,23		0,23	
Мідь (Cu)	20	13	0,54	0		0,54	
Цинк (Zn)	30	41	0	0,27		0,27	
Кадмій (Cd)	1	1	0	0		0	
Свинець (Pb)	10	10	0	0		0	
Середнє значення			0,08	0,103	0,183	0,18	0,363

2.4. Визначаємо адаптивний потенціал ґрунтів в умовах контролю в 1-ому районі:

$$АПГ_k = \frac{Ox_{акт}}{C_{D\text{ НРК}} + ІПЕН_{вм}} = \frac{30,237}{0,192 + 0,363} = 54,5$$

$АПГ_k > 4$, тобто здатність ґрунтів до самоочищення дуже висока.

3. Визначаємо коефіцієнт реакції ґрунтів на техногенний вплив в 1-ому районі за формулою (1.13):

$$K = \frac{АПГ_k - АПГ_3}{АПГ_k} = \frac{54,5 - 9,77}{54,55} = 0,82$$


Висновок. Коефіцієнт реакції ґрунтів на техногенний вплив в 1-ому районі становить $K=0,82$. Це показує, що ступінь мінливості ґрунтів під впливом факторів техногенезу критичний [1].

Аналогічним алгоритмом можна визначити коефіцієнт реакції ґрунтів на техногенний вплив в інших районах (табл. 1.6). Потім проаналізувати та зробити відповідні висновки.

1.8 Теоретичні відомості про визначення екологічного потенціалу ґрунтів

Одним з елементів комплексного моніторингу довкілля є оцінка прогнозованого стану біосфери, тобто її всебічний аналіз з виділенням пріоритетів, до яких, безумовно, відноситься стійкість екосистем, у тому числі й ґрунтів. Це ствердження походить з того, що ґрунти, які є енергетично відкритою природною структурою, займають виключно важливе місце у циклічних процесах обміну речовиною та енергією між літосферою, атмосферою, гідросферою та усіма організмами, що мешкають на Землі. Це й визначило їх центральне місце в забезпеченні інваріантності останніх [1-2].

Проте сама стійкість ґрунтів – поняття відносне. Практично завжди існує резерв мінливості, який виявляється під час змін інтенсивності



екофакторів. Цей резерв, який частіше всього визначається як адаптивний потенціал ґрунтів, є необхідним компонентом її норми. Тому порівнювати різні ґрунти чи різні стани однієї ґрунтової системи відносно рівня їх інваріантності необхідно тільки у відношенні до дестабілізуючого впливу певного виду та сили або їх сполучень. Але через те, що всі фактори, особливо антропогенні, частіше всього виходять за межі нормальної амплітуди ритмів у межах однієї інваріанти, ефект їх може бути гетерогенним – від зростання стійкості (чи її стабілізації) до зменшення або навіть знищення.

Проблема стабільності суттєвим чином ускладнюється за рахунок того, що екосистеми (особливо ґрунти) можуть одночасно випробувати різноспрямований вплив, за рахунок чого вони наближаються до межі, за якою наступають зміни не тільки їх структури та функцій, але й самої природи [1-2].

В наш час є спосіб діагностики стійкості ґрунтів, який базується на вивченні характеру змін рівня ентропії в аналізованих системах, що є елементом теорії відносності. У відповідності з нею, чим ближча ентропія ґрунтів до теоретично можливого максимуму, тим вони менш стійкі та більш чутливі до змін стану факторів довкілля. Недоліком цього методу є складність його реалізації, а також більш теоретичний, чим практичний характер, що ускладнює його використання.

Виходячи з того, що стійкість – це співвідношення відхилення від норми та параметрів впливу, була запропонована функція, яка дозволяє визначати «екологічний потенціал ґрунтів». Цей агрегований показник містить кількісну оцінку дестабілізуючих елементів, які сформовані під впливом багатьох факторів антропотехногенезу. Саме тому інтегральний характер цього виразу забезпечує облік багатьох реакцій ґрунтів та одночасно їх адекватність багатокомпонентним ефектам.

Застосування запропонованого методу робить можливою об'єктивну характеристику ступеня деградаційних явищ та стану процесів самовідновлення ґрунтів. Крім того, усувається суб'єктивізм у виявленні особливостей стимуляції їх відновлення, об'єму та спрямованості таких робіт, тому що одержана оцінка рівня стійкості є одночасно критерієм під час вибору методів практичного рішення проблем моніторингу ґрунтів.

