

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології

С. С. Душкін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи студентів

«МОНІТОРИНГ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»

(Частина 1)

для студентів напряму підготовки
Е2 «Екологія»

Харків ХНАДУ 2026

УДК 504.064.2/.3

ББК

Методичні вказівки з дисципліни «Моніторинг, моделювання та прогнозування стану довкілля», частина 1 / укладач Душкін Станіслав Сергійович: Методичні вказівки. Харків: ХНАДУ, 2026. – 50 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно вимог освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю Е2 Екологія під навчальне аудиторне навантаження 16 години (8 практичних занять).

Зміст практичних занять відповідає робочій програмі навчальної дисципліни ОК 21 «Моніторинг, моделювання та прогнозування стану довкілля» 2026 р.

Мова навчання – державна

Душкін С.С., 2026

ХНАДУ, 2026

ЗМІСТ

ПЗ. 1. Теоретичні та практичні аспекти реалізації глобальної системи моніторингу навколишнього середовища.....	4
ПЗ. 2. Практичні аспекти роботи з даними ДСМД України. Аналіз звітів та інформаційних бюлетенів.....	7
ПЗ. 3. Екологічне районування навколишнього середовища. Методологія та застосування.....	12
ПЗ. 4. Розрахунок кількості викидів у атмосферу при спалюванні різного палива від стаціонарних джерел.....	19
ПЗ. 5. Ознайомлення з моніторингом поверхневих водних об'єктів на глобальному та державному рівнях.....	28
ПЗ. 6. Визначення рівня забруднення ґрунту.....	34
ПЗ. 7. Застосування методів біоіндикації в моніторингу довкілля. Розрахунок показників біорізноманіття.....	42
ПЗ. 8. Захист індивідуальної самостійної роботи, перевірка знань та підсумковий контроль.....	50

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: теоретичні та практичні аспекти реалізації глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГМОС)

Мета: оцінити глобальну систему моніторингу навколишнього середовища як інструмент підвищення якості природного середовища на глобальному рівні

Порядок виконання

1. Ознайомитися з теоретичними матеріалами
2. Виявити та обґрунтувати позитивні та негативні аспекти реалізації ГМОС
3. Проаналізувати особливості реалізації ГМОС у різних країнах Світу
4. Зробити висновок щодо ефективності застосування ГМОС для підвищення якості природного середовища на глобальному рівні

Теоретичні відомості

Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (ГМОС) [Global Environmental Monitoring System (GEMS)] – це міжнародна ініціатива, спрямована на збір, обробку, аналіз і поширення даних про стан навколишнього середовища. Її мета – надання науково обґрунтованої інформації для прийняття рішень щодо захисту природи. Ця система включає моніторинг клімату, біорізноманіття, забруднення, лісів, водних ресурсів, а також інших компонентів навколишнього середовища.

Структура GEMS наведена на рисунку 1.

Виконання роботи

Згідно з рисунком 1. знайомтесь зі складом бази даних, складіть таблицю з позитивними та негативними аспектами реалізації (на вашу думку).

Проаналізуйте особливості реалізації ГМОС (зверніть увагу на Україну [Безпосередньої взаємодії з GEMS немає, взаємодіє з ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme)]. Знайдіть підтвердження існування ГМОС на території України через Національну систему моніторингу, громадський моніторинг, міжнародні проекти, та інтернет портали і мобільні додатки які використовуються для цих цілей.

Надання звітнього матеріалу

Звіт виконується в рукописному або електронному вигляді і обов'язково завантажується у відповідну теку курсресурса в форматі *.pdf (Prizvyshche_Pz_1.pdf). В звіті обов'язково надавати посилання згідно ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. За результатами роботи надати звіт та зробити висновки.

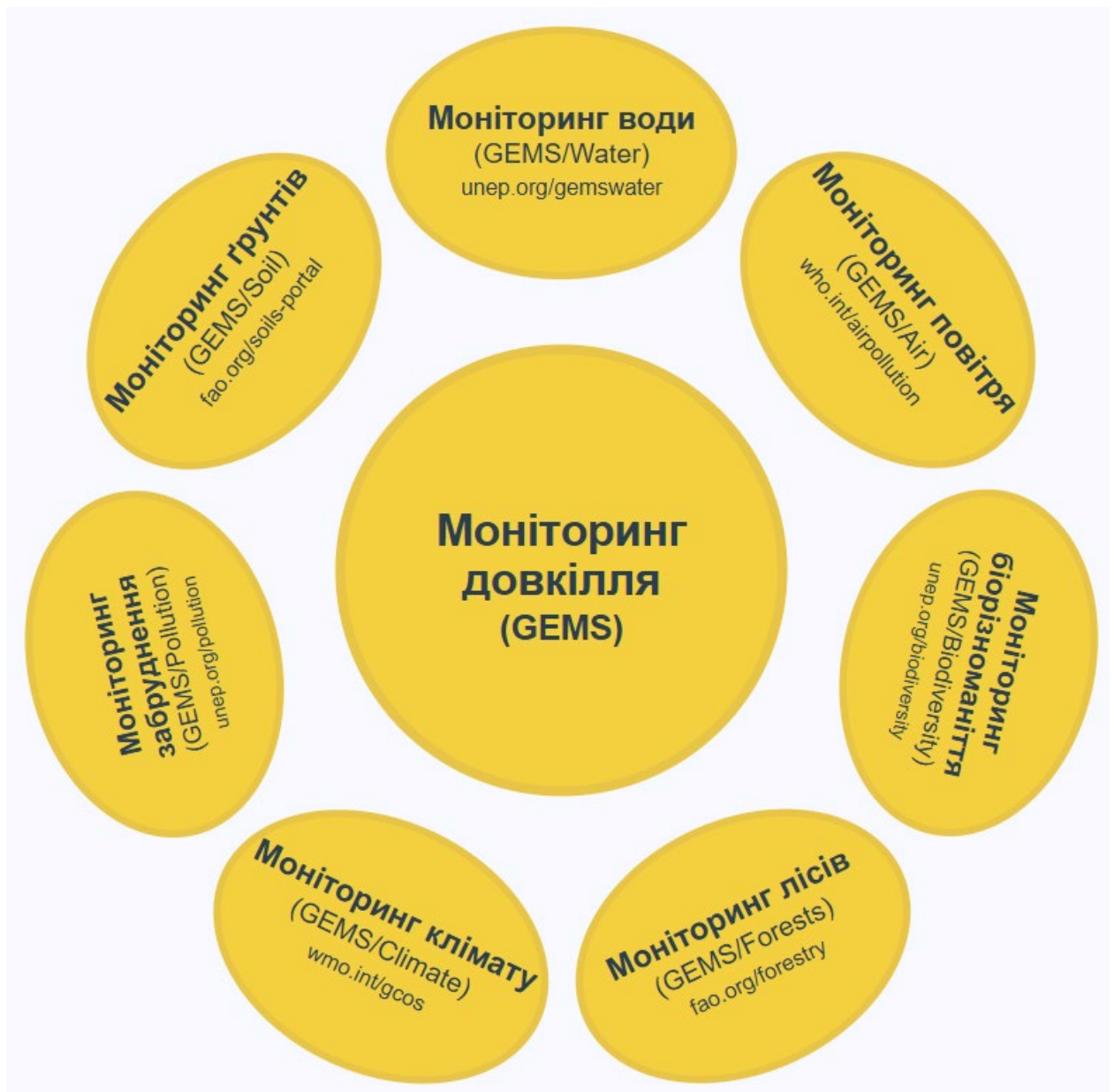


Рис. 1. Структура моніторингу довкілля GEMS

Контрольні питання

Варіант 1. Якою є функціональна структура підсистеми GEMS/Water, які пріоритетні показники якості вод контролюються на глобальному рівні та яка роль Центру адаптації даних ЮНЕП у цьому процесі?

Варіант 2. Як організовано глобальний моніторинг атмосферного повітря в межах мережі GEMS/Air та за якими принципами взаємодіють Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) і ЮНЕП під час інтеграції даних?

Варіант 3. Які інструменти використовує підсистема GEMS/Soil для глобального моніторингу земельних ресурсів і ґрунтового покриву та як організовано її взаємодію з глобальним ґрунтовим порталом FAO?

Варіант 4. Чому програма EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) є основним каналом моніторингової взаємодії в європейському регіоні та як у її межах оцінюється транскордонне перенесення забруднюючих речовин?

Варіант 5. Як функціонує міжнародна мережа спостережень за змінами клімату GEMS/Climate та у який спосіб побудовано структуру збору кліматичних даних у взаємодії з Всесвітньою метеорологічною організацією?

Варіант 6. Якою є методологія відстеження деградації лісів та знеліснення за допомогою супутникових технологій у межах підсистеми моніторингу лісових екосистем GEMS/Forests під егідою FAO?

Варіант 7. За допомогою яких ключових індикаторів ЮНЕП у структурі GEMS/Biodiversity здійснюється оцінка динаміки біорізноманіття та антропогенного тиску на світові екосистеми?

Варіант 8. Яку методологію використовує підсистема GEMS/Pollution для відстеження глобального поширення та міграції стійких органічних забруднювачів і важких металів у біосфері?

Варіант 9. Як громадський (волонтерський) моніторинг та концепція «громадянської науки» (citizen science) допомагають у фіксації глобальних екологічних трендів і як вирішується проблема валідації таких даних?

Варіант 10. У який спосіб міжнародні веб-портали та онлайн-карти (наприклад, платформи IQAir або супутникові сервіси системи Copernicus) можуть бути використані для оцінки якості атмосферного повітря безпосередньо в географічних межах України?

Варіант 11. Як екологічні мобільні додатки та чат-боти (наприклад, SaveEcoBot, EcoHrim тощо) виступають засобом інтеграції локальних екологічних даних у загальнодоступні міжнародні бази та платформи?

Варіант 12. У чому полягає проблема гармонізації та уніфікації екологічних стандартів між різними країнами світу в межах єдиної бази даних GEMS і які технічні бар'єри при цьому виникають?

Варіант 13. Які основні фінансові, політичні та методологічні переваги й недоліки (позитивні та негативні аспекти) супроводжують реалізацію глобальних систем моніторингу типу GEMS у країнах, що розвиваються?

Варіант 14. Як дані системи GEMS використовуються як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень на рівні ООН та під час підготовки глобальних екологічних угод?

Варіант 15. Яким є співвідношення між глобальною системою моніторингу GEMS та європейською програмою дистанційного зондування Землі Copernicus/EEA, і які існують перспективи їхньої повної синхронізації?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: теоретичні та практичні аспекти реалізації державної системи моніторингу довкілля (ДСМД) України.

Мета: оцінити ефективність державної системи моніторингу довкілля (ДСМД) України як інструменту управління та покращення стану навколишнього середовища на національному та регіональному рівнях.

Порядок виконання

1. Використовуючи офіційні дані ДСМД (наприклад, з сайту Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України або регіональних центрів моніторингу), оберіть велике промислове місто (наприклад, Кривий Ріг або Запоріжжя).

2. Знайдіть дані про концентрацію основних забруднюючих речовин (PM₁₀, NO₂, SO₂, формальдегід) за певний період (наприклад, за останній місяць або квартал).

3. Порівняйте отримані показники з гранично допустимими концентраціями (ГДК).

4. Зробіть висновки про основні джерела забруднення та рівень ризику для здоров'я населення.

Теоретичні відомості

Державна система моніторингу довкілля (ДСМД) України – це комплексна багаторівнева система спостережень, збору, обробки, аналізу та поширення інформації про стан навколишнього природного середовища, джерела забруднення, вплив на довкілля та наслідки змін.

Метою ДСМД є забезпечення органів державної влади, місцевого самоврядування, підприємств, установ, організацій та населення достовірною інформацією, необхідною для прийняття управлінських рішень у сфері охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Система охоплює моніторинг атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, ландшафтів, лісів, рослинного і тваринного світу.

ДСМД – це багаторівнева система, що включає три рівні моніторингу, які координуються та реалізуються різними державними органами:

1. Національний рівень: забезпечує загальнодержавний моніторинг. Координується Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. На цьому рівні аналізуються загальні тенденції та оцінюється стан довкілля у масштабах країни.

2. Регіональний рівень: моніторинг здійснюється на рівні областей. Забезпечується місцевими підрозділами міністерств та інспекцій, що дозволяє оцінювати екологічну ситуацію в окремих регіонах.

3. Локальний рівень: проводиться на певних територіях (міста, промислові зони, об'єкти), що дозволяє виявляти локальні джерела

забруднення та контролювати їх вплив.

Для ефективного функціонування ДСМД у межах усіх рівнів виділяють окремі компоненти довкілля, за якими ведеться систематичний моніторинг. Нижче наведено узагальнену характеристику основних напрямів спостережень та офіційних джерел даних (Табл. 1).

Таблиця 1 – Основні компоненти державної системи моніторингу довкілля та джерела даних

Назва компонента	Короткий опис	Посилання на джерело
Моніторинг атмосферного повітря	Спостереження за концентрацією забруднюючих речовин (дрібнодисперсний пил, оксиди азоту, сірчистий газ тощо) у містах та промислових зонах.	Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – https://mepr.gov.ua
Моніторинг водних ресурсів	Оцінка якості поверхневих та підземних вод. Включає аналіз фізико-хімічних і біологічних показників, що дозволяє виявляти забруднення річок, озер та водосховищ.	Державне агентство водних ресурсів України – https://www.davr.gov.ua
Моніторинг радіаційного фону	Спостереження за рівнем радіації у навколишньому середовищі, що є важливим для забезпечення радіаційної безпеки населення.	Український гідрометеорологічний центр (УкрГМЦ) – https://meteo.gov.ua
Моніторинг ґрунтів	Спостереження за родючістю, хімічним складом та рівнем забруднення ґрунтів важкими металами, пестицидами тощо.	1. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) – https://land.gov.ua 2. Міністерство аграрної політики та продовольства України – https://minagro.gov.ua
Моніторинг лісового фонду	Спостереження за станом, площею та динамікою лісових ресурсів. Включає виявлення незаконних вирубок та оцінку шкоди від пожеж.	Державне агентство лісових ресурсів України – https://forest.gov.ua
Моніторинг біорізноманіття	Спостереження за станом рослинного та тваринного світу, включаючи облік рідкісних та зникаючих видів.	1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – https://mepr.gov.ua 2. Національна академія наук України (НАНУ) – https://www.nas.gov.ua
Моніторинг відходів	Оцінка утворення, накопичення та утилізації твердих побутових,	Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – https://mepr.gov.ua

	промислових та небезпечних відходів.	
Моніторинг шумового та електромагнітного забруднення	Спостереження за рівнем шуму й електромагнітного випромінювання у міських і промислових зонах.	Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – https://mepr.gov.ua

Виконання роботи

1. Проаналізуйте структуру, компоненти та принципи реалізації ДСМД України. На основі вашої думки та попередніх теоретичних відомостей, складіть таблицю, де виділіть як позитивні, так і негативні аспекти її функціонування.

2. Проаналізуйте процес реалізації державної системи моніторингу, звернувши увагу на такі аспекти:

1) Міжнародна взаємодія: дослідіть, як ДСМД України взаємодіє з міжнародними організаціями та проектами (наприклад, співпраця в рамках ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) щодо якості повітря). Знайдіть приклади, як українські дані використовуються в європейських екологічних звітах.

2) Громадський моніторинг: знайдіть приклади того, як громадські організації та ініціативи проводять власний моніторинг довкілля, використовуючи сучасні технології. З'ясуйте, чи інтегруються їхні дані з офіційною системою ДСМД.

3) Інтернет-портали та мобільні додатки: знайдіть та назвіть конкретні інтернет-ресурси або мобільні додатки (наприклад, Save Dnipro, LUN Misto Air, Eco City), які використовують дані ДСМД або власні мережі датчиків для відображення екологічної ситуації в режимі реального часу.

4) Національні інструменти: Оцініть, як офіційні державні портали (наприклад, сайт Міністерства захисту довкілля) надають інформацію про стан довкілля. Знайдіть приклади звітів, карт або баз даних, що підтверджують існування ДСМД.

3. В Україні безпосередньої взаємодії з GEMS немає; взаємодія відбувається з ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) у рамках Конвенції про транскордонне перенесення забруднювачів повітря на великі відстані. Зробіть порівняльну міні-таблицю «GEMS vs ЕМЕР (для України)»: мета, що вимірюється, хто координує, як дані використовуються.

За результатами роботи надати звіт та зробити висновки.

Надання звітнього матеріалу

Звіт виконується в рукописному або електронному вигляді і обов'язково завантажується у відповідну теку курсресурса в форматі *.pdf (Prizvyshche_Pz_2.pdf).

В звіті обов'язково надавати посилання згідно ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.

Контрольні питання

Варіант 1. На основі аналізу нормативно-правової бази та офіційного сайту Міндовкілля, які ключові функції виконує ДСМД України на національному рівні та які суб'єкти державного моніторингу забезпечують збір і узагальнення цієї інформації?

Варіант 2. У чому полягає специфіка реалізації моніторингових заходів ДСМД на регіональному та локальному рівнях, і яким чином координується взаємодія між обласними підрозділами та конкретними промисловими об'єктами?

Варіант 3. Які пріоритетні показники (зокрема дрібнодисперсний пил PM10, NO₂, SO₂, формальдегід) та за якими алгоритмами контролюються в межах компонента «Моніторинг атмосферного повітря» ДСМД у великих промислових центрах України?

Варіант 4. За якими фізико-хімічними і біологічними критеріями Держводагентство України здійснює державний моніторинг водних ресурсів, та які офіційні інформаційні ресурси (бази даних) підтверджують функціонування цього компонента?

Варіант 5. Як організовано систему моніторингу радіаційного фону в Україні під егідою Українського гідрометеорологічного центру та яким чином забезпечується оперативне поширення цих даних серед населення?

Варіант 6. Які завдання покладено на компоненти моніторингу ґрунтів і лісового фонду ДСМД, та у який спосіб Держгеокадастр і Держлісагентство взаємодіють для оцінки антропогенного навантаження на земельні ресурси?

Варіант 7. Яку роль у структурі державного моніторингу відіграє контроль біорізноманіття та відходів, і які методологічні підходи застосовують Міндовкілля та НАН України для обліку рідкісних видів та місць накопичення небезпечних відходів?

Варіант 8. Яким чином здійснюється взаємодія ДСМД України з європейською програмою ЕМЕР у межах Конвенції про транскордонне перенесення забруднювачів повітря на великі відстані, та як українські дані інтегруються в європейські екологічні звіти?

Варіант 9. У чому полягають фундаментальні розбіжності між глобальною системою GEMS та європейською програмою ЕМЕР з точки зору їхньої мети, об'єктів вимірювання та специфіки використання отриманих даних для України?

Варіант 10. Як громадські моніторингові ініціативи та незалежні мережі датчиків (наприклад, SaveDnipro, LUN Misto Air, EcoCity) доповнюють державну систему ДСМД, і яка існує проблема (чи перспектива) інтеграції громадських даних з офіційними державними порталами?

Варіант 11. Які існують переваги та недоліки (позитивні й негативні аспекти) функціонування ДСМД України в контексті її технічного забезпечення, оперативності оновлення інформації в режимі реального часу та доступності для пересічного громадянина?

Варіант 12. На прикладі конкретного великого промислового міста України (наприклад, Кривий Ріг або Запоріжжя), як здійснюється порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин із гранично допустимими концентраціями (ГДК) для оцінки ризиків здоров'ю населення?

Варіант 13. Які офіційні державні інтернет-портали, екологічні карти або відкриті геоінформаційні системи (ГІС) Міндовкілля наочно підтверджують функціонування ДСМД та надають верифіковану інформацію про стан довкілля?

Варіант 14. Як у межах ДСМД реалізується моніторинг фізичних факторів забруднення (зокрема шумового та електромагнітного навантаження) у міських та промислових зонах, і які органи відповідають за фіксацію порушень?

Варіант 15. Яким чином дані, зібрані всіма багаторівневими компонентами ДСМД, трансформуються в інструмент підтримки прийняття управлінських рішень на національному рівні (наприклад, для розробки стратегій екологічної безпеки чи планів раціонального природокористування)?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: екологічне районування навколишнього середовища: методологія та застосування

Мета: освоїти методику інтегральної оцінки антропогенного навантаження та навчитися проводити екологічне районування територій за математичними та картографічними критеріями.

Порядок виконання

1. Ознайомитися з математичним апаратом оцінки антропогенного навантаження.
2. За даними свого варіанта (де вказано структуру земельного фонду умовного або реального регіону) розрахувати коефіцієнт природної захищеності та індекс екологічної напруженості територій.
3. Провести районування: класифікувати кожен район за ступенем гостроти екологічної ситуації за допомогою уніфікованої таблиці критеріїв.
4. Скласти аналітичну таблицю переваг та недоліків існуючих методик районування та зробити висновок.

Теоретичні відомості

Екологічне районування – це процес поділу території на географічно цілісні регіони (райони), які характеризуються відносною однорідністю екологічного стану, ступенем антропогенного навантаження та характером реакції природних систем на зовнішній вплив.

Базовим математичним підходом до інтегральної оцінки стану ландшафтів є аналіз структури землекористування. Розрахунок базується на співвідношенні площ елементів території з різною здатністю до підтримання екологічної рівноваги.

1. Оцінка природної захищеності території

Здатність ландшафту протистояти антропогенним навантаженням та підтримувати саморегуляцію визначається за допомогою коефіцієнта природної захищеності території ($K_{пз}$), який розраховується за формулою:

$$K_{пз} = \frac{\sum(S_i \cdot c_i)}{S_{заг}} \quad (1)$$

де: S_i – площа і-го типу екологічного та господарського угіддя, га;

c_i – коефіцієнт відносної екологічної значущості (екологічної ваги) і-го типу угіддя (визначається за таблицею 1);

$S_{заг}$ – загальна площа досліджуваної території (району), га.

Таблиця 1 – Коефіцієнти екологічної значущості різних типів угідь (c_i)

Тип екологічного / господарського угіддя	Значення коэф. c_i
Особливо охоронювані природні території (заповідники, заказники)	1.00
Природні ліси, багаторічні насадження	0.80
Штучні лісонасадження, лісосмуги	0.65
Природні луки, сіножаті, пасовища	0.50
Сади, виноградники, присадибні ділянки	0.40

Рілля (агроландшафти)	0.15
Урбанізовані території, промислові зони, транспортна інфраструктура	0.01

Класифікація території за рівнем природної захищеності здійснюється на основі розрахованого значення $K_{пз}$ згідно з критеріями (Табл. 2):

$K_{пз} > 0.60$	високий рівень захищеності
$0.41 \leq K_{пз} \leq 0.60$	середній рівень захищеності
$K_{пз} < 0.41$	низький (критичний) рівень захищеності

2. Розрахунок антропогенного навантаження

Для визначення інтенсивності впливу людини на біосферу регіону розраховується **коефіцієнт антропогенного навантаження ($K_{ан}$) за формулою:

$$K_{ан} = \frac{\sum(S_i \cdot b_i)}{S_{заг}} \quad (2)$$

де: b_i – бал антропогенного навантаження для i -го типу угіддя (Табл. 3),

Таблиця 3 – Бали антропогенного навантаження за видами землекористування (b_i)

Вид землекористування / угіддя	Бал b_i	Характеристика ступеня впливу
Заповідні території, природні резервати	1	Вельми низький (природний)
Ліси, чагарники, природні болота	2	Низький
Сіножаті, природні пасовища	3	Помірний
Сади, виноградники, штучні насадження	4	Середній
Рілля (інтенсивне рослинництво)	5	Високий
Кар'єри, шахти, зони видобутку копалин	6	Дуже високий (техногенний)
Житлова забудова, промзони, дороги, звалища	7	Максимальний (деструктивний)

3. Визначення індексу екологічної напруженості

Для безпосереднього проведення екологічного районування та виявлення дисбалансу між антропогенним тиском і природним потенціалом ландшафту розраховується індекс екологічної напруженості ($I_{ен}$):

$$I_{ен} = \frac{K_{ан}}{K_{пз}} \quad (3)$$

де: $K_{ан}$ – коефіцієнт антропогенного навантаження, обчислений за ф-лою (2);

$K_{пз}$ – коефіцієнт природної захищеності, обчислений за формулою (1).

Отримане значення $I_{ен}$ є головним інтеграційним критерієм для віднесення досліджуваного району до певного таксономічного екологічного району. Класифікація зон наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 – Критерії екологічного районування за індексом $I_{ен}$

Діапазон значень $I_{ен}$	Категорія (клас) екологічного стану	Характеристика зони екологічного районування
< 3.0	I клас	<i>Зона екологічної рівноваги.</i> Антропогенний вплив не перевищує межі самовідновлення ландшафту.

3.0 - 5.5	II клас	<i>Зона задовільного стану.</i> Процеси деградації мають локальний характер і компенсуються природними елементами.
5.6 - 8.0	III клас	<i>Зона напруженого (кризового) стану.</i> Поручено природну структуру, спостерігається стійке зниження продуктивності екосистем.
8.1 - 12.0	IV клас	<i>Зона екологічного лиха.</i> Глибокі незворотні зміни ландшафтів, сильна деградація ґрунтів, води та повітря.
> 12.0\$	V клас	<i>Зона екологічної катастрофи.</i> Повна деструкція екосистем, втрата здатності до самовідновлення, екстремальний рівень небезпеки.

Виконання роботи

Завдання: Провести екологічне районування умовного адміністративного району за структурою його земельного фонду. Загальна площа району становить 120000 га. Структура угідь розподілена наступним чином:

ДАНО:

$$S_{\text{заг}} = 120000 \text{ га}$$

$$S_1 \text{ (природні ліси)} = 25000 \text{ га}$$

$$S_2 \text{ (природні луки)} = 15000 \text{ га}$$

$$S_3 \text{ (рілля)} = 65000 \text{ га}$$

$$S_4 \text{ (промзони/забудова)} = 15000 \text{ га}$$

Коефіцієнти екологічної значущості угідь (з Таблиці 1):

$$c_1 = 0.80; c_2 = 0.50; c_3 = 0.15; c_4 = 0.01$$

Бали антропогенного навантаження угідь (з Таблиці 3):

$$b_1 = 2; b_2 = 3; b_3 = 5; b_4 = 7$$

Знайти: $K_{\text{пз}}$, $K_{\text{ан}}$, $I_{\text{ен}}$, визначити клас і категорію екологічного стану району.

РОЗВ'ЯЗАННЯ:

1. Розрахунок коефіцієнта природної захищеності території ($K_{\text{пз}}$)

За формулою (1) знаходимо інтегральний показник природно-ресурсного потенціалу самовідновлення ландшафту:

$$K_{\text{пз}} = \frac{(25000 \cdot 0.80) + (15000 \cdot 0.50) + (65000 \cdot 0.15) + (15000 \cdot 0.01)}{120000} = 0.312$$

Висновок: оскільки $K_{\text{пз}} = 0.312 < 0.41$, досліджувана територія має низький (критичний) рівень природної захищеності.

2. Розрахунок коефіцієнта антропогенного навантаження ($K_{\text{ан}}$)

За формулою (3) визначаємо загальний бал техногенного та господарського тиску на середовище:

$$K_{\text{ан}} = \frac{(25000 \cdot 2) + (15000 \cdot 3) + (65000 \cdot 5) + (15000 \cdot 7)}{120000} = 4.375$$

3. Визначення індексу екологічної напруженості ($I_{ен}$)

За формулою (3) знаходимо відношення антропогенного тиску до коефіцієнта захищеності:

$$I_{ен} = \frac{4.375}{0.312} = 14.022$$

4. Екологічне районування території

Відповідно до Таблиці 3 отримане значення індексу екологічної напруженості ($I_{ен} = 14.022 > 12.0$) відповідає V класу екологічного стану. Така територія класифікується як «Зона екологічної катастрофи» внаслідок критично малої площі лісів і природних лук на тлі високої розораності та значної частки деструктивних промислових земель.

ВІДПОВІДЬ: $K_{пз} = 0.312$; $K_{ан} = 4.375$; $I_{ен} = 14.022$; територія відноситься до V класу.