У загальному вигляді це відносний показник екологічної стійкості системи до забруднення або екологічна ємність системи, яка дозволяє встановлювати характер функціонування ґрунту як саморегульованого у часі поліфункційного та гетерогенного об'єкту. Інакше – це параметри екологічної ніші ґрунтів, екологічний діапазон функціонування або рівень екологічної толерантності.

Запропонований спосіб кількісної оцінки межі інваріантності ґрунтів, а також характеру їх функціонування як саморегульованої у часі системи включає визначення відношення активності процесів

біохімічного самоочищення ґрунтів у формі їх адаптивного потенціалу до дисбалансу фізичних та хімічних факторів у вигляді активної кислотності, глибини гуміфікації та рівня органічного вуглецю, що приймають участь у регенерації ґрунтів [1-2]:

$$E = \frac{АПГ_3}{C_{D\text{ pH}} + C_{D\text{ Co}} + C_{D\text{ гр}}} \quad (1.16)$$

де $АПГ_3$ – адаптивний потенціал ґрунтів при забрудненні; $C_{D\text{ pH}}$ – коефіцієнт дисбалансу активної кислотності ґрунтів (рН); $C_{D\text{ Co}}$ – коефіцієнт дисбалансу рівня органічного вуглецю у ґрунтах; $C_{D\text{ гр}}$ – коефіцієнт дисбалансу глибини гуміфікації ґрунтів, де глибина гуміфікації $K_{гр} = П/ф:Пе$.

Підставивши значення $C_{D\text{ pH}}$, $C_{D\text{ Co}}$ та $C_{D\text{ гр}}$ у формулу (1.1) та перетворивши одержане рівняння, отримуємо наступний вираз [1]:

$$E = \frac{АПГ_3}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{C_i^{pH}}{C_{\phi}^{pH}} - 1 \right| + \left| \frac{C_i^{Co}}{C_{\phi}^{Co}} - 1 \right| + \left| \frac{C_i^{гр}}{C_{\phi}^{гр}} - 1 \right| \right)} \quad (1.17)$$

де E – екологічний потенціал ґрунтів; $АПГ_3$ – адаптивний потенціал ґрунтів при забрудненні; C_i^{pH} – активна кислотність техногенних ґрунтів; C_{ϕ}^{pH} – активна кислотність ґрунтів регіонального фону; C_i^{Co} – вміст органічного вуглецю у техногенних ґрунтах; C_{ϕ}^{Co} – вміст органічного вуглецю у ґрунтах регіонального фону; $C_i^{гр}$ – глибина гуміфікації техногенних ґрунтів; $C_{\phi}^{гр}$ – глибина гуміфікації ґрунтів регіонального фону; n – кількість дослідницьких проб ґрунтів.

Рівняння (1.17) адекватно віддзеркалює рівень екологічної стійкості ґрунтів до техногенного навантаження, що свідчить про діапазон їх функціонування. Застосування запропонованого методу робить можливою об'єктивну характеристику ступеня деградаційних явищ у ґрунтах та стану процесів їх самовідновлення [1].

В залежності від значення екологічного потенціалу ґрунти за величиною екологічної стійкості поділяються на наступні категорії:

- $E \leq 1$ – ґрунти екологічно нестійкі,
- $1 < E \leq 2$ – екологічна стійкість ґрунтів низька,
- $2 < E \leq 3$ – екологічна стійкість ґрунтів задовільна,
- $E > 3$ – екологічна стійкість ґрунтів висока.

1.9 Приклад визначення рівня екологічної стійкості ґрунтів

Завдання

Розрахувати рівень екологічної стійкості ґрунтів (E) у відповідності з табл. 1.11, оцінити їх категорію та зробити адекватні висновки [1].

Таблиця 1.11 – Основні характеристики ґрунтів для визначення їх екологічної стійкості

Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		фон	фактично	фон	фактично	фон	фактично	фон	фактично
Сорг., %		0,51	1,34	0,63	2,07	0,51	0,92	0,63	1,85
pH		7,14	6,25	7,37	6,11	7,14	7,59	7,37	8,14
Pe		4,29	3,37	4,79	1,04	4,29	4,99	4,79	1,91
П/ф		0,978	0,298	0,918	0,153	0,978	0,428	0,918	0,149
Дг		10,17	8,05	10,67	2,45	10,17	5,83	10,67	11,15
К		15,26	23,14	15,96	14,35	15,26	16,15	15,96	31,59
Азот		3,40	2,69	2,50	3,67	3,40	4,65	2,50	1,85
Фосфор		1,80	2,29	1,40	1,56	1,80	3,88	1,40	1,89
Калій		10,00	11,22	8,00	24,85	10,00	15,54	8,00	16,37
Хром	34	30	37,15	30	28,14	30	22,47	30	44,19
Кобальт	10	9	14,15	9	8,85	9	28,56	9	15,45
Нікель	13	10	11,26	10	18,15	10	26,87	10	19,25
Мідь	13	20	39,21	20	33,18	20	27,26	20	16,28
Цинк	41	30	65,78	30	24,18	30	45,36	30	72,58
Кадмій	1	1	1,29	1	1,85	1	2,57	1	2,19
Свинець	10	10	32,32	10	24,18	10	29,21	10	27,54

Розв'язок

Розраховуємо рівень екологічної стійкості ґрунтів (E) в 1-ому районі з табл. поступово.

Визначимо екологічну стійкість ґрунтів в 1-ому районі.

1. Визначимо адаптивний потенціал ґрунтів.

1.1. Визначимо сумарну активність основних окислювальних ферментів ґрунтів:

$$Ox_{акт} = Pe_i + Pf_i + K_i + Dg_i = 3,37 + 0,298 + 8,05 + 23,14 = 34,858$$

1.2. Визначимо коефіцієнт дисбалансу за основними елементами живлення (N, P, K) (табл. 1.12).

Таблиця 1.12 – Розрахунок коефіцієнту дисбалансу

Хімічний показник	C_i	$C_i_{фон}$	C_z	C_H	CD_{NPK}
Азот (N)	2,69	3,4	0	0,21	
Фосфор (P)	2,29	1,8	0,27	0	
Калій (K)	11,22	10	0,12	0	
Середнє значення			0,13	0,07	0,20

1.3. Визначимо інтегральний показник екологічної напруженості ґрунтів за пріоритетними важкими металами (табл. 1.13).

Таблиця 5.13 – Розрахунок $IPEN_{em}$ ґрунтів

Важкі метали	C_i	C_i_{fon}	C_k	C_z	C_H	C_d	IPZ	$IPEN$
Хром (Cr)	37,15	30	34	0,24	0		0,09	
Кобальт (Co)	14,15	9	10	0,57	0		0,42	
Нікель (Ni)	11,26	10	13	0,13	0		0,13	
Мідь (Cu)	39,21	20	13	0,96	0		2,02	
Цинк (Zn)	65,78	30	41	1,19	0		0,60	
Кадмій (Cd)	1,29	1	1	0,29	0		0,29	
Свинець (Pb)	32,32	10	10	2,23	0		2,32	
Середнє значення				0,80	0	0,80	0,83	1,63

1.4. Визначаємо адаптивний потенціал ґрунтів при забрудненні в 1-ому районі:

$$АПГ_3 = \frac{Ox_{акт}}{C_{D\ NPK} + IPEN_{BM}} = \frac{34,858}{0,20 + 1,63} = 19,05$$

$АПГ_3$ більше 4, тобто здатність ґрунтів до самоочищення висока.

2. Визначаємо екологічний потенціал ґрунтів за формулою (1.17):

$$E = \frac{АПГ_3}{\left| \frac{C_i^{pH}}{C_{\phi}^{pH}} - 1 \right| + \left| \frac{C_i^{Co}}{C_{\phi}^{Co}} - 1 \right| + \left| \frac{C_i^{Pb}}{C_{\phi}^{Pb}} - 1 \right|} =$$

$$= \frac{19,05}{\left| \frac{6,25}{7,14} - 1 \right| + \left| \frac{1,34}{0,52} - 1 \right| + \left| \frac{0,298/3,37}{0,987/4,29} - 1 \right|} = 8,06$$

Висновок. Екологічний потенціал ґрунтів становить $E=8,06$. Це показує, що ґрунти мають високу екологічну стійкість до забруднення.

Аналогічним алгоритмом можна визначити екологічну стійкість ґрунтів на техногенний вплив в інших районах (табл. 1.11). Потім проаналізувати та зробити відповідні висновки.

1.10 Завдання

Завдання № 1

Розрахуйте рівень забруднення ґрунтів важкими металами та визначить інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів за даними, наведеними у табл. 1.14. Алгоритм і приклад виконання завдання наведено в пп. 1.1-1.2 [1]. Зробіть відповідні висновки.

Вміст важких металів та інших полютантів здебільшого наведено

в табл. 1.14 в мг/кг.