Надання звітного матеріалу

Звіт виконується в рукописному або електронному вигляді і обов'язково завантажується у відповідну теку курсресурса в форматі *.pdf (Prizvyshche_Pz_3.pdf).

В звіті обов'язково надавати посилання згідно ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. За результатами роботи надати звіт та зробити висновки.

Контрольні питання

Варіант 1. Які базові принципи та критерії покладено в основу еколого-географічного районування територій і чим воно принципово відрізняється від адміністративно-територіального поділу?

Варіант 2. У який спосіб класифікуються території за ступенем гостроти екологічних ситуацій (від умовно чистих до зон екологічної катастрофи) та які інтегральні показники для цього використовуються?

Варіант 3. Якою є методологія розрахунку та практичне значення коефіцієнта природної захищеності території ($K_{пз}$) під час проведення екологічного районування?

Варіант 4. Як розраховується індекс екологічної напруженості ($I_{ен}$) геосистем і яким чином співвідношення між антропогенно зміненими та природними ландшафтами впливає на цей показник?

Варіант 5. У чому полягають особливості використання геоінформаційних систем (ГІС-технологій) та супутникових знімків для автоматизації процесів екологічного районування великих територій?

Варіант 6. Які критерії та лімітуючі показники застосовуються для виділення територій із статусом «Зона надзвичайної екологічної ситуації» в законодавстві України та міжнародній практиці?

Варіант 7. Як здійснюється екологічне районування за басейновим принципом (на прикладі річкових басейнів) і чому цей підхід є пріоритетним

для моніторингу водних ресурсів?

Варіант 8. Яким чином ландшафтно-екологічне районування допомагає в оптимізації структури землекористування та плануванні розвитку хімічно та промислово навантажених регіонів?

Варіант 9. У чому полягає специфіка екологічного районування урбанізованих територій (великих міст) та за якими критеріями всередині міста виділяються сектори з різним рівнем екологічного ризику?

Варіант 10. Як фактори транскордонного забруднення та міграції токсикантів враховуються під час проведення макрорайонування на міждержавному (глобальному) рівні?

Варіант 11. Які існують методологічні підходи до районування територій за рівнем деградації ґрунтового покриву (ерозія, засолення, забруднення важкими металами) та втрати родючості?

Варіант 12. За якими критеріями здійснюється медико-екологічне районування територій і як корелюють зони високого антропогенного навантаження з показниками здоров'я населення?

Варіант 13. Які існують обмеження, технічні складнощі та джерела похибок при використанні статистичних звітів для розрахунку індексів екологічного районування?

Варіант 14. Яким чином екологічне районування використовується як інструмент обґрунтування меж та оптимізації мережі об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) країни?

Варіант 15. Як результати екологічного районування інтегруються в процедуру Стратегічної екологічної оцінки (СЕО) планів та програм розвитку регіонів?

ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Варіант №1 Провести екологічне районування території загальною площею 150000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 5000 га;
- * Штучні лісонасадження та лісосмуги — 15000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 110000 га;
- * Житлова забудова та промислові зони — 20000 га.

Варіант №2 Провести екологічне районування території загальною площею 95000 га. Структура земельних угідь району:

- * Природні ліси — 40000 га;
- * Природні луки, сіножаті, пасовища — 25000 га;
- * Сади та виноградники — 10000 га;
- * Рілля (агрolandшафти) — 20000 га.

Варіант №3 Провести екологічне районування території загальною площею 210000 га. Структура земельних угідь району:

- * Штучні лісонасадження — 15000 га;

- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 145000 га;
- * Кар'єри та зони видобутку копалин — 25000 га;
- * Промзони, транспортна інфраструктура — 25000 га.

Варіант №4 Провести екологічне районування території загальною площею 130000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 25000 га;
- * Природні ліси та багаторічні насадження — 35000 га;
- * Природні луки та пасовища — 40000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 30000 га.

Варіант №5 Провести екологічне районування території загальною площею 180000 га. Структура земельних угідь району:

- * Природні ліси — 15000 га;
- * Природні луки та сіножаті — 20000 га;
- * Сади, виноградники, присадибні ділянки — 15000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 130000 га.

Варіант №6 Провести екологічне районування території загальною площею 80000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 2000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 48000 га;
- * Кар'єри та шахтні поля — 12000 га;
- * Житлова та промислова забудова — 18000 га.

Варіант №7 Провести екологічне районування території загальною площею 115000 га. Структура земельних угідь району:

- * Природні ліси — 30000 га;
- * Штучні лісонасадження — 10000 га;
- * Природні луки та пасовища — 25000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 50000 га.

Варіант №8 Провести екологічне районування території загальною площею 165000 га. Структура земельних угідь району:

- * Сади та присадибні ділянки — 20000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 95000 га;
- * Кар'єри та зони видобутку копалин — 15000 га;
- * Міська забудова, залізниця та автошляхи — 35000 га.

Варіант №9 Провести екологічне районування території загальною площею 140000 га. Структура земельних угідь району:

- * Природні ліси — 12000 га;
- * Природні луки та пасовища — 18000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 80000 га;

* Житлова забудова, промзони, міські звалища — 30000 га.

Варіант №10 Провести екологічне районування території загальною площею 250000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 45000 га;
- * Природні ліси — 75000 га;
- * Природні луки та сіножаті — 50000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 80000 га.

Варіант №11 Провести екологічне районування території загальною площею 105000 га. Структура земельних угідь району:

- * Штучні лісонасадження та лісосмуги — 5000 га;
- * Природні луки та пасовища — 10000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 85000 га;
- * Промислові зони та транспортні комунікації — 5000 га.

Варіант №12 Провести екологічне районування території загальною площею 190000 га. Структура земельних угідь району:

- * Природні ліси — 20000 га;
- * Сади, виноградники, присадибні ділянки — 30000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 110000 га;
- * Житлова забудова, промзони, дороги — 30000 га.

Варіант №13 Провести екологічне районування території загальною площею 75000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 15000 га;
- * Природні ліси — 25000 га;
- * Природні луки, сіножаті, пасовища — 20000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 15000 га.

Варіант №14 Провести екологічне районування території загальною площею 160000 га. Структура земельних угідь району:

- * Штучні лісонасадження — 10000 га;
- * Природні луки та пасовища — 15000 га;
- * Рілля (інтенсивне рослинництво) — 110000 га;
- * Кар'єри, промзони, житлова забудова — 25000 га.

Варіант №15 Провести екологічне районування території загальною площею 220000 га. Структура земельних угідь району:

- * Особливо охоронювані природні території — 10000 га;
- * Природні ліси та багаторічні насадження — 50000 га;
- * Рілля (агроландшафти) — 130000 га;
- * Житлова забудова та промислові території — 30000 га.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Тема: розрахунок кількості викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря при спалюванні різних видів палива від стаціонарних джерел.

Мета: ознайомитися з методикою визначення маси викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря, навчитися розраховувати валові (річні) обсяги та потужність (секундну витрату) викидів для різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) з урахуванням технічних характеристик паливно-використовуючого обладнання.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом, основними формулами розрахунку та коефіцієнтами екологічної значущості палива.
2. Записати вихідні дані відповідно до отриманого індивідуального варіанта.
3. Розрахувати питомі викиди забруднювальних речовин (діоксиду сірки, оксидів азоту, оксиду вуглецю, твердих частинок) для заданого виду палива.
4. Розрахувати валові обсяги викидів кожної речовини за розрахунковий період роботи обладнання.
5. Розрахувати потужність викиду (секундну витрату) для кожної речовини.
6. Оформити результати розрахунків у вигляді підсумкової аналітичної таблиці та зробити комплексний екологічний висновок.

Теоретичні відомості

Розрахунок маси викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел (котельних установок, промислових спалювальних пристроїв) є основою для розробки нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ), отримання дозволів на викиди та нарахування екологічного податку. Цей розрахунок базується на паливному балансі та використанні питомих показників викидів, які віднесені до одиниці маси (для твердого та рідкого палива) або об'єму (для газоподібного палива) спаленого матеріалу.

1. Розрахунок валових обсягів викидів

Валовий (загальний) обсяг викиду i -ї забруднювальної речовини за визначений період роботи котельного обладнання розраховується за формулою:

$$E_i = 10^{-3} \cdot B \cdot q_i \quad (1)$$

де: E_i – валовий викид i -ї забруднювальної речовини, т;

B – загальна витрата палива за розрахунковий період (для твердого та рідкого палива – т, для газоподібного палива – тис. м³;

q_i – питомий викид i -ї забруднювальної речовини на одиницю спаленого палива (для твердого та рідкого – кг/т, для газоподібного – кг/тис. м³).

Базові питомі показники викидів для основних видів палива, що використовуються в промисловості та енергетиці України, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Питомі показники викидів забруднювальних речовин (q_i)

Вид палива	Діоксид сірки (SO ₂), кг/т (кг/тис. м ³)	Оксиди азоту (NO _x у перерахунку на NO ₂), кг/т (кг/тис. м ³)	Оксид вуглецю (CO), кг/т (кг/тис. м ³)	Тверді частинки (зола/сажа), кг/т (кг/тис. м ³)
Природний газ	0.005	2.50	0.80	0.003
Мазут низькосірчистий	Розраховується за формулою (4)	4.50	1.50	1.20
Кам'яне вугілля	Розраховується за формулою (4)	3.50	6.00	Розраховується за формулою (5)

2. Розрахунок потужності викиду (максимального секундного викиду)

Для проведення розрахунків розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері та визначення відповідності санітарно-гігієнічним нормам, валові обсяги переводять у потужність викиду в одиницю часу за формулою:

$$M_i = \frac{E_i \cdot 10^6}{T \cdot 3600} \quad (2)$$

де: M_i – потужність викиду i -ї забруднювальної речовини, г/с;

E_i – валовий обсяг викиду i -ї речовини, обчислений за ф-лою (1), т;

T – тривалість роботи паливно-використовуючого обладнання за розрахунковий період, год.

У випадках, коли відома максимальна годинна або секундна витрата палива підприємством, формула набуває вигляду:

$$M_i = \frac{B_{\text{сек}} \cdot q_i}{1000} \quad (3)$$

де $B_{\text{сек}}$ – секундна витрата палива (для твердого/рідкого – кг/с, для газу – м³/с).

3. Особливості розрахунку для сірковмісного та зольного палива

При спалюванні твердого палива (вугілля) та рідкого палива (мазут), хімічний склад робочої маси суттєво впливає на обсяги утворення діоксиду сірки та твердих частинок (попелу).

Діоксид сірки (SO₂): питомий викид розраховується з урахуванням масової частки сірки в паливі та здатності газоочисних установок уловлювати сірчистий ангідрид за формулою:

$$q_{SO_2} = 20 \cdot S^r \cdot (1 - \eta_{SO_2}) \quad (4)$$

де: S^r – вміст сірки на робочу масу палива, %;

η_{SO_2} – коеф. очищення димових газів від діоксиду сірки (у частках одиниці; за відсутності сіркоочистки приймається рівним 0).

Тверді частинки (неорганічний пил/зола): при спалюванні вугілля утворюється значна кількість твердих частинок. Їх питомий викид розраховується за формулою:

$$q_{\text{зола}} = 10 \cdot A^r \cdot a_{\text{БИН}} \cdot (1 - \eta_{\text{оч}}) \quad (5)$$

де: A^r – зольність палива на робочу масу, %;

$a_{\text{вин}}$ – коефіцієнт винесення попелу з топки котла (залежить від типу топки: для шарового спалювання палива $a_{\text{вин}} = 0.25$; для камерного спалювання у пиловугільних котлах $a_{\text{вин}} = 0.85$);

$\eta_{\text{оч}}$ – коефіцієнт очищення димових газів від твердих частинок в золоуловлювачах (циклонах, тканинних фільтрах або електрофільтрах) у частках одиниці. За відсутності очисного обладнання $\eta_{\text{оч}} = 0$.

Виконання роботи

Завдання: На балансі промислового підприємства в Закарпатській області знаходиться виробнича котельня з пиловугільним котлом (камерне спалювання палива). За розрахунковий період (опалювальний сезон) котельня відпрацювала 4200 год і спалила 2800 т кам'яного вугілля. Робочі характеристики палива: вміст сірки на робочу масу палива $S^r = 1.8\%$, зольність палива на робочу масу $A^r = 14.0\%$. Котельня обладнана золоуловлювачем (циклоном) із коефіцієнтом очищення димових газів від твердих частинок $\eta_{\text{оч}} = 0.82$. Система сіркоочистки на підприємстві відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$). Необхідно розрахувати питомі показники викидів, валові обсяги викидів та потужність викиду для діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та твердих частинок (золи), заповнити підсумкову таблицю та зробити екологічний висновок.

ДАНО:

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (камерне спалювання);
- * Тривалість роботи обладнання за період: $T = 4200$ год;
- * Загальна витрата палива за період: $V = 2800$ т;
- * Вміст сірки на робочу масу палива: $S^r = 1.8\%$;
- * Зольність палива на робочу масу: $A^r = 14.0\%$;
- * Коефіцієнт винесення попелу для камерного спалювання: $a_{\text{вин}} = 0.85$;
- * Коефіцієнт очищення газів від твердих частинок: $\eta_{\text{оч}} = 0.82$;
- * Коефіцієнт очищення газів від діоксиду сірки: $\eta_{\text{SO}_2} = 0$.
- * Базові питомі показники викидів для вугілля (з Таблиці 1):

$q_{\text{NO}_x} = 3.50$ кг/т;

$q_{\text{CO}} = 6.00$ кг/т.