Таблиця 1.14 – Вихідні дані для індивідуального завдання 1 за варіантами

Варіант	Контроль	1				2			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.52	1.37	0.64	2.11	0.52	0.94	0.64	1.89
pH		7.28	6.38	7.52	6.23	7.28	7.74	7.52	8.3
Pe		4.38	3.44	4.89	1.06	4.38	5.09	4.89	1.95
П/ф		0.998	0.304	0.936	0.156	0.998	0.437	0.936	0.152
Дг		10.37	8.21	10.88	2.5	10.37	5.95	10.88	11.37
К		15.57	23.6	16.28	14.64	15.57	16.47	16.28	32.22
Азот		3.5	2.7	2.6	3.7	3.5	4.7	2.6	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4	1.4	1.9
Калій		10.1	11.33	8.08	25.1	10.1	15.7	8.08	16.53
Хром	34	30.3	37.52	30.3	28.42	30.3	22.69	30.3	44.63
Кобальт	10	9.09	14.29	9.09	8.94	9.09	28.85	9.09	15.6
Нікель	13	10.1	11.37	10.1	18.33	10.1	27.14	10.1	19.44
Мідь	13	20.2	39.6	20.2	33.51	20.2	27.53	20.2	16.44
Цинк	41	30.3	66.44	30.3	24.42	30.3	45.81	30.3	73.31
Кадмій	1	1.01	1.3	1.01	1.87	1.01	2.6	1.01	2.21
Свинець	10	10.1	32.64	10.1	24.42	10.1	29.5	10.1	27.82

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	3				4			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.53	1.4	0.65	2.15	0.53	0.96	0.65	1.93
pH		7.43	6.51	7.67	6.35	7.43	7.89	7.67	8.47
Pe		4.47	3.51	4.99	1.08	4.47	5.19	4.99	1.99
П/ф		1.018	0.31	0.955	0.159	1.018	0.446	0.955	0.155
Дг		10.47	8.29	10.99	2.53	10.47	6.01	10.99	11.48
К		15.73	23.84	16.44	14.79	15.73	16.63	16.44	32.54
Азот		3.5	2.7	2.6	3.7	3.5	4.7	2.6	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4	1.4	1.9
Калій		10.2	11.44	8.16	25.35	10.2	15.86	8.16	16.7
Хром	34	30.6	37.9	30.6	28.7	30.6	22.92	30.6	45.08
Кобальт	10	9.18	14.43	9.18	9.03	9.18	29.14	9.18	15.76
Нікель	13	10.2	11.48	10.2	18.51	10.2	27.41	10.2	19.63
Мідь	13	20.4	40	20.4	33.85	20.4	27.81	20.4	16.6
Цинк	41	30.6	67.1	30.6	24.66	30.6	46.27	30.6	74.04
Кадмій	1	1.02	1.31	1.02	1.89	1.02	2.63	1.02	2.23
Свинець	10	10.2	32.97	10.2	24.66	10.2	29.8	10.2	28.1

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	5				6			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.54	1.43	0.66	2.19	0.54	0.98	0.66	1.97
pH		7.58	6.64	7.82	6.48	7.58	8.05	7.82	8.64
Pe		4.56	3.58	5.09	1.1	4.56	5.29	5.09	2.03
П/ф		1.038	0.316	0.974	0.162	1.038	0.455	0.974	0.158
Дг		10.68	8.46	11.21	2.58	10.68	6.13	11.21	11.71
К		16.04	24.32	16.77	15.09	16.04	16.96	16.77	33.19
Азот		3.6	2.8	2.7	3.8	3.6	4.8	2.7	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.1	1.4	1.9
Калій		10.3	11.55	8.24	25.6	10.3	16.02	8.24	16.87
Хром	34	30.91	38.28	30.91	28.99	30.91	23.15	30.91	45.53
Кобальт	10	9.27	14.57	9.27	9.12	9.27	29.43	9.27	15.92
Нікель	13	10.3	11.59	10.3	18.7	10.3	27.68	10.3	19.83
Мідь	13	20.6	40.4	20.6	34.19	20.6	28.09	20.6	16.77
Цинк	41	30.91	67.77	30.91	24.91	30.91	46.73	30.91	74.78
Кадмій	1	1.03	1.32	1.03	1.91	1.03	2.66	1.03	2.25
Свинець	10	10.3	33.3	10.3	24.91	10.3	30.1	10.3	28.38

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	7				8			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.55	1.46	0.67	2.23	0.55	1	0.67	2.01
pH		7.73	6.77	7.98	6.61	7.73	8.21	7.98	8.81
Pe		4.65	3.65	5.19	1.12	4.65	5.4	5.19	2.07
П/ф		1.059	0.322	0.993	0.165	1.059	0.464	0.993	0.161
Дг		10.79	8.54	11.32	2.61	10.79	6.19	11.32	11.83
К		16.2	24.56	16.94	15.24	16.2	17.13	16.94	33.52
Азот		3.6	2.8	2.7	3.8	3.6	4.8	2.7	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.1	1.4	1.9
Калій		10.4	11.67	8.32	25.86	10.4	16.18	8.32	17.04
Хром	34	31.22	38.66	31.22	29.28	31.22	23.38	31.22	45.99
Кобальт	10	9.36	14.72	9.36	9.21	9.36	29.72	9.36	16.08
Нікель	13	10.4	11.71	10.4	18.89	10.4	27.96	10.4	20.03
Мідь	13	20.81	40.8	20.81	34.53	20.81	28.37	20.81	16.94
Цинк	41	31.22	68.45	31.22	25.16	31.22	47.2	31.22	75.53
Кадмій	1	1.04	1.33	1.04	1.93	1.04	2.69	1.04	2.27
Свинець	10	10.4	33.63	10.4	25.16	10.4	30.4	10.4	28.66

Продовження табл. 1.14

Варіант		9				10			
Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.56	1.49	0.68	2.27	0.56	1.02	0.68	2.05
pH		7.88	6.91	8.14	6.74	7.88	8.37	8.14	8.99
Pe		4.74	3.72	5.29	1.14	4.74	5.51	5.29	2.11
П/ф		1.08	0.328	1.013	0.168	1.08	0.473	1.013	0.164
Дг		11.01	8.71	11.55	2.66	11.01	6.31	11.55	12.07
К		16.52	25.05	17.28	15.54	16.52	17.47	17.28	34.19
Азот		3.7	2.9	2.8	3.9	3.7	4.9	2.8	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.2	1.4	1.9
Калій		10.5	11.79	8.4	26.12	10.5	16.34	8.4	17.21
Хром	34	31.53	39.05	31.53	29.57	31.53	23.61	31.53	46.45
Кобальт	10	9.45	14.87	9.45	9.3	9.45	30.02	9.45	16.24
Нікель	13	10.5	11.83	10.5	19.08	10.5	28.24	10.5	20.23
Мідь	13	21.02	41.21	21.02	34.88	21.02	28.65	21.02	17.11
Цинк	41	31.53	69.13	31.53	25.41	31.53	47.67	31.53	76.29
Кадмій	1	1.05	1.34	1.05	1.95	1.05	2.72	1.05	2.29
Свинець	10	10.5	33.97	10.5	25.41	10.5	30.7	10.5	28.95

Продовження табл. 1.14

Варіант		11				12			
Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.57	1.52	0.69	2.32	0.57	1.04	0.69	2.09
pH		8.04	7.05	8.3	6.87	8.04	8.54	8.3	9.17
Pe		4.83	3.79	5.4	1.16	4.83	5.62	5.4	2.15
П/ф		1.102	0.335	1.033	0.171	1.102	0.482	1.033	0.167
Дг		11.12	8.8	11.67	2.69	11.12	6.37	11.67	12.19
К		16.69	25.3	17.45	15.7	16.69	17.64	17.45	34.53
Азот		3.7	2.9	2.8	3.9	3.7	4.9	2.8	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.2	1.4	1.9
Калій		10.61	11.91	8.48	26.38	10.61	16.5	8.48	17.38
Хром	34	31.85	39.44	31.85	29.87	31.85	23.85	31.85	46.91
Кобальт	10	9.54	15.02	9.54	9.39	9.54	30.32	9.54	16.4
Нікель	13	10.61	11.95	10.61	19.27	10.61	28.52	10.61	20.43
Мідь	13	21.23	41.62	21.23	35.23	21.23	28.94	21.23	17.28
Цинк	41	31.85	69.82	31.85	25.66	31.85	48.15	31.85	77.05
Кадмій	1	1.06	1.35	1.06	1.97	1.06	2.75	1.06	2.31
Свинець	10	10.61	34.31	10.61	25.66	10.61	31.01	10.61	29.24

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	13				14			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.58	1.55	0.7	2.37	0.58	1.06	0.7	2.13
pH		8.2	7.19	8.47	7.01	8.2	8.71	8.47	9.35
Pe		4.93	3.87	5.51	1.18	4.93	5.73	5.51	2.19
П/ф		1.124	0.342	1.054	0.174	1.124	0.492	1.054	0.17
Дг		11.34	8.98	11.9	2.74	11.34	6.5	11.9	12.43
К		17.02	25.81	17.8	16.01	17.02	17.99	17.8	35.22
Азот		3.8	3	2.9	4	3.8	5	2.9	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.3	1.4	1.9
Калій		10.72	12.03	8.56	26.64	10.72	16.67	8.56	17.55
Хром	34	32.17	39.83	32.17	30.17	32.17	24.09	32.17	47.38
Кобальт	10	9.64	15.17	9.64	9.48	9.64	30.62	9.64	16.56
Нікель	13	10.72	12.07	10.72	19.46	10.72	28.81	10.72	20.63
Мідь	13	21.44	42.04	21.44	35.58	21.44	29.23	21.44	17.45
Цинк	41	32.17	70.52	32.17	25.92	32.17	48.63	32.17	77.82
Кадмій	1	1.07	1.36	1.07	1.99	1.07	2.78	1.07	2.33
Свинець	10	10.72	34.65	10.72	25.92	10.72	31.32	10.72	29.53