Знайти: q_{SO_2} , $q_{\text{зола}}$, E_{SO_2} , E_{NO_x} , E_{CO} , $E_{\text{зола}}$, M_{SO_2} , M_{NO_x} , M_{CO} , $M_{\text{зола}}$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ:

1. Розрахунок питомих показників викидів (q_i)

Для оксидів азоту та оксиду вуглецю питомі викиди є константами для даного виду палива (згідно з Таблицею 1):

Для діоксиду сірки (SO_2) питомий викид розраховуємо за формулою (4), враховуючи вміст сірки S^r та відсутність сіркоочистки:

$$q_{\text{SO}_2} = 20 \cdot 1.8 \cdot (1 - 0) = 36 \cdot 1 = 36.00 \text{ кг/т}$$

Для твердих частинок (золи) питомий викид розраховуємо за формулою (5), враховуючи робочу зольність палива A^r , камерний тип топки ($a_{\text{вин}} = 0.85$) та роботу циклону ($\eta_{\text{оч}} = 0.82$):

$$q_{\text{зола}} = 10 \cdot 14.0 \cdot 0.85 \cdot (1 - 0.82) = 21.42 \text{ кг/т}$$

2. Розрахунок валових обсягів викидів за період (E_i)

Загальну масу викиду кожної речовини в тоннах знаходимо за уніфікованою формулою (1):

Валовий викид діоксиду сірки (SO_2):

$$E_{\text{SO}_2} = 10^{-3} \cdot 2800 \text{ т} \cdot 36.00 \text{ кг/т} = 100.800 \text{ т}$$

Валовий викид оксидів азоту (NO_x):

$$E_{\text{NO}_x} = 10^{-3} \cdot 2800 \text{ т} \cdot 3.50 \text{ кг/т} = 9.800 \text{ т}$$

Валовий викид оксиду вуглецю (CO):

$$E_{\text{CO}} = 10^{-3} \cdot 2800 \text{ т} \cdot 6.00 \text{ кг/т} = 16.800 \text{ т}$$

Валовий викид твердих частинок (золи):

$$E_{\text{зола}} = 10^{-3} \cdot 2800 \text{ т} \cdot 21.42 \text{ кг/т} = 59.976 \text{ т}$$

3. Розрахунок потужності викиду речовин (M_i)

Максимальний секундний викид забруднювальних речовин у грамах за секунду знаходимо за формулою (2):

Потужність викиду діоксиду сірки (SO_2):

$$M_{\text{SO}_2} = \frac{100.800 \text{ т} \cdot 10^6}{4200 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с/год}} = 6.667 \text{ г/с}$$

Потужність викиду оксидів азоту (NO_x)

$$M_{\text{NO}_x} = \frac{9.800 \text{ т} \cdot 10^6}{4200 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с/год}} = 0.648 \text{ г/с}$$

Потужність викиду оксиду вуглецю (CO):

$$M_{\text{CO}} = \frac{16.800 \text{ т} \cdot 10^6}{4200 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с/год}} = 1.111 \text{ г/с}$$

Потужність викиду твердих частинок (золи):

$$M_{\text{зола}} = \frac{59.976 \text{ т} \cdot 10^6}{4200 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с/год}} = 3.967 \text{ г/с}$$

4. Заповнення підсумкової таблиці результатів

Отримані значення систематизуємо в підсумкову аналітичну таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку екологічних параметрів викидів котельні

Найменування забруднювальної речовини	Питомий викид (q_i), кг/т	Валовий викид за період (E_i), т	Потужність викиду (M_i), г/с
Діоксид сірки (SO_2)	36.00	100.800	6.667
Оксиди азоту (NO_x)	3.50	9.800	0.648
Оксид вуглецю (CO)	6.00	16.800	1.111
Тверді частинки (зола вугільна)	21.42	59.976	3.967
УСЬОГО:	—	187.376\$	12.393

ВІДПОВІДЬ:

Сумарний валовий викид забруднювальних речовин від стаціонарного джерела за опалювальний період склав 187.376 т, а загальна секундна потужність викиду – 12.393 г/с. Найбільший внесок у забруднення атмосферного повітря належить діоксиду сірки (100.800 т або 53.8%) через високий вміст сірки у вугіллі та відсутність десульфуризаційних установок, а також твердим частинкам (59.976 т), що свідчить про необхідність модернізації золоуловлювального обладнання (наприклад, заміни циклону на високоефективний тканинний фільтр).

ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ**Варіант №1**

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для промислової котельні в Івано-Франківській області.

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (шарове спалювання, $a_{\text{внн}} = 0.25$);
- * Загальна витрата палива за період (В): 3100 т;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 3800 год;
- * Характеристики палива: зольність $A^r = 12.5\%$, вміст сірки $S^r = 1.2\%$;
- * Ефективність очистки: циклон для твердих частин ($\eta_{\text{оч}} = 0.80$), сіркоочистка відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Які основні хімічні та фізичні чинники впливають на інтенсивність утворення оксидів азоту (NO_x) у процесі високотемпературного спалювання органічного палива?

Варіант №2

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для підприємства у Львівській області.

- * Вид палива: Мазут низькосірчистий;
- * Загальна витрата палива за період (В): 1400 т;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 2900 год;
- * Характеристики палива: вміст сірки $S^r = 0.5\%$;
- * Ефективність очистки: очисне обладнання відсутнє ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. У чому полягає екологічна небезпека викидів діоксиду сірки (SO_2) в атмосферне повітря та як цей компонент впливає на формування кислотних опадів?

Варіант №3

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для газової котельні в Київській області.

- * Вид палива: Природний газ;

- * Загальна витрата палива за період (В): 950 тис. м³;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 4500 год;
- * Ефективність очистки: очисне обладнання для газових котлів не передбачено за технологією ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Чому природний газ вважається найбільш екологічно чистим видом викопного палива та які специфічні речовини все одно утворюються при його спалюванні?

Варіант №4

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO₂, NO_x, CO, тверді частинки) для ТЕЦ у Дніпропетровській області.

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (камерне спалювання, $a_{\text{вин}} = 0.85$);
- * Загальна витрата палива за період (В): 12500 т;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 6200 год;
- * Характеристики палива: зольність $A^r = 18.0\%$, вміст сірки $S^r = 2.1\%$;
- * Ефективність очистки: електрофільтр ($\eta_{\text{оч}} = 0.98$), сіркоочистка відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Яким чином конструкція топкового пристрою (шарове чи камерне пиловугільне спалювання) впливає на обсяг винесення твердих частинок (попелу) з димовими газами?

Варіант №5

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO₂, NO_x, CO, тверді частинки) для районної котельні у Полтавській області.

- * Вид палива: Мазут низькосірчистий;
- * Загальна витрата палива за період (В): 2200 т;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 3500 год;
- * Характеристики палива: вміст сірки $S^r = 0.8\%$;
- * Ефективність очистки: встановлено скруббер для часткового вловлювання сірки ($\eta_{\text{SO}_2} = 0.40$), золоуловлювач відсутній ($\eta_{\text{оч}} = 0$).

2. Які існують сучасні технологічні методи та обладнання (скрубери, абсорбери) для очищення димових газів від сполук сірки на промислових об'єктах?

Варіант №6

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO₂, NO_x, CO, тверді частинки) для підприємства в Одеській області.

- * Вид палива: Природний газ;
- * Загальна витрата палива за період (В): 1800 тис. м³;
- * Тривалість роботи обладнання (Т): 5100 год;
- * Ефективність очистки: технологічне очищення відсутнє ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Що таке «неповне згоряння палива», за яких умов у димових газах різко зростає концентрація оксиду вуглецю (CO) та як з цим боротися?

Варіант №7

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO, тверді частинки) для котельні заводу в Харківській області.

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (шарове спалювання, $a_{\text{вин}} = 0.25$);
- * Загальна витрата палива за період (B): 4500 т;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 4100 год;
- * Характеристики палива: зольність $A^r = 15.0\%$, вміст сірки $S^r = 1.5\%$;
- * Ефективність очистки: батарейний циклон ($\eta_{\text{оч}} = 0.85$), сіркоочистка відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Порівняйте ефективність роботи різних типів золоуловлювального обладнання (жалюзійні апарати, циклони, тканинні фільтри, електрофільтри).

Варіант №8

1 Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO, тверді частинки) для цукрового заводу у Вінницькій області.

- * Вид палива: Мазут низькосірчистий;
- * Загальна витрата палива за період (B): 3400 т;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 2400 год;
- * Характеристики палива: вміст сірки $S^r = 0.9\%$;
- * Ефективність очистки: очисні споруди відсутні ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Яким чином дані про секундну потужність викиду ($M_{i,j}$) використовуються при розрахунках розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, ЕОМ «ЕОЛ»)?

Варіант №9

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO, тверді частинки) для об'єкта у Чернігівській області.

- * Вид палива: Природний газ;
- * Загальна витрата палива за період (B): 620 тис. м^3 ;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 3200 год;
- * Ефективність очистки: фільтри відсутні ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Які нормативно-правові акти та методичні вказівки регулюють порядок розрахунку викидів від стаціонарних джерел спалювання палива в Україні?

Варіант №10

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для котельні шахти в Донецькій області.

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (камерне спалювання, $a_{\text{вин}} = 0.85$);
- * Загальна витрата палива за період (B): 8200 т;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 5500 год;
- * Характеристики палива: зольність $A^r = 22.0\%$, вміст сірки $S^r = 2.8\%$;
- * Ефективність очистки: мокрий золоуловлювач ($\eta_{\text{оч}} = 0.92$), сіркоочистка відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Як зольність палива (A^r) впливає на теплотворну здатність матеріалу та обсяги утворення твердих відходів (шлаку та попелу) на підприємстві?

Варіант №11

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для підприємства в Черкаській області.

- * Вид палива: Мазут низькосірчистий;
- * Загальна витрата палива за період (B): 1900 т;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 3100 год;
- * Характеристики палива: вміст сірки $S^r = 0.6\%$;
- * Ефективність очистки: очисне обладнання відсутнє ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. У чому полягає відмінність між поняттями «валовий викид» та «потужність викиду» з точки зору державного екологічного контролю?

Варіант №12

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для деревообробного комплексу в Житомирській області.

- * Вид палива: Природний газ;
- * Загальна витрата палива за період (B): 1150 тис. м^3 ;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 4200 год;
- * Ефективність очистки: відсутня ($\eta_{\text{оч}} = 0$, $\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Які заходи (технологічні, режимні) дозволяють знизити концентрацію чадного газу (CO) в димових газах без установки дорогих фільтрів?

Варіант №13

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для текстильної фабрики в Херсонській області.

- * Вид палива: Кам'яне вугілля (шарове спалювання, $a_{\text{вин}} = 0.25$);
- * Загальна витрата палива за період (B): 2500 т;
- * Тривалість роботи обладнання (T): 3300 год;
- * Характеристики палива: зольність $A^r = 11.0\%$, вміст сірки $S^r = 1.1\%$;

* Ефективність очистки: тканинний фільтр ($\eta_{\text{оч}} = 0.95$), сіркоочистка відсутня ($\eta_{\text{SO}_2} = 0$).

2. Охарактеризуйте поняття «коефіцієнт очищення газу» (η). Чому на практиці неможливо досягти стовідсоткового вловлювання забруднюючих речовин ($\eta = 1$)?

Варіант №14

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для асфальтобетонного заводу в Миколаївській області.

* Вид палива: Мазут низькосірчистий;

* Загальна витрата палива за період (В): 1100 т;

* Тривалість роботи обладнання (Т): 1800 год;

* Характеристики палива: вміст сірки $S^r = 0.7\%$;

* Ефективність очистки: встановлено експериментальну систему хімічного очищення газів від сірки ($\eta_{\text{SO}_2} = 0.50$), золоуловлювач відсутній.

2. Як розраховується сума екологічного податку за викиди стаціонарними джерелами та яку роль у цьому відіграють точні розрахунки маси валового викиду?

Варіант №15

1. Розрахувати питомі показники, валові обсяги та секундну потужність викидів (SO_2 , NO_x , CO , тверді частинки) для харчового комбінату в Сумській області.

* Вид палива: Природний газ;

* Загальна витрата палива за період (В): 2400 тис. m^3 ;

* Тривалість роботи обладнання (Т): 5800 год;

* Ефективність очистки: очисні споруди не передбачені ($\eta = 0$).

2. Які існують сучасні європейські екологічні стандарти та вимоги (директиви ЄС) щодо обмеження викидів великими спалювальними установками, та як вони впроваджуються в Україні?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема: ознайомлення з моніторингом поверхневих водних об'єктів на глобальному та державному рівнях.

Мета: вивчити структуру та принципи організації моніторингу поверхневих вод під егідою ООН та в Україні, опанувати роботу з інтерактивними ГІС-порталами Держводагентства та засвоїти методiku оцінки хімічного і екологічного стану масивів поверхневих вод за національними та європейськими критеріями.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом, міжнародними та національними інтернет-ресурсами екологічного моніторингу вод.
2. Записати вихідні дані (гідрохімічні показники та концентрації забруднювальних речовин у створі спостереження) відповідно до отриманого індивідуального варіанта.
3. Застосувати розрахунковий алгоритм для обчислення кратності перевищення екологічних нормативів якості для кожного індивідуального показника.
4. Провести інтегральну оцінку та визначити фінальний хімічний стан масиву поверхневих вод за європейським принципом «найгіршого показника».
5. Встановити рівень надійності проведеного екологічного групування та класифікації створу.
6. Оформити результати у вигляді підсумкової аналітичної таблиці та зробити комплексний екологічний висновок.

Теоретичні відомості

1. Глобальний моніторинг водних ресурсів під егідою ООН

Міжнародний моніторинг гідросфери спрямований на інтегроване управління водними ресурсами та контроль досягнення Цілей сталого розвитку, зокрема ЦСР 6 («Чиста вода та належні санітарні умови»). Координацію цієї діяльності здійснює міжурядовий механізм UN-Water (<https://www.unwater.org/our-work/integrated-monitoring-initiative-sdg-6>).

Центральною цифровою платформою для збору та аналізу глобальних даних про якість води є глобальна база даних GEMStat (<https://gemstat.org/>), яка функціонує під егідою Програми ООН з довкілля (UNEP). Вона накопичує інформацію про фізико-хімічний стан прісних вод із понад 100 країн світу.

Паралельно для оперативного контролю стану великих внутрішніх водойм (озер та водосховищ) використовується спеціалізована супутникова та ГІС-платформа Глобального моніторингу озер CASCADE (<https://cascade.dhigroup.com/>), яка разом із Порталом про повені та посухи (<https://www.flooddroughtmonitor.com/home>) забезпечує моделювання та прогнозування гідрологічних ризиків на глобальному та регіональному рівнях.

2. Державний моніторинг вод в Україні

В Україні функціонування системи моніторингу повністю реформовано та гармонізовано із законодавством Європейського Союзу (Водною рамковою директивою 2000/60/ЄС). Правовою основою є Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF>).

Суб'єктами моніторингу є Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство), ДСНС та Міндовкілля. Офіційні результати вимірювань і просторове відображення екологічного стану річкових басейнів акумулюються на інтерактивному ГІС-порталі «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України» (<https://api.water.gov.ua/>).

3. Алгоритм оцінки хімічного стану масиву поверхневих вод

Оцінка хімічного стану здійснюється на основі порівняння фактичних концентрацій пріоритетних забруднювальних речовин із затвердженими національними Екологічними нормативами якості (ЕНЯ) або Гранично допустимими концентраціями (ГДК).

Етап 1. Розрахунок кратності перевищення нормативу для кожної речовини: кратність перевищення нормативу розраховується відносний показник за формулою:

$$K_{\text{пер},i} = \frac{C_{\text{факт},i}}{C_{\text{норм},i}} \quad (1)$$

де: $C_{\text{факт},i}$ – фактична (виміряна лабораторією) концентрація i -ї речовини у створі, мг/дм³;

$C_{\text{норм},i}$ – нормативне значення (ЕНЯ або ГДК) для i -ї речовини, мг/дм³.

Оскільки кисень є життєво необхідним для гідробіонтів, екологічним порушенням є його зниження. Тому для нього формула набуває зворотного вигляду: $K_{\text{пер},\text{O}_2} = C_{\text{норм},\text{O}_2} / C_{\text{факт},\text{O}_2}$.

Етап 2. Визначення хімічного стану за принципом «найгіршого показника» (one out, all out):

Відповідно до європейських вимог та національної Методики (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>), загальний хімічний стан масиву вод поділяється на два класи (Таблиця 1) і встановлюється за тією речовиною, яка продемонструвала найбільше перевищення ($K_{\text{пер}} \rightarrow \max$).

Таблиця 1 – Класифікація хімічного стану водного об'єкта

Критерій за кратністю перевищення	Клас хімічного стану	Екологічний статус масиву вод
Для ВСІХ речовин $K_{\text{пер},i} \leq 1.0$	Добре	Масив вод не забруднений, антропогенний тиск у межах норми.
Хоча б для ОДНІЄЇ речовини $K_{\text{пер},i} > 1.0$	Незадовільне	Масив вод забруднений, екологічні нормативи порушено.

Етап 3. Оцінка надійності визначення стану:

Надійність встановленого екологічного та хімічного статусу оцінюється за відповідністю обсягів збору даних нормативним вимогам і поділяється на три рівні (Таблиця 2).

Таблиця 2 – Критерії надійності визначення стану масиву вод

Рівень надійності	Технічні критерії та умови оцінки
Високий	Вимірювання проведені в повному обсязі, періодичність та методи аналізу повністю відповідають вимогам Порядку державного моніторингу.
Середній	Дані моніторингу наявні, проте періодичність проведення лабораторних вимірювань нижча за регламентовану Порядком.
Низький	Систематичні дані вимірювань відсутні; висновок щодо стану масиву базується на екологічних припущеннях чи оцінці ризиків.

Завдання:

1. Зробити стислий звіт про ознайомлення з глобальною системою моніторингу (студент ознайомлюється з моніторинговими порталами (GEMStat, CASCADE тощо), надає скріншот із цікавими для нього даними, наприклад р. Темза, оз. Венерн).

2. Знайти найближчий пост спостережень на річці (за місцем проживання), надати характеристику якості води в річці.

3. Ознайомитися з Методикою віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод (Рис. 1) і визначити екологічний стан масиву поверхневих вод відповідно до свого варіанта:

Варіант №1

Масив поверхневих вод річкового басейну середньої течії Дніпра характеризується тим, що значення біологічних показників (фітопланктон) повністю відповідають природним референційним умовам, а фізико-хімічні показники перебувають у стані «відмінний», проте гідроморфологічні показники суттєво порушені через зведення у русловій зоні великої греблі, яка повністю змінила природний гідрологічний режим, при цьому збір даних проведено в повному обсязі за чинним державним регламентом Держводагентства.

Варіант №2

У річковому басейні Сіверського Дінця зафіксовано, що біологічні показники (донні макроінвертебрати) відрізняються від референційних умов, і це відхилення офіційно оцінюється як незначне, тоді як фізико-хімічні параметри забезпечують функціонування екосистеми, але виявлено стійке підвищення концентрацій сульфатів, а лабораторні вимірювання проведені уповноваженою басейною лабораторією, проте через технічні причини періодичність контролю була вдвічі нижчою за вимоги Порядку здійснення державного моніторингу.

Варіант №3

Для нижньої течії річкового басейну Дністра встановлено чітке відхилення від референційних умов на основі аналізу біологічних показників іхтіофауни, яке екологічна експертиза класифікує як значне через масове зникнення чутливих видів риб, при цьому фізико-хімічні нормативи якості щодо сполук азотної групи також суттєво порушені, а повний цикл спостережень виконано суб'єктом моніторингу відповідно до затвердженої державної басейнової програми без жодних технічних відхилень.

Варіант №4

У верхній течії річкового басейну Південного Бугу зафіксовано екологічну ситуацію, за якої значення біологічних показників повністю відповідають незайманим референційним умовам, а фізико-хімічні та гідроморфологічні показники також є ідеальними, не мають ознак антропогенного впливу і повністю відповідають класу «відмінний», причому регулярні спостереження у цьому створі проводяться уповноваженим органом у повному обсязі з дотриманням усіх європейських стандартів періодичності.

Варіант №5

Масив поверхневих вод річкового басейну Західного Бугу перебуває у критичному стані, оскільки на основі біологічних індикаторів встановлено стійке відхилення від референційного стану, яке визначено як більше ніж значне через катастрофічне пригнічення біоти та літній замор риби, а фізико-хімічні показники фіксують гострий дефіцит розчиненого кисню, при цьому офіційні лабораторні дані державного моніторингу наразі відсутні, і оцінка екологічного стану базується лише на аналізі ризиків.

Варіант №6

У річковому басейні Прип'яті значення біологічних показників макрофітів повністю відповідають референційним умовам, проте фізико-хімічні показники не відповідають стану «відмінний» через виявлене перевищення норм якості за сполуками заліза та азоту амонійного, хоча загальне функціонування екосистеми забезпечене і гідроморфологія залишається без змін, а дані моніторингу наявні, але відбір проб проводився лабораторією хаотично, без дотримання регламентованих термінів.

Варіант №7

Для річкового басейну Десни встановлено, що значення біологічних показників не відрізняються від референційних умов, а всі контрольовані фізико-хімічні показники повністю відповідають стану «відмінний», проте гідроморфологічні показники мають незначні локальні порушення через будівництво берегоукріплювальних споруд в одному місці, внаслідок чого вони не відповідають класу «відмінний», при цьому програма спостережень виконана басейновим управлінням водних ресурсів на 100%.

Варіант №8

У створі спостереження річкового басейну Пруту значення біологічних показників відрізняються від природних референційних умов незначно, а фізико-хімічні параметри є стабільними, проте національні екологічні

нормативи якості для деяких специфічних речовин у цьому регіоні ще не затверджені Міндовкілля, а систематичні багаторічні дані лабораторних вимірювань відсутні, тому фінальний екологічний висновок робиться виключно на основі експертних припущень.

Варіант №9

У Кілійському гирлі річкового басейну Дунаю в результаті досліджень виявлено чітке біологічне відхилення від еталону, яке комплексна басейнова комісія оцінила як значне через хронічне токсичне забруднення вод промисловими скидами з вищих ділянок річки, при цьому спостереження проводяться регулярно уповноваженими міжнародними суб'єктами моніторингу в межах спільних програм з повним дотриманням усіх вимог і регламентів ЄС.

Варіант №10

Масив поверхневих вод річки Самара, що належить до басейну Дніпра, свідчить про глибоку деградацію водного масиву, оскільки відхилення від референційного стану за біологічними показниками визначено як більше ніж значне, а фізико-хімічні показники підтверджують екстремально високу мінералізацію через скид супутніх шахтних вод, при цьому лабораторія Держводагентства надала повний, детальний та систематичний звіт гідрохімічних вимірювань за весь поточний рік.

Варіант №11

У річковому басейні Інгульця біологічні показники стійко відрізняються від норми, але ступінь цього відхилення від референційних умов класифікується як незначний, причому фізико-хімічні показники забезпечують життєдіяльність більшості гідробіонтів, але нормативи за вмістом хлоридів перевищені, а самі лабораторні вимірювання проведені уповноваженою басейновою лабораторією, проте з явним порушенням графіку відбору проб та низькою періодичністю.

Варіант №12

Для гірської ділянки річкового басейну Тиси зафіксовано, що біологічні показники перебувають в ідеальному стані і повністю відповідають референційним умовам, а всі фізико-хімічні показники також є бездоганними, натомість гідроморфологічні показники через масштабне випрямлення русла та будівництво протиповневих дамб не відповідають стану «відмінний», при цьому збір даних проведено в повному обсязі сертифікованою лабораторією.

Варіант №13

У нижній течії річкового басейну Південного Бугу зафіксовано, що фізико-хімічні показники є незадовільними, оскільки вони не забезпечують стабільне функціонування екосистеми через регулярний літній дефіцит розчиненого кисню, а біологічні індикатори демонструють стійке відхилення від референційного стану, яке оцінюється експертами як незначне, причому збір інформації виконано у повній відповідності до державних регламентів моніторингу.

Варіант №14

На нижній ділянці масиву поверхневих вод Дніпра фізико-хімічні та біологічні показники через масштабні техногенні зміни екосистеми зазнали екстремальних руйнувань, внаслідок чого загальне відхилення від референційних природних умов визначено як більше ніж значне, а систематичні лабораторні спостереження на даній ділянці тимчасово призупинені, тому поточний висновок базується виключно на загальній оцінці екологічних ризиків.

Варіант №15

У річковому басейні Латориці значення біологічних показників відрізняються від референційних умов незначно, проте всі контрольовані фізико-хімічні показники повністю відповідають встановленим екологічним нормам якості, а гідроморфологічний стан річки є близьким до природного, при цьому регулярний державний моніторинг вод проведено суб'єктами спостереження в повному обсязі з дотриманням регламенту.

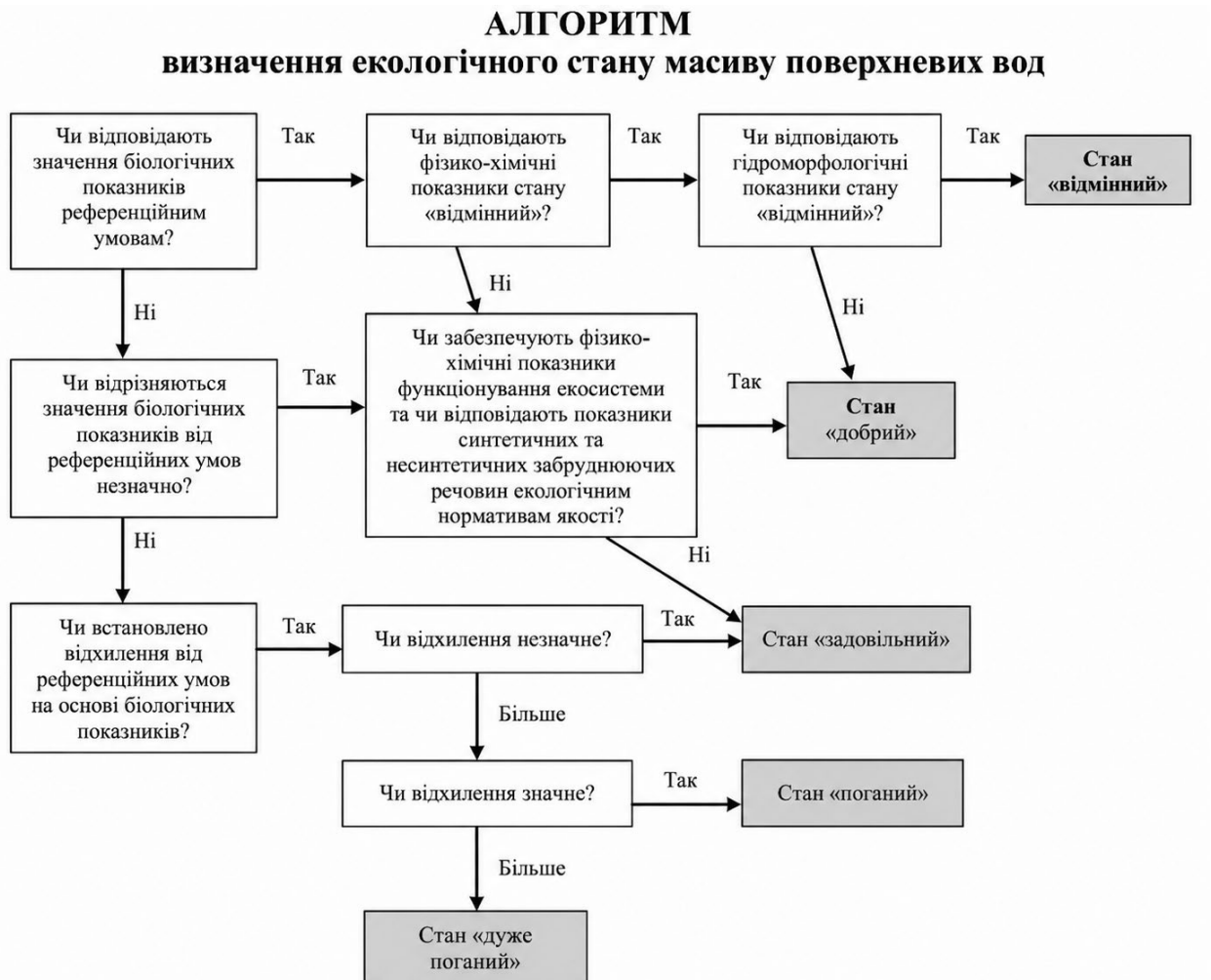


Рис. 1. Додаток 4 до [Методики](#) (пункту 1 розділу III)

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

Тема: визначення рівня забруднення ґрунту.

Мета: ознайомитися з нормативно-правовою базою, методами моніторингу та критеріями екологічної оцінки стану ґрунтового покриву; опанувати методику розрахунку інтегральних показників техногенного навантаження та навчитися класифікувати території за рівнем небезпеки забруднення ґрунтів хімічними речовинами.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичними основами екологічного нормування, моніторингу та оцінки стану ґрунтового покриву.
2. Розрахувати коефіцієнти концентрації (K_c) для кожного наведеного у варіанті хімічного елемента.
3. Обчислити інтегральний показник сумарного забруднення ґрунту (Z_c) для досліджуваної території.
4. За критеріями оцінки небезпеки визначити фінальну категорію забруднення ґрунтового покриву.
5. Оформити результати розрахунків у вигляді підсумкової аналітичної таблиці та сформулювати розгорнутий екологічний висновок щодо стану досліджуваної території.

Теоретичні відомості

1. Моніторинг та нормування якості ґрунтового покриву

Екологічний моніторинг ґрунтів в Україні спрямований на своєчасне виявлення змін стану земельних ресурсів, оцінку їхньої антропогенної деградації та розробку заходів із ліквідації наслідків хімічного забруднення. Правовою основою для здійснення контролю є Земельний кодекс України (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>) та Закон України «Про охорону земель» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15>).

Оцінка ступеня забруднення базується на порівнянні фактичного вмісту токсикантів (важких марганцевих сполук, радіонуклідів, пестицидів, нафтопродуктів) із нормативними критеріями – Гранично допустимими концентраціями (ГДК) або Орієнтовно допустимими концентраціями (ОДК) хімічних речовин у ґрунті. Проте для об'єктивного аналізу техногенних аномалій, особливо в зонах впливу промислових підприємств, використовують порівняння з місцевим фоновим вмістом елементів (геохімічним фоном), що дозволяє врахувати природні регіональні особливості ґрунтоутворення.

2. Математичний апарат оцінки рівня забруднення ґрунту

Для характеристики масштабів накопичення окремого хімічного елемента в ґрунті використовується коефіцієнт концентрації забруднювальної речовини (K_c), який обчислюється за формулою:

$$K_{c,i} = \frac{C_i}{C_{f,i}} \quad (1)$$

де: $K_{c,i}$ – коефіцієнт концентрації i -го хімічного елемента (безрозмірна величина);

C_i – фактична концентрація i -го елемента в досліджуваній пробі ґрунту, мг/кг;

$C_{f,i}$ – фонові концентрації i -го хімічного елемента в ґрунті досліджуваного регіону, мг/кг.

Оскільки антропогенний тиск на урбанізованих і промислових територіях зазвичай має поліметалевий характер, оцінку небезпеки життєдіяльності населення та стану екосистеми проводять за інтегральним показником – показником сумарного забруднення ґрунту (Z_c). Він враховує кумулятивний ефект групи виявлених хімічних речовин і розраховується за формулою:

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

де: Z_c – показник сумарного забруднення ґрунту (безрозмірна величина);

$K_{c,i}$ – коефіцієнт концентрації i -го компонента, що перевищує фоновий рівень ($K_{c,i} > 1$);

n – загальна кількість врахованих хімічних елементів із вмістом, вищим за фоновий.

3. Класифікація небезпеки забруднення ґрунтів

На основі розрахованого значення Z_c відповідно до державних санітарно-екологічних нормативно-методичних документів територія відноситься до однієї з чотирьох категорій забруднення (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Оцінка небезпеки забруднення ґрунтів за показником Z_c

Значення показника Z_c	Категорія забруднення ґрунту	Очікувані екологічні та медико-соціальні наслідки
< 16	Допустима	Мінімальний рівень антропогенного навантаження. Показники захворюваності населення перебувають у межах середньостатистичної норми.
16 - 32	Помірно небезпечна	Спостерігається тенденція до збільшення загальної захворюваності (збільшення частоти хронічних хвороб, порушень розвитку у дітей).
32 - 128	Небезпечна	Фіксується стійке зростання захворюваності населення, специфічні порушення функцій організму, зниження біологічної продуктивності ґрунту.
> 128	Надзвичайно небезпечна	Критичний рівень забруднення. Різке збільшення дитячої захворюваності, патологій вагітності, повна втрата ґрунтом функцій самоочищення.

Приклад виконання роботи (варіант №0)

1. Вихідні дані техногенної ділянки

Для екологічного аналізу стану ґрунтового покриву в зоні впливу металургійного комбінату (Харківська область) було відібрано змішані проби ґрунту на глибині 0–20 см. Лабораторний аналіз зафіксував фактичні

концентрації важких металів, які порівнювалися з регіональними фоновими значеннями для цього типу ґрунтів.

Таблиця 2 – Вміст важких металів у пробній точці №0

Хімічний елемент	Фактична концентрація (C _i), мг/кг	Фонова концентрація (C _{f,i}), мг/кг
Мідь (Cu)	68,0	20,0
Цинк (Zn)	145,0	50,0
Свинець (Pb)	42,0	15,0
Кадмій (Cd)	1,4	0,5
Нікель (Ni)	22,0	25,0

2. Розрахункова частина

Крок 1: Обчислення коефіцієнтів концентрації (K_c)*

За формулою (1) знаходимо індивідуальні коефіцієнти для кожного елемента:

1. Мідь (Cu): $K_{c, Cu} = 68,0 / 20,0 = 3,40$
2. Цинк (Zn): $K_{c, Zn} = 145,0 / 50,0 = 2,90$
3. Свинець (Pb): $K_{c, Pb} = 42,0 / 15,0 = 2,80$
4. Кадмій (Cd): $K_{c, Cd} = 1,4 / 0,5 = 2,80$
5. Нікель (Ni): $K_{c, Ni} = 22,0 / 25,0 = 0,88$

Крок 2: Обчислення показника сумарного забруднення (Z_c)

Відповідно до методологічних вимог, до розрахунку сумарного показника Z_c за формулою (2) включаються лише ті елементи, коефіцієнт концентрації яких строго більший за одиницю ($K_c > 1$).

Для нікелю $K_{c, Ni} = 0,88 \leq 1$, тому цей елемент виключається з подальших розрахунків. Кількість накопичуваних елементів становить $n = 4$ (Cu, Zn, Pb, Cd).

$$Z_c = (3,40 + 2,90 + 2,80 + 2,80) - (4 - 1) = 8,90$$

3. Оцінка небезпеки та екологічний висновок

Зведемо результати розрахунків у підсумкову таблицю.

Таблиця 3 – Результати інтегральної оцінки забруднення ґрунту (Варіант №0)

Елемент	Факт (C _i), мг/кг	Фон (C _{f,i}), мг/кг	Коефіцієнт K _c	Участь у розрахунку Z _c
Мідь (Cu)	68,0	20,0	3,40	Так
Цинк (Zn)	145,0	50,0	2,90	Так
Свинець (Pb)	42,0	15,0	2,80	Так
Кадмій (Cd)	1,4	0,5	2,80	Так
Нікель (Ni)	22,0	25,0	0,88	Ні
Разом:	—	—	—	Z_c = 8,90

Отримане інтегральне значення $Z_c = 8,90$. Згідно з класифікаційними критеріями (Таблиця 1), значення $Z_c < 16$ відповідає допустимій категорії забруднення ґрунту.

Висновок: у результаті проведеного дослідження оцінено рівень хімічного забруднення ґрунту в зоні впливу металургійного комбінату. Встановлено, що ґрунтовий покрив зазнає поліметалевого антропогенного

навантаження, вираженого в накопиченні міді, цинку, свинцю та кадмію вище фонових значень у 2,8–3,4 раза. Проте інтегральний показник сумарного забруднення становить $Z_c = 8,90$, що вказує на допустимий рівень екологічної небезпеки. На даному етапі ризик для здоров'я місцевого населення мінімальний, а природні процеси самоочищення ґрунту справляються з поточним техногенним надходженням токсикантів. Рекомендовано продовжувати регулярний моніторинг локальної екосистеми.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

Завдання 1. Екологічна оцінка поліметалевого забруднення ґрунтового покриву

Керуючись наведеними у теоретичних відомостях формулами та класифікаційними критеріями, студенту необхідно детально проаналізувати вихідні дані хімічного аналізу досліджуваної ділянки відповідно до свого індивідуального варіанта, розрахувати коефіцієнти концентрації (K_c) для кожного важкого металу, визначити інтегральний показник сумарного забруднення ґрунту (Z_c) з обов'язковим урахуванням лише тих елементів, вміст яких перевищує фонові значення ($K_c > 1$), встановити фінальну категорію небезпеки забруднення території та оформити результати розрахунків у вигляді підсумкової аналітичної таблиці, супроводжуючи її розгорнутим екологічним висновком із прогнозом медико-соціальних наслідків для місцевого населення.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ВАРІАНТИ ДЛЯ ЗАВДАННЯ 1

Варіант №1

Для екологічного аналізу стану ґрунтів у зоні впливу машинобудівного заводу (Харківська область) було відібрано зразки, лабораторний аналіз яких зафіксував фактичні концентрації міді на рівні 115,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 280,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 95,0 мг/кг (при фоні 15,0 мг/кг), кадмію – 3,5 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 18,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Варіант №2

На території поблизу автотранспортного вузла промислового центру зафіксовано такі фактичні та фонові концентрації хімічних елементів у пробах ґрунту: вміст міді становить 45,0 мг/кг (фон 20,0 мг/кг), цинку – 120,0 мг/кг (фон 50,0 мг/кг), свинцю – 112,0 мг/кг (фон 15,0 мг/кг), кадмію – 0,9 мг/кг (фон 0,5 мг/кг) та нікелю – 12,0 мг/кг (фон 25,0 мг/кг).

Варіант №3

У зоні випадіння викидів підприємства кольорової металургії дослідження ґрунтового покриву виявило фактичний вміст міді на рівні 340,0 мг/кг (регіональний фон 20,0 мг/кг), цинку – 610,0 мг/кг (регіональний фон 50,0 мг/кг), свинцю – 180,0 мг/кг (регіональний фон 15,0 мг/кг), кадмію – 6,8 мг/кг (регіональний фон 0,5 мг/кг) та нікелю – 24,0 мг/кг (регіональний фон 25,0 мг/кг).

Варіант №4

При моніторингу сільськогосподарських угідь, що тривалий час зазнавали інтенсивного хімічного навантаження, зафіксовано фактичні концентрації міді 38,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 85,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 22,0 мг/кг (при фоні 15,0 мг/кг), кадмію – 1,2 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 21,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Варіант №5

В околицях шламонакопичувача хімічного заводу відібрані проби ґрунту показали такий компонентний склад важких металів: фактична концентрація міді склала 190,0 мг/кг (фон 20,0 мг/кг), цинку – 415,0 мг/кг (фон 50,0 мг/кг), свинцю – 140,0 мг/кг (фон 15,0 мг/кг), кадмію – 4,2 мг/кг (фон 0,5 мг/кг) та нікелю – 35,0 мг/кг (фон 25,0 мг/кг).

Варіант №6

На території житлової забудови в зоні історичного впливу теплоелектростанції лабораторні дослідження ґрунту виявили фактичний вміст міді на рівні 52,0 мг/кг (фонове значення 20,0 мг/кг), цинку – 165,0 мг/кг (фонове значення 50,0 мг/кг), свинцю – 58,0 мг/кг (фонове значення 15,0 мг/кг), кадмію – 1,8 мг/кг (фонове значення 0,5 мг/кг) та нікелю – 22,0 мг/кг (фонове значення 25,0 мг/кг).

Варіант №7

Для екологічної експертизи земельної ділянки біля залізничного лінійного коридору було отримано такі лабораторні показники вмісту токсикантів: фактична концентрація міді 72,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 195,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 84,0 мг/кг (при фоні 15,0 мг/кг), кадмію – 1,1 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 15,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Варіант №8

У зразках ґрунту, відібраних на межі санітарно-захисної зони заводу залізобетонних виробів, зафіксовано фактичні концентрації міді 28,0 мг/кг (геохімічний фон 20,0 мг/кг), цинку – 74,0 мг/кг (геохімічний фон 50,0 мг/кг), свинцю – 19,0 мг/кг (геохімічний фон 15,0 мг/кг), кадмію – 0,6 мг/кг (геохімічний фон 0,5 мг/кг) та нікелю – 14,0 мг/кг (геохімічний фон 25,0 мг/кг).

Варіант №9

Вплив великого промислового вузла на стан прилеглих чорноземів звичайних характеризується такими фактичними та фоновими значеннями важких металів у пробах: мідь становить 260,0 мг/кг (фон 20,0 мг/кг), цинк – 530,0 мг/кг (фон 50,0 мг/кг), свинець – 165,0 мг/кг (фон 15,0 мг/кг), кадмій – 5,1 мг/кг (фон 0,5 мг/кг) та нікель – 29,0 мг/кг (фон 25,0 мг/кг).

Варіант №10

Дослідження рекреаційної зони міського парку, розташованого поруч із залізничним комбінатом, виявило такі концентрації хімічних елементів у верхньому горизонті ґрунту: фактичний вміст міді 88,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 210,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 46,0 мг/кг (при фоні

15,0 мг/кг), кадмію – 2,2 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 26,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Варіант №11

У промисловій зоні нафтопереробного підприємства хіміко-аналітичний контроль стану ґрунтового покриву показав фактичні концентрації міді на рівні 62,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 138,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 76,0 мг/кг (при фоні 15,0 мг/кг), кадмію – 1,6 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 48,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Варіант №12

Для оцінки ступеня деградації земель під впливом звалища твердих побутових та промислових відходів було зафіксовано такі вмісти токсикантів у ґрунті: фактична концентрація міді 145,0 мг/кг (фон 20,0 мг/кг), цинку – 370,0 мг/кг (фон 50,0 мг/кг), свинцю – 125,0 мг/кг (фон 15,0 мг/кг), кадмію – 2,9 мг/кг (фон 0,5 мг/кг) та нікелю – 31,0 мг/кг (фон 25,0 мг/кг).

Варіант №13

Зразки ґрунту, отримані з території приміського агрокомплексу в радіусі дії промислових аеровикидів, мають такі показники хімічного забруднення: фактичний вміст міді склав 34,0 мг/кг (фонове значення 20,0 мг/кг), цинку – 92,0 мг/кг (фонове значення 50,0 мг/кг), свинцю – 31,0 мг/кг (фонове значення 15,0 мг/кг), кадмію – 0,8 мг/кг (фонове значення 0,5 мг/кг) та нікелю – 11,0 мг/кг (фонове значення 25,0 мг/кг).

Варіант №14

У приреєвковій смузі великої залізничної станції сортування за результатами екологічного моніторингу виявлено такі фактичні та фонові концентрації елементів у досліджуваних пробах ґрунту: мідь становить 98,0 мг/кг (фон 20,0 мг/кг), цинк – 245,0 мг/кг (фон 50,0 мг/кг), свинець – 104,0 мг/кг (фон 15,0 мг/кг), кадмій – 2,4 мг/кг (фон 0,5 мг/кг) та нікель – 19,0 мг/кг (фон 25,0 мг/кг).

Варіант №15

На території колишнього хімічного складу за результатами експрес-оцінки локальних вогнищ забруднення зафіксовано такі аналітичні параметри верхнього шару ґрунту: фактична концентрація міді 420,0 мг/кг (при фоні 20,0 мг/кг), цинку – 840,0 мг/кг (при фоні 50,0 мг/кг), свинцю – 210,0 мг/кг (при фоні 15,0 мг/кг), кадмію – 8,5 мг/кг (при фоні 0,5 мг/кг) та нікелю – 23,0 мг/кг (при фоні 25,0 мг/кг).

Контрольні питання

1. Яким чином побудована взаємодія між Земельним кодексом України, Законом України «Про охорону земель» та чинними підзаконними актами у сфері екологічного моніторингу, та як розподіляються повноваження між Міндовкілля, Держгеокадастром і Держекоінспекцією у процесі виявлення та ліквідації наслідків хімічного забруднення земельних ресурсів?

2. У чому полягає фундаментальна теоретична та практична різниця між ГДК та ОДК хімічних речовин у ґрунті, і як обґрунтовується доцільність

застосування показника регіонального геохімічного фону замість універсальних санітарних нормативів при оцінці техногенних аномалій?

3. Яка екологічна та токсикологічна логіка покладена в основу математичного апарату розрахунку коефіцієнта концентрації (K_c) та показника сумарного забруднення (Z_c), чому до розрахунку індексу Z_c включаються виключно елементи з коефіцієнтом $K_c > 1$, і який синергетичний ефект суміші важких металів цим моделюється?

4. Як саме фізико-хімічні властивості ґрунту, такі як кислотно-основні умови (рН), окисно-відновний потенціал, вміст гумусу та гранулометричний склад, впливають на перехід важких металів із валових форм у рухомі, і які механізми обумовлюють їхню акумуляцію сільськогосподарськими культурами та подальшу міграцію по трофічних ланцюгах?

5. Які довгострокові екологічні та медико-соціальні зміни в людській популяції, включаючи структуру захворюваності та реакцію чутливих груп населення, очікуються на територіях, що за результатами розрахунку сумарного показника забруднення ($Z_c > 32$) віднесені до допустимої та помірно небезпечної категорій?

6. Які специфічні патології, репродуктивні порушення та демографічні зрушення фіксуються серед населення на територіях із небезпечною та надзвичайно небезпечною категоріями забруднення ґрунтів ($Z_c > 32$), і як у цих умовах відбуваються процеси руйнації мікробіоценозу та повної втрати ґрунтом функцій біологічного поглинача й здатності до самоочищення?

7. Яка роль належить викидам основних галузей промисловості (металургія, хімічний комплекс, теплоенергетика) та автомобільного транспорту у формуванні просторової структури хімічних аномалій літосфери, і як особливості рельєфу та метеорологічні чинники впливають на геохімічні потоки розсіювання цих токсикантів?

8. У чому полягає сутність буферної ємності ґрунту як інтегрального показника його стійкості до хімічного навантаження, і які конкретні фізичні, хімічні та біологічні механізми забезпечують зниження токсичності ксенобіотиків у ґрунті в процесі його самоочищення?

9. Які комплексні вимоги висуваються до організації системи відбору зразків ґрунту на територіях різного цільового призначення (промислові зони, сільськогосподарські угіддя, селітебні ландшафти), і як обґрунтовується вибір методу «конверта», визначення площі пробного майданчика, глибини відбору та правил формування об'єднаної проби?

10. Яким чином забруднений ґрунтовий покрив виступає як постійне вторинне джерело антропогенного тиску на суміжні природні сфери, і які екологічні наслідки має міграція токсикантів із ґрунту в атмосферне повітря за рахунок пилоутворення, у гідрмережі шляхом фільтрації та у рослинну біомасу?

11. Які існують сучасні технології рекультивації та очищення хімічно забруднених ґрунтів (ex-situ та in-situ), у чому полягають переваги й обмеження біологічних методів (фіторе mediaція, мікробіологічна деструкція)

порівняно з жорсткими фізико-хімічними методами (промивання, термічна обробка)?

12. Як впливає тривале забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами на його водно-фізичні властивості, структуру, дихання та загальну ферментативну активність, і за допомогою яких інтегральних біологічних показників можна оцінити ступінь фітотоксичності такого ґрунту?

13. Які особливості моніторингу та нормування радіоактивного забруднення ґрунтів (зокрема ізотопами цезію-137 та стронцію-90), які чинники визначають вертикальну міграцію радіонуклідів у ґрунтового профілі та їхнє надходження в продукцію рослинництва?

14. Як здійснюється еколого-економічна оцінка збитків, заподіяних державі внаслідок забруднення та засмічення земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства, і які вихідні параметри (площа, нормативна грошова оцінка, коефіцієнти небезпеки) формують базу для цих розрахунків?

15. Яка роль міжнародних інституцій (таких як Глобальне ґрунтове партнерство ФАО ООН) у моніторингу деградації земель на світовому рівні, і які глобальні стратегії використовуються для запобігання хімічному забрудненню та збереження біорізноманіття ґрунтів?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

Тема: застосування методів біоіндикації в моніторингу довкілля. Розрахунок показників біорізноманіття.

Мета: ознайомитися з теоретичними засадами біоіндикації та біомоніторингу природних екосистем; опанувати математичний апарат оцінки структурної організації угруповань за допомогою екологічних індексів; навчитися інтерпретувати зміни видового різноманіття під впливом антропогенного навантаження.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичними засадами біоіндикаційного моніторингу та математичними методами оцінки структурної організації угруповань.
2. Розрахувати загальну чисельність особин у пробі (N) та визначити загальну кількість виявлених видів (S).
3. Обчислити відносну частку особин кожного виду (p_i) в угрупованні та квадрат цієї частки (p_i^2).
4. Знайти значення натурального логарифма відносної частки ($\ln p_i$) для кожного компонента угруповання.
5. Розрахувати індекс видового багатства Маргалефа (d).
6. Визначити інтегральний індекс різноманіття Шеннона (H').
7. Обчислити індекс домінування Сімпсона ($D\$$).
8. Визначити індекс вирівняності угруповання Пієлу (e).
9. На основі розрахованого комплексу індексів здійснити екологічну інтерпретацію стану біоценозу відповідно до встановлених критеріїв антропогенного навантаження.
10. Оформити результати математичного моделювання у вигляді підсумкової розрахункової таблиці та сформулювати розгорнутий аналітичний висновок.

Теоретичні відомості

1. Біоіндикація як метод екологічного моніторингу

Біоіндикація – це метод оцінки якості навколишнього середовища та екологічного стану природних систем за допомогою живих організмів (біоіндикаторів). На відміну від фізико-хімічного моніторингу, який фіксує лише миттєві концентрації окремих речовин у момент відбору проби, біоіндикація дозволяє оцінити кумулятивний ефект тривалого антропогенного впливу на живі системи. Суть методу полягає в тому, що під дією токсикантів, евтрофікації або механічного руйнування біотопів у першу чергу зникають найбільш чутливі види, тоді як чисельність толерантних та екологічно пластичних видів (опортуністів) стрімко зростає через послаблення міжвидової конкуренції.

Оцінка стану біоценозів може проводитися на різних рівнях: від біохімічних маркерів в окремому організмі до аналізу структури цілих угруповань (наприклад, фітопланктону, макрзообентосу річок чи лісових фітоценозів). Стабільність та стійкість будь-якої екосистеми безпосередньо

залежить від її внутрішнього різноманіття, оскільки висока кількість екологічних ніш забезпечує взаємозамінність елементів біоценозу. При техногенному пресингу складна структура руйнується, що супроводжується різким падінням біорізноманіття.

2. Математичний апарат оцінки біорізноманіття угруповань

Для кількісного аналізу структури екосистем та визначення ступеня їхнього пригнічення в екологічному моніторингу використовують математичні індекси, які враховують не лише загальну кількість видів (видове багатство), а й співвідношення їхньої чисельності (вирівняність).

Індекс видового багатства Маргалефа (d) відображає кількість виявлених видів відносно натурального логарифма загальної чисельності особин у пробі та обчислюється за формулою:

$$d = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (1)$$

де: S – загальна кількість видів в угрупованні;

N – загальна кількість особин усіх видів у досліджуваній пробі.

Індекс різноманіття Шеннона (H') базується на теорії інформації та оцінює ступінь невизначеності структури угруповання. Чим вища мозаїчність, складність та збалансованість біоценозу, тим більшим є значення індексу. Розрахунок проводиться за формулою:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (2)$$

де: p_i – відносна частка особин i -го виду в угрупованні, яка визначається як $p_i = n_i / N$ (де n_i – чисельність особин конкретного i -го виду);

$\ln p_i$ – натуральний логарифм відносної частки особин i -го виду.

Індекс домінування Сімпсона (D) відображає ймовірність того, що дві випадково обрані з проби особини належатимуть до одного й того самого виду. Велика величина індексу свідчить про низьке різноманіття та виражене домінування одного або кількох стійких до забруднення видів. Формула має вигляд:

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (3)$$

Індекс вирівняності Пієлу (e) показує, наскільки фактичний розподіл чисельності особин між видами близький до максимально можливого рівномірного розподілу. Значення варіюють у межах від 0 до 1 та розраховуються за формулою:

$$e = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

де: $\ln S$ – натуральний логарифм від загальної кількості видів (максимально можливе різноманіття Шеннона для заданого числа видів).

3. Екологічна інтерпретація розрахованих показників

На основі комплексного аналізу отриманих значень індексів робиться висновок про екологічний стан екосистеми та ступінь її антропогенної трансформації (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Критерії оцінки стану екосистеми за показниками біорізноманіття

Рівень антропогенного навантаження	Індекс Шеннона (H')	Індекс Сімпсона (D)	Стан екосистеми та структура угруповання
Відсутній або мінімальний	> 3,0	< 0,1	Екосистема стабільна, природна. Високе видове багатство, домінування окремих видів відсутнє, чисельність розподілена рівномірно.
Помірний (антропогенний стрес)	1,5 - 3,0	0,1 - 0,3	Початкова стадія дигресії. Чутливі види знижують чисельність, з'являються помірно стійкі домінанти, структура дещо спрощується.
Критичний (хронічний токсичний прес)	< 1,5	> 0,3	Екосистема деградована. Складні міжвидові зв'язки зруйновані, видове багатство мінімальне, фіксується тотальне домінування 1-2 ультрастійких видів-опортуністів.

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ (ВАРІАНТ №0)

1. Вихідні дані гідробіоценозу

Для оцінки екологічного стану річки в зоні впливу скидів очисних споруд міської каналізації було відібрано та проаналізовано пробу донного макрозообентосу (організмів безхребетних). У результаті гідробіологічного аналізу у створі спостереження було виявлено 5 видів організмів із наступною чисельністю особин.

Таблиця 2 – Структура макрозообентосу у пробній точці №0

№ з/п	Назва виду організму (латинь / укр)	Чисельність особини (n _i), екз.
1	<i>Chironomus plumosus</i> (Мотиль розгалужений)	142
2	<i>Tubifex tubifex</i> (Трубочник звичайний)	185
3	<i>Asellus aquaticus</i> (Водяний віслик)	48
4	<i>Lymnaea stagnalis</i> (Ставковик звичайний)	12
5	<i>Physa fontinalis</i> (Фіза пухирчаста)	5

2. Розрахункова частина

Крок 1: Визначення загальних параметрів угруповання (N та S)**

Загальна кількість видів у пробі: S = 5.

Загальна чисельність усіх особин: N = 142 + 185 + 48 + 12 + 5 = 392 екз.

Крок 2: Наскрізний розрахунок проміжних величин (p_i , p_i^2 , $\ln p_i$, $p_i \ln p_i$)

1. Для виду *Chironomus plumosus*:

Частка: $p_1 = 142 / 392 = 0,3622$

Квадрат частки: $p_1^2 = (0,3622)^2 = 0,1312$

Логарифм частки: $\ln(0,3622) = -1,0156$

Добуток: $p_1 \ln p_1 = 0,3622 \times (-1,0156) = -0,3679$

2. Для виду *Tubifex tubifex*:

$$\text{Частка: } p_2 = 185 / 392 = 0,4719$$

$$\text{Квадрат частки: } p_2^2 = (0,4719)^2 = 0,2227$$

$$\text{Логарифм частки: } \ln(0,4719) = -0,7510$$

$$\text{Добуток: } p_2 \ln p_2 = 0,4719 \times (-0,7510) = -0,3544$$

3. Для виду *Asellus aquaticus*:

$$\text{Частка: } p_3 = 48 / 392 = 0,1224$$

$$\text{Квадрат частки: } p_3^2 = (0,1224)^2 = 0,0150$$

$$\text{Логарифм частки: } \ln(0,1224) = -2,1005$$

$$\text{Добуток: } p_3 \ln p_3 = 0,1224 \times (-2,1005) = -0,2571$$

4. Для виду *Lymnaea stagnalis*:

$$\text{Частка: } p_4 = 12 / 392 = 0,0306$$

$$\text{Квадрат частки: } p_4^2 = (0,0306)^2 = 0,0009$$

$$\text{Логарифм частки: } \ln(0,0306) = -3,4867$$

$$\text{Добуток: } p_4 \ln p_4 = 0,0306 \times (-3,4867) = -0,1067$$

5. Для виду *Physa fontinalis*:

$$\text{Частка: } p_5 = 5 / 392 = 0,0128$$

$$\text{Квадрат частки: } p_5^2 = (0,0128)^2 = 0,0002$$

$$\text{Логарифм частки: } \ln(0,0128) = -4,3583$$

$$\text{Добуток: } p_5 \ln p_5 = 0,0128 \times (-4,3583) = -0,0558$$

Зведемо суми для формул:

$$\sum p_i^2 = 0,1312 + 0,2227 + 0,0150 + 0,0009 + 0,0002 = 0,3700$$

$$\sum p_i \ln p_i = (-0,3679) + (-0,3544) + (-0,2571) + (-0,1067) + (-0,0558) = -1,1419$$

Крок 3: Розрахунок екологічних індексів

1. Індекс видового багатства Маргалєфа (формула 1):

$$d = (5 - 1) / \ln(392) = 0,670$$

2. Індекс різноманіття Шеннона (формула 2):

$$H' = -(-1,1419) = 1,142$$

3. Індекс домінування Сімпсона (формула 3):

$$D = 0,370$$

4. Індекс вирівняності Пієлу (формула 4):

$$e = 1,142 / \ln(5) = 0,709$$

3. Оцінка стану екосистеми та екологічний висновок

Таблиця 3 – Підсумкова матриця індексів біорізноманіття (Варіант №0)

Кількість видів (S)	Чисельність (N), екз.	Індекс Маргалєфа (d)	Індекс Шеннона (H')	Індекс Сімпсона (D)	Індекс Пієлу (e)
5	392	0,670	1,142	0,370	0,709

Фінальна оцінка стану території:

Отримане значення індексу Шеннона $H' = 1,142$ (менше 1,5), а індексу Сімпсона $D = 0,370$ (більше 0,3). Згідно з класифікаційними критеріями (Таблиця 1), досліджуване водне угруповання перебуває в стані критичного антропогенного навантаження (хронічний токсичний або органічний прес).

Висновок: уа основі математичного моделювання структури макрозообентосу встановлено факт глибокої деградації річкової екосистеми в зоні впливу стічних вод. Загальне видове багатство є екстремально низьким

($S=5$, $d=0,670$). В угрупованні зафіксовано руйнацію природних міжвидових зв'язків та тотальне домінування стійких до органічного забруднення та дефіциту кисню видів-опортуністів – мотиля *Chironomus plumosus* та трубочника *Tubifex tubifex*, сумарна частка яких складає понад 83% від усієї біомаси проби. Високе значення індексу Сімпсона ($D=0,370$) на фоні падіння індексу Шеннона ($H'=1,142$) чітко індикує стадію глибокої екологічної дигресії, викликаної хронічним антропогенним пресингом, за якого самоочищення водойми неможливе.

Завдання для самостійного виконання

Використовуючи вихідні кількісні дані гідробіологічного або фітоценотичного аналізу екосистеми відповідно до свого індивідуального варіанта, студенту необхідно визначити загальну чисельність особин (N) та видове багатство (S), розрахувати відносні частки кожного виду, обчислити комплекс екологічних індексів (Маргалєфа, Шеннона, Сімпсона та Пієлу) з точністю до трьох знаків після коми, здійснити фінальну класифікацію стану угруповання за рівнем антропогенного навантаження та надати розгорнутий екологічний висновок із науковим обґрунтуванням структурних змін у біоценозі.

Варіант №1

При проведенні біомоніторингу лісового фітоценозу в зоні хронічного впливу викидів хімічного заводу на дослідному майданчику виявлено сумарно 310 деревних рослин, що належать до п'яти видів, при цьому чисельність берези бородавчастої склала 165 екземплярів, сосни звичайної – 82 екземпляри, дуба черешчатого – 45 екземплярів, осики – 13 екземплярів та клена гостролистого – 5 екземплярів.

Варіант №2

Гідробіологічний контроль стану макрозообентосу водосховища у створі нижче скиду підігрітих вод теплової електростанції зафіксував у пробі 415 особин безхребетних, розподілених між чотирма видами, де чисельність трубочника звичайного становила 230 екземплярів, мотиля – 145 екземплярів, ставковика вушкатоного – 32 екземпляри, а п'явок звичайних – 8 екземплярів.

Варіант №3

Під час дослідження структури фітопланктону заповідного озера, що зазнає вторинного евтрофування через змив добрив, у загальній пробі чисельністю 680 клітин виявлено шість основних видів водоростей, з яких на мікроцистіс синьо-зелений припадає 390 клітин, анабену – 180 клітин, синедру у her – 65 клітин, навікулу – 30 клітин, хламідомонаду – 12 клітин та кластеріум – 3 клітини.

Варіант №4

Оцінка стану трав'яного покриву міського парку в екотоні біля великої транспортної розв'язки показала наявність 240 облікованих рослин п'яти видів, де чисельність тонконога лучного склала 135 особин, кульбаби лікарської – 68

особин, подорожника великого – 25 особин, конюшини повзучої – 10 особин, а кропиви дводомної – 2 особини.

Варіант №5

Для аналізу впливу стічних вод целюлозно-паперового комбінату на річкову біоту було відібрано пробу бентосних організмів загальною чисельністю 510 екземплярів, яка складалася з п'яти видів, де водяний віслик налічував 215 особин, личинки мошок – 180 особин, малощетинкові черви – 85 особин, ставковик малий – 24 особини, а личинки бабок – 6 особин.

Варіант №6

Дослідження ентомофауни крон дерев у приміських лісонасадженнях, що зазнають значного рекреаційного тиску, виявило в облікових пастках 190 комах, які належали до шести видів, при цьому чисельність попелиці зеленої склала 98 особин, листоблішок – 52 особини, сонечка семикрапкового – 22 особини, мурах рудих лісових – 12 особин, златоочок – 5 особин та наїзників – 1 особина.

Варіант №7

При аналізі альгофлори техногенної водойми-охолоджувача промислового підприємства у пробі загальною щільністю 850 клітин виявлено шість видів мікродоростей, де домінував хлорела з чисельністю 520 клітин, сценидесмус налічував 210 клітин, осцилаторія – 85 клітин, мелозира – 24 клітини, ніцшія – 9 клітин та коніум – 2 клітини.

Варіант №8

У пробі донних безхребетних гірського струмка, що зазнав локального забруднення через будівництво туристичного комплексу, виявлено 340 особин, які належали до п'яти видів, де чисельність личинок одноклосок склала 145 екземплярів, ручейників – 95 екземплярів, бокоплавів – 68 екземплярів, личинок комарів-дзвонців – 26 екземплярів, а ставковиків – 6 екземплярів.

Варіант №9

Для екологічної оцінки лучної екосистеми в заплаві річки, що знаходиться в зоні падіння викидів цементного заводу, було підсчитано 290 екземплярів рослин шести видів, де пирій повзучий складав 152 особини, стоколос безостий – 74 особини, деревій звичайний – 42 особини, подорожник ланцетолистий – 14 особин, мишій сизий – 6 особин, а люцерна жовта – 2 особини.

Варіант №10

Біоіндикаційний аналіз стану мікрофлори ґрунту поблизу нафтошлямового амбару виявив у тестовому субстраті 760 колонієутворюючих одиниць (КУО) мікроміцетів, розподілених між п'ятьма родами, де на пеніцил припадало 430 КУО, аспергіл – 210 КУО, мукор – 85 КУО, триходерму – 28 КУО, а фузаріум – 7 КУО.

Варіант №11

Контроль стану лучного угруповання на межі території хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату виявив 380 рослин шести видів, де чисельність мітлиці тонкої становила 195 особин, костриці лучної – 112

особин, конюшини лучної – 46 особин, подорожника – 18 особин, кульбаби – 7 особин, а дивини лікарської – 2 особини.

Варіант №12

При відборі проб зоопланктону естуарної ділянки річки в зоні змішування з морськими водами під антропогенним пресом у пробі чисельністю 920 особин виявлено п'ять видів, де коловертки склали 560 екземплярів, гіллястовусі рачки – 240 екземплярів, веслоногі рачки – 95 екземплярів, личинки моллюсків – 21 екземпляр, а інфузорії – 4 екземпляри.

Варіант №13

Аналіз структури макрофітів (вищої водної рослинності) міського озера, що страждає від хронічного надходження зливових стоків, зафіксував 180 облікованих рослин п'яти видів, де ряска мала склала 92 особини, рдесник гребінчастий – 52 особини, рогоз вузьколистий – 24 особини, очерет звичайний – 10 особин, а латаття біле – 2 особини.

Варіант №14

У зоні впливу птахофабрики на локальний водотік аналіз бентосних безхребетних показав наявність у пробі 610 особин п'яти видів, де чисельність мотіля становила 340 екземплярів, малощетинкових червів – 185 екземплярів, водяних віслюків – 62 екземпляри, котушок – 18 екземплярів, а ставковиків – 5 екземплярів.

Варіант №15

Для дослідження стану агроценозу після тривалого застосування пестицидів було проведено облік ґрунтової мезофауни, який виявив у пробах 430 безхребетних шести видів, де чисельність нематод склала 250 особин, енхітреїд – 120 особин, личинок комах – 42 особини, дощових черв'яків – 13 особин, павуків – 4 особини, а багатоніжок – 1 особина.

Контрольні питання

1. Які існують фундаментальні теоретичні та практичні відмінності між поняттями «біоіндикація» та «біомоніторинг», і в чому полягає системна перевага живих аналітичних індикаторів перед прямими інструментальними фізико-хімічними вимірюваннями параметрів довкілля?

2. Як саме екологічна валентність (пластичність) виду та його положення в системі стенобіонтів і еврибіонтів визначають інформаційну цінність цього організму як потенційного біоіндикатора антропогенних змін у біотопі?

3. Яким чином концепція біологічного накопичення (біоаккумуляції) ксенобіотиків дозволяє використовувати організми-монітори для виявлення довгострокових трендів забруднення екосистеми низькими концентраціями токсикантів, які не фіксуються стандартними приладами?

4. Детально розкрийте математичний та екологічний зміст індексу видового багатства Маргалєфа, опишіть його залежність від обсягу вибірки та обґрунтуйте, чому простої констатації кількості видів недостатньо для комплексної екологічної оцінки стану біоценозу.

5. Які інформаційно-теоретичні засади покладено в основу індексу різноманіття Шеннона, як його величина відображає ступінь невизначеності (ентропії) екологічної структури і чому руйнація складних міжвидових зв'язків призводить до падіння цього показника?

6. Проаналізуйте екологічну сутність індексу домінування Сімпсона, поясніть біологічні причини стрімкого зростання його значень на територіях, що зазнають інтенсивного антропогенного тиску, та його математичний зв'язок з іншими індексами різноманіття.

7. Що відображає індекс вирівняності Пієлу в структуризації біоценозів, яким чином розподіл чисельності особин між компонентами угруповання корелює із загальною стійкістю та буферною ємністю екосистеми під техногенним навантаженням?

8. Охарактеризуйте особливості формування структури угруповань в умовах відсутності антропогенного тиску: які математичні співвідношення між індексами Шеннона, Сімпсона та Маргалєфа є еталонними для природних клімаксових екосистем?

9. Які структурно-функціональні перебудови та сукцесійні процеси відбуваються в біоценозах на стадії антропогенного стресу (помірне навантаження), і як ці зміни відображаються на динаміці показників видового багатства та вирівняності?

10. Дайте всебічний екологічний аналіз стану біотичних угруповань при досягненні критичного рівня антропогенного пресингу. Які біологічні механізми обумовлюють масове вимирання чутливих видів та вибухоподібне зростання чисельності видів-опортуністів?

11. Які критерії та вимоги висуваються до вибору тестових організмів або угруповань (наприклад, макрозобентосу, фітопланктону, лишайників) при проектуванні систем регіонального та локального екологічного моніторингу різних природних середовищ?

12. У чому полягає сутність методу ліхеноіндикації, які специфічні анатомо-морфологічні та фізіологічні особливості лишайників роблять їх високочутливими індикаторами забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки та сполуками фтору?

13. Як використовуються морфологічні аномалії та флуктуюча асиметрія асиміляційних органів рослин (наприклад, листя берези бородавчастої) як біомаркери для оцінки інтегрального експрес-рівня антропогенного навантаження на урбанізовані території?

14. Які існують обмеження, джерела похибок та методичні труднощі при застосуванні методів біоіндикації та розрахунку індексів біорізноманіття, і чому для верифікації екологічних висновків є обов'язковим поєднання біологічних методів із фізико-хімічним аналізом?

15. Яким чином результати біоіндикаційного моніторингу та оцінки біорізноманіття інтегруються в державні екологічні геоінформаційні системи (ГІС) та використовуються для прийняття управлінських рішень у сфері охорони природи та створення заповідних об'єктів?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Тема: захист індивідуальної самостійної роботи, перевірка знань та підсумковий контроль.

Мета: оцінити рівень засвоєння студентами теоретичних знань та практичних навичок, набутих під час вивчення курсу; забезпечити публічний захист індивідуальних самостійних робіт із комплексним аналізом отриманих результатів; здійснити підсумковий контроль знань через проведення фінального тестування; провести аудит поточної успішності, обговорення результатів виконання практичних завдань семестру та ліквідацію академічних заборгованостей.

Підсумкове оцінювання з дисципліни

Система оцінювання знань студентів є накопичувальною і базується на результатах виконання поточних практичних завдань та фінального контролю.

Структура підсумкової оцінки:

- **Поточний контроль (7 практичних робіт):** кожна самостійна практична робота оцінюється максимум у **10 балів**. Максимальна сума балів за практичний блок становить **70 балів**.
- **Підсумковий контроль (фінальне тестування):** максимальна оцінка за результатами тестування становить **30 балів**.

Умови допуску до тестування та критерії успішності:

- **Допуск до фінального тестування:** для отримання допуску до підсумкового тестування студент повинен мати в нашому освітньому реєстрі щонайменше **42 бали** за виконання поточних практичних робіт. Студенти, які набрали менше 42 балів, до складання фінального тестування **не допускаються** до моменту повної ліквідації заборгованостей та успішного перескладання самостійних робіт.
- **Мінімальний підсумковий бал:** для успішного завершення вивчення дисципліни та отримання позитивної оцінки («зараховано» / екзаменаційна оцінка) сумарний бал за результатами накопичувальної системи та тестування має становити не менше **60 балів**.