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	15				16			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.59	1.58	0.71	2.42	0.59	1.08	0.71	2.17
pH		8.36	7.33	8.64	7.15	8.36	8.88	8.64	9.54
Pe		5.03	3.95	5.62	1.2	5.03	5.84	5.62	2.23
П/ф		1.146	0.349	1.075	0.177	1.146	0.502	1.075	0.173
Дг		11.45	9.07	12.02	2.77	11.45	6.57	12.02	12.55
К		17.19	26.07	17.98	16.17	17.19	18.17	17.98	35.57
Азот		3.8	3	2.9	4	3.8	5.1	2.9	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.3	1.4	1.9
Калій		10.83	12.15	8.65	26.91	10.83	16.84	8.65	17.73
Хром	34	32.49	40.23	32.49	30.47	32.49	24.33	32.49	47.85
Кобальт	10	9.74	15.32	9.74	9.57	9.74	30.93	9.74	16.73
Нікель	13	10.83	12.19	10.83	19.65	10.83	29.1	10.83	20.84
Мідь	13	21.65	42.46	21.65	35.94	21.65	29.52	21.65	17.62
Цинк	41	32.49	71.23	32.49	26.18	32.49	49.12	32.49	78.6
Кадмій	1	1.08	1.37	1.08	2.01	1.08	2.81	1.08	2.35
Свинець	10	10.83	35	10.83	26.18	10.83	31.63	10.83	29.83

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	17				18			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.6	1.61	0.72	2.47	0.6	1.1	0.72	2.21
pH		8.53	7.48	8.81	7.29	8.53	9.06	8.81	9.73
Pe		5.13	4.03	5.73	1.22	5.13	5.96	5.73	2.27
П/ф		1.169	0.356	1.097	0.181	1.169	0.512	1.097	0.176
Дг		11.56	9.16	12.14	2.8	11.56	6.64	12.14	12.68
К		17.36	26.33	18.16	16.33	17.36	18.35	18.16	35.93
Азот		3.8	3	2.9	4	3.8	5.2	2.9	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.3	1.4	1.9
Калій		10.94	12.27	8.74	27.18	10.94	17.01	8.74	17.91
Хром	34	32.81	40.63	32.81	30.77	32.81	24.57	32.81	48.33
Кобальт	10	9.84	15.47	9.84	9.67	9.84	31.24	9.84	16.9
Нікель	13	10.94	12.31	10.94	19.85	10.94	29.39	10.94	21.05
Мідь	13	21.87	42.88	21.87	36.3	21.87	29.82	21.87	17.8
Цинк	41	32.81	71.94	32.81	26.44	32.81	49.61	32.81	79.39
Кадмій	1	1.09	1.38	1.09	2.03	1.09	2.84	1.09	2.37
Свинець	10	10.94	35.35	10.94	26.44	10.94	31.95	10.94	30.13

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	19				20			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.61	1.64	0.73	2.52	0.61	1.12	0.73	2.25
pH		8.7	7.63	8.99	7.44	8.7	9.24	8.99	9.92
Pe		5.23	4.11	5.84	1.24	5.23	6.08	5.84	2.32
П/ф		1.192	0.363	1.119	0.185	1.192	0.522	1.119	0.18
Дг		11.79	9.34	12.38	2.86	11.79	6.77	12.38	12.93
К		17.71	26.86	18.52	16.66	17.71	18.72	18.52	36.65
Азот		3.9	3.1	3	4.1	3.9	5.3	3	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.4	1.4	1.9
Калій		11.05	12.39	8.83	27.45	11.05	17.18	8.83	18.09
Хром	34	33.14	41.04	33.14	31.08	33.14	24.82	33.14	48.81
Кобальт	10	9.94	15.62	9.94	9.77	9.94	31.55	9.94	17.07
Нікель	13	11.05	12.43	11.05	20.05	11.05	29.68	11.05	21.26
Мідь	13	22.09	43.31	22.09	36.66	22.09	30.12	22.09	17.98
Цинк	41	33.14	72.66	33.14	26.7	33.14	50.11	33.14	80.18
Кадмій	1	1.1	1.39	1.1	2.05	1.1	2.87	1.1	2.39
Свинець	10	11.05	35.7	11.05	26.7	11.05	32.27	11.05	30.43

Продовження табл. 1.14

Варіант		21				22			
Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.62	1.67	0.74	2.57	0.62	1.14	0.74	2.3
pH		8.87	7.78	9.17	7.59	8.87	9.42	9.17	10.12
Pe		5.33	4.19	5.96	1.26	5.33	6.2	5.96	2.37
П/ф		1.216	0.37	1.141	0.189	1.216	0.532	1.141	0.184
Дг		11.91	9.43	12.5	2.89	11.91	6.84	12.5	13.06
К		17.89	27.13	18.71	16.83	17.89	18.91	18.71	37.02
Азот		3.9	3.1	3	4.1	3.9	5.4	3	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.4	1.4	1.9
Калій		11.16	12.51	8.92	27.72	11.16	17.35	8.92	18.27
Хром	34	33.47	41.45	33.47	31.39	33.47	25.07	33.47	49.3
Кобальт	10	10.04	15.78	10.04	9.87	10.04	31.87	10.04	17.24
Нікель	13	11.16	12.55	11.16	20.25	11.16	29.98	11.16	21.47
Мідь	13	22.31	43.74	22.31	37.03	22.31	30.42	22.31	18.16
Цинк	41	33.47	73.39	33.47	26.97	33.47	50.61	33.47	80.98
Кадмій	1	1.11	1.4	1.11	2.07	1.11	2.9	1.11	2.41
Свинець	10	11.16	36.06	11.16	26.97	11.16	32.59	11.16	30.73

Продовження табл. 1.14

Варіант		23				24			
Показник, мг/кг	Контроль	1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.63	1.7	0.75	2.62	0.63	1.16	0.75	2.35
pH		9.05	7.94	9.35	7.74	9.05	9.61	9.35	10.32
Pe		5.44	4.27	6.08	1.29	5.44	6.32	6.08	2.42
П/ф		1.24	0.377	1.164	0.193	1.24	0.543	1.164	0.188
Дг		12.03	9.52	12.63	2.92	12.03	6.91	12.63	13.19
К		18.07	27.4	18.9	17	18.07	19.1	18.9	37.39
Азот		3.9	3.1	3	4.1	3.9	5.5	3	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.4	1.4	1.9
Калій		11.27	12.64	9.01	28	11.27	17.52	9.01	18.45
Хром	34	33.8	41.86	33.8	31.7	33.8	25.32	33.8	49.79
Кобальт	10	10.14	15.94	10.14	9.97	10.14	32.19	10.14	17.41
Нікель	13	11.27	12.68	11.27	20.45	11.27	30.28	11.27	21.68
Мідь	13	22.53	44.18	22.53	37.4	22.53	30.72	22.53	18.34
Цинк	41	33.8	74.12	33.8	27.24	33.8	51.12	33.8	81.79
Кадмій	1	1.12	1.41	1.12	2.09	1.12	2.93	1.12	2.43
Свинець	10	11.27	36.42	11.27	27.24	11.27	32.92	11.27	31.04

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	25				26			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.64	1.73	0.77	2.67	0.64	1.18	0.77	2.4
pH		9.23	8.1	9.54	7.89	9.23	9.8	9.54	10.53
Pe		5.55	4.36	6.2	1.32	5.55	6.45	6.2	2.47
П/ф		1.265	0.385	1.187	0.197	1.265	0.554	1.187	0.192
Дг		12.27	9.71	12.88	2.98	12.27	7.05	12.88	13.45
К		18.43	27.95	19.28	17.34	18.43	19.48	19.28	38.14
Азот		4	3.2	3.1	4.2	4	5.6	3.1	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.5	1.4	1.9
Калій		11.38	12.77	9.1	28.28	11.38	17.7	9.1	18.63
Хром	34	34.14	42.28	34.14	32.02	34.14	25.57	34.14	50.29
Кобальт	10	10.24	16.1	10.24	10.07	10.24	32.51	10.24	17.58
Нікель	13	11.38	12.81	11.38	20.65	11.38	30.58	11.38	21.9
Мідь	13	22.76	44.62	22.76	37.77	22.76	31.03	22.76	18.52
Цинк	41	34.14	74.86	34.14	27.51	34.14	51.63	34.14	82.61
Кадмій	1	1.13	1.42	1.13	2.11	1.13	2.96	1.13	2.45
Свинець	10	11.38	36.78	11.38	27.51	11.38	33.25	11.38	31.35

Продовження табл. 1.14

Варіант	Контроль	27				28			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.65	1.76	0.79	2.72	0.65	1.2	0.79	2.45
pH		9.41	8.26	9.73	8.05	9.41	10	9.73	10.74
Pe		5.66	4.45	6.32	1.35	5.66	6.58	6.32	2.52
П/ф		1.29	0.393	1.211	0.201	1.29	0.565	1.211	0.196
Дг		12.39	9.81	13.01	3.01	12.39	7.12	13.01	13.58
К		18.61	28.23	19.47	17.51	18.61	19.67	19.47	38.52
Азот		4	3.2	3.1	4.2	4	5.7	3.1	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.5	1.4	1.9
Калій		11.49	12.9	9.19	28.56	11.49	17.88	9.19	18.82
Хром	34	34.48	42.7	34.48	32.34	34.48	25.83	34.48	50.79
Кобальт	10	10.34	16.26	10.34	10.17	10.34	32.84	10.34	17.76
Нікель	13	11.49	12.94	11.49	20.86	11.49	30.89	11.49	22.12
Мідь	13	22.99	45.07	22.99	38.15	22.99	31.34	22.99	18.71
Цинк	41	34.48	75.61	34.48	27.79	34.48	52.15	34.48	83.44
Кадмій	1	1.14	1.43	1.14	2.13	1.14	2.99	1.14	2.47
Свинець	10	11.49	37.15	11.49	27.79	11.49	33.58	11.49	31.66

Продовження табл. 1.14


Варіант	Контроль	29				30			
		1 район		2 район		3 район		4 район	
		Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично	Фон	фактично
Сорг.,%		0.66	1.8	0.81	2.77	0.66	1.22	0.81	2.5
pH		9.6	8.43	9.92	8.21	9.6	10.2	9.92	10.95
Pe		5.77	4.54	6.45	1.38	5.77	6.71	6.45	2.57
П/ф		1.316	0.401	1.235	0.205	1.316	0.576	1.235	0.2
Дг		12.64	10.01	13.27	3.07	12.64	7.26	13.27	13.85
К		18.98	28.79	19.86	17.86	18.98	20.06	19.86	39.29
Азот		4.1	3.3	3.2	4.3	4.1	5.8	3.2	1.9
Фосфор		1.8	2.3	1.4	1.6	1.8	4.6	1.4	1.9
Калій		11.6	13.03	9.28	28.85	11.6	18.06	9.28	19.01
Хром	34	34.82	43.13	34.82	32.66	34.82	26.09	34.82	51.3
Кобальт	10	10.44	16.42	10.44	10.27	10.44	33.17	10.44	17.94
Нікель	13	11.6	13.07	11.6	21.07	11.6	31.2	11.6	22.34
Мідь	13	23.22	45.52	23.22	38.53	23.22	31.65	23.22	18.9
Цинк	41	34.82	76.37	34.82	28.07	34.82	52.67	34.82	84.27
Кадмій	1	1.15	1.44	1.15	2.15	1.15	3.02	1.15	2.49
Свинець	10	11.6	37.52	11.6	28.07	11.6	33.92	11.6	31.98

Питання для самоперевірки

1. Надати поняття «бонітет».
2. Які параметри треба врахувати для визначення рівня екологічної родючості ґрунтів?
3. Для чого потрібні ґрунтам співвідношення поглинутих основ?
4. Що можливо оцінити показником «адаптивний потенціал ґрунтів»?
5. Як можна визначити показник здатності ґрунтів до самоочищення?
6. Що треба врахувати для розрахунку коефіцієнту реакції ґрунтів на техногенне навантаження?
7. Що дозволяє визначити показник «екологічна стійкість ґрунтів»?
8. Що треба врахувати для розрахунку показника стійкості ґрунтів до забруднення?
9. Як можна визначити рівень екологічної стійкості ґрунтів до техногенного навантаження?

Рекомендовані основні джерела

1. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних районах. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту



навколишнього середовища» / Т.І. Долгова, І.Г. Миронова. Д.:
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2019.
44 с. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/154939>

2. Долгова Т. І. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних
районах : монографія. Дніпропетровськ : НГУ, 2009. 270 с.



Навчально-методичне видання

**Наталія Миколаївна Максимова
Мацак Антон Олександрович
Таврель Марина Ігорівна**

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ЛІТО- ТА ГІДРОСФЕРИ:

**методичні рекомендації
до індивідуального завдання № 1**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції