

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

І.Г. Миронова, Д.В. Кулікова, В.В. Федотов

ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Миронова І.Г.

Основи загальної екології [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища / І.Г. Миронова, Д.В. Кулікова, В.В. Федотов ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 76 с.

Автори:

І.Г. Миронова, канд. техн. наук, доц.;

Д.В. Кулікова, канд. техн. наук, доц.;

В.В. Федотов, ас.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 7 від 07.06.2024) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 10 від 04.06.2024).

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища та закріплення практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Основи загальної екології».

Відповідальний за випуск завідувачка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища О.О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
Практична робота № 1. Календар розвитку екологічної науки.....	6
Практична робота № 2. Основні етапи і методи наукових досліджень в екології.....	10
Практична робота № 3. Екологічні чинники. Температурний фактор. Розрахунок суми ефективних температур.....	12
Практична робота № 4. Аутоекологічна характеристика біологічного виду.....	14
Практична робота № 5. Методи оцінки чисельності та щільності популяції.....	16
Практична робота № 6. Оцінка динаміки чисельності популяції.....	20
Практична робота № 7. Типи взаємовідносин між організмами біоценозі.....	23
Практична робота № 8. Трофічна структура біоценозу.....	25
Практична робота № 9. Екологічні піраміди. Правило 10 відсотків.....	28
Практична робота № 10. Динаміка екосистем. Сукцесії біогеоценозів...	30
Практична робота № 11. Розв'язання задач з тематики глобальних екологічних проблем людства.....	33
Практична робота № 12. Розрахунок матеріальних потоків речовини в лісових екосистемах.....	45
Практична робота № 13. Інтегральна оцінка екологічного стану природних вод.....	64
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ...	75

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Основи загальної екології» – фахова освітня компонента за освітньою програмою «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Метою дисципліни є формування у студентів екологічного світогляду; знань про взаємодію живих організмів, популяцій та угруповань вищих рангів між собою та навколишнім середовищем; особливостей функціонування екосистем різних ієрархічних рівнів під впливом природних і антропогенних факторів, екологічних основ збалансованого природокористування тощо.

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також формування практичних навичок застосування екологічних знань при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

В методичних рекомендаціях представлено *практичні роботи*, текст яких викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, сформовані результати навчання, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю. Практичні роботи виконуються студентами згідно з поставленими завданнями за допомогою наведених в роботах таблиць, схем.

Результатом виконання практичної роботи є звіт, виконаний в письмовій формі в окремому зошиті або на аркушах формату А4, який підлягає захисту.

Звіт з практичних робіт може виконуватись в письмовому вигляді або в електронній формі та повинен включати:

- титульний аркуш,
- назву та мету роботи,
- завдання на практичну роботу,
- результати виконання завдань на практичну роботу,
- висновки.

В результаті виконання практичних робіт студенти мають досягти таких результатів навчання:

❖ розуміти:

- основний понятійно-термінологічний апарат загальної екології;
- основні екологічні закони, правила, принципи;
- основні принципи взаємодії живих організмів різних рівнів філогенетичної спорідненості між собою та навколишнім середовищем;
- механізми дії хімічних речовин, фізичних полів і біологічних агентів на життєдіяльність організмів;
- основні принципи взаємовідношень між організмами, популяціями і угрупованнями між собою та навколишнім середовищем;

- визначення екології як науки і місце сучасної екології в системі природничих, соціальних і технічних наук для забезпечення професійної діяльності;

- роль біоценозу в кругообігу речовин та енергії в екосистемах;

❖ знати:

- загальну схему трансформації енергії в екосистемах;

- статистичні та динамічні параметри популяцій;

- особливості структури екосистеми, закономірності просторового розміщення біоценозів, видові та трофічні структури біоценозу;

- основні етапи екологічних досліджень, моделі та методи прогнозу в екології;

❖ вміти застосовувати:

- екологічні знання при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування;

- прогнозувати ефективність та наслідки реалізації природоохоронних заходів відповідно екологічного імперативу та концепції сталого розвитку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 КАЛЕНДАР РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ НАУКИ

Мета роботи: ознайомитись з основними етапами розвитку екології як науки і внесок окремих вчених у формуванні екологічних знань.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- розуміти основні екологічні закони, правила, принципи;
- розуміти основний понятійно-термінологічний апарат загальної екології.

1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1.1. Термін «екологія»

Слово «екологія» складається з двох грецьких слів – *oikos* (дім, житло, оселя, середовище) та *logos* (вчення, наука). Дослівно це означає вчення про довкілля, середовище, яке оточує організми. З самого початку використання терміну під екологією розумілося вчення про вплив навколишнього середовища на біологічний об'єкт. Е. Геккель, який запропонував термін «екологія» у 1866 році, під екологією розумів науку про зв'язки організмів з навколишнім середовищем, куди ми відносимо в широкому розумінні усі умови існування.

Термін «екологія» довго не отримував визнання і використання. Багато дослідників у ХІХ сторіччі вивчали вплив факторів навколишнього середовища на рослини і тварини, але не користувались цим терміном. Офіційно термін було затверджено у 1910 році на Третньому ботанічному конгресі в Брюсселі у вигляді понять «аутекологія» – екологія особин і окремих видів та «синекологія» – екологія угруповань біологічних видів.

Екологія інтегрує знання з різних біологічних і географічних наук, що накоплені за багато сторіч досліджень природи. Сучасна екологія – це міжгалузевий комплекс фундаментальних і прикладних наук про закономірності функціонування складних природних комплексів, раціональне використання природних ресурсів, соціально-економічні фактори впливу на довкілля, техногенні фактори забруднення довкілля.

1.1.2. Коротка історія становлення екології як науки

Як і всі інші біологічні науки, екологія розвивалася безперервно, але нерівномірно. І як більшість наук, екологія має свою передісторію. Нагромадження відомостей про спосіб життя, залежність від навколишніх умов, характеру розподілу тварин і рослин почалось дуже давно. Праці давньогрецьких філософів-природознавців Гіпократата, Аристотеля, Теофраста містять відомості екологічного змісту. Звичайно, їх можна назвати відомостями екологічними тільки з сучасного погляду, оскільки сам термін «екологія» є нещодавнього походження. Отже, в історії екології, як і біології, можна виділити певні періоди розвитку, які в

часовому відрізку нерівноцінні. І в кожному період філософи намагались відповісти на запитання про причини виникнення того чи іншого явища. Їхні висновки нині дехто сприймає з іронією, але не варто забувати, що кожен з них мав обмежений спектр технічних можливостей – тільки технічний прогрес дав змогу робити більш правильні висновки, давати відповіді на виниклі запитання.

Першим періодом, етапом розвитку екологічних досліджень можемо вважати описовий етап, який тривав досить довго. Це період накопичення інформації про багатство тваринного та рослинного світу на нашій планеті, період відкриття нових континентів, кругосвітніх подорожей. У наукових фондах музеїв Великобританії, Іспанії, Португалії, Франції досі зберігаються експонати, зібрані натуралістами, які супроводжували мореплавців. Слід відмітити, що і понині експедиції, що споряджаються країнами, включають біологів різних галузей.

Упродовж півтора тисячоліття накопичилась величезна кількість інформації, яка потребувала узагальнення. Отже, поряд з накопиченням інформації назрівало виникнення другого етапу розвитку – систематики, з яким пов'язують імена таких відомих вчених, як К. Лінней та О. Гумбольдт. Багато науковців епохи Відродження (XVII–XIX ст.) зробили вагомий внесок у цю науку, яку в ті часи екологією ще не називали. Зокрема, А. Левенгук (XVIII ст.) – відомий як основоположник вчення про трофічні взаємовідносини та регуляцію чисельності популяцій; французький вчений Ж. Бюффон вперше порушив проблему впливу зовнішніх умов на будову тварин. Відомий еволюціоніст, автор першого еволюційного вчення Ж.Б. Ламарк вважав, що вплив «зовнішніх обставин» – одна з найголовніших причин пристосувальних змін організмів, еволюції тварин і рослин. Важливим результатом другого періоду є приведення в систему інформації про органічний світ. Системи, які були створені в цей період, уже давали уявлення про певну ієрархію та взаємозв'язок у живій природі.

Важливим етапом становлення екології як науки стала поява у 1859 р. книги Ч. Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або збереження обраних порід у боротьбі за життя». У ній Дарвін чітко вказав на роль навколишнього середовища («боротьба за існування» у природі) у природному доборі як одного з основних рушійних сил еволюції. Після виходу у світ праць Е. Геккеля термін «екологія» поступово прижився і набув загального визнання. Друга половина XIX ст. визначалася вивченням способу життя тварин і рослин та їх пристосування до кліматичних умов, а також, завдяки роботам К. Мебіуса, становленням нової галузі екології – біоценології.

Отже, третій етап розвитку теоретичних засад екології розпочався з другої половини XIX ст., хоч як самостійна наука екологія сформувалась і набула наукового визнання лише на початку XX ст. На той час уже сформувались екологічні школи гідробіологів, ботаніків, зоологів, кожна з яких розвивала певну галузь науки екології. У 20-х роках XX ст. в Європі та Америці були організовані екологічні наукові товариства, засновані журнали, а екологію почали викладати в

університетах. У 30-х роках сформувалась нова галузь екології – популяційна екологія, основоположником якої є англійський вчений Ч. Елтон. Увага звертається на популяцію як самостійну одиницю. Центральними для популяційної екології стали проблеми внутрішньовидової організації і динаміки чисельності.

З початку 30-х років виникає принципово новий підхід у дослідженнях з екології. У 1935 р. А. Тенслі обґрунтував поняття екосистеми, а в 1942 р. В. Сукачов сформулював тезу про біогеоценоз. Живі організми почали вивчати у їх співвіднесеності до сукупності абіотичних факторів, з урахуванням закономірностей, що лежать в основі зв'язку всього угруповання й навколишнього середовища – кругообігу речовин та перетворення енергії. Розвиток екосистемного аналізу привів до появи вчення про біосферу. Біосфера перед нами постає як глобальна система, стабільність та функціонування якої ґрунтуються на екологічних законах забезпечення балансу речовини та енергії. Автором цієї теорії був перший президент Української академії наук В.І. Вернадський.

Отже, за короткий період – з середини ХІХ ст. до 60-х років ХХ ст. – екологія як наука зайняла своє місце серед інших природничих наук, було сформульовано основні теоретичні засади науки про взаємозв'язки живих організмів з навколишнім середовищем та між собою. Сьогодні біологами-екологами чітко виокремлюються напрями теоретичної екології, які сформувались історично і розвиваються понині. Такими напрямками є: факторіальна екологія (вчення про фактори середовища та механізми адаптації живих істот до їх дії), демекологія (вчення про популяції), біоценологія (вчення про угруповання), екосистемологія та біогеоценологія (вчення про екосистеми та біогеоценози), біосферологія (вчення про біосферу).

Екологію деколи поділяють на аутекологію та синекологію. Таким чином розділи екології, які вивчають пристосованість популяцій окремих видів організмів до факторів навколишнього середовища, називають аутекологією або екологією видів (*аутос* – сам + екологія). Синекологія – розділ екології, який вивчає життя угруповань різних видів організмів та їх взаємодію (*син* – разом + екологія).

Слід зазначити, що стрімкий розвиток екології зумовлений значними досягненнями інших фундаментальних наук, таких, як фізика, хімія, математика. Зв'язок з цими науками настільки щільний, що подекуди напрями екології (утилізація, промислова екологія тощо) приймають за екологію в цілому. На жаль, в останні десятиріччя, завдяки аргументованому підвищенню уваги до науки екології, помітним є намагання представити наукові досягнення інших, небіологічних, наук як розвиток екології. І як наслідок, результат втілення таких наукових напрацювань далекий від основних завдань екології. Крім того, нерідко трапляються спроби перенесення лабораторних результатів на об'єкти в природному середовищі, при цьому цілковито ігнорується необхідність комплексного аналізу екосистеми.

Друга половина ХХ ст. продемонструвала, що більшість екологічних проблем виникає завдяки людині. Синтез нових речовин, які відсутні в природі, призвів до глобальної проблеми накопичення полімерних сполук та інших штучних,

переважно синтезованих речовин. Їх перевага, яку представляли як досягнення, обернулася для людства загрозою екологічної катастрофи.

У наш час екологія – це розгалужена система наук. Об'єктами її вивчення є популяції організмів, види, угруповання, екосистеми та біосфера в цілому.

Зв'язок екології з практикою надзвичайно тісний через те, що важко знайти сферу діяльності людини, де б не було зв'язку з середовищем існування. За останні десять років з'явилися нові напрями практичної екології (медична екологія, екологія космічного простору тощо), і процес цей триває понині. Як наслідок, з часом можуть відокремитись новітні напрями, які формуватимуть новий підхід до вивчення закономірностей існування живого на нашій планеті.

1.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Скласти календар розвитку екологічної науки у вигляді таблиці.

Таблиця 1.1 – Календар розвитку екологічної науки

Роки	Автор	Країна	Екологічна інформація

В таблиці необхідно представити інформацію про вчених з часів Давнього світу і до початку XXI сторіччя. Можна розділити таблицю на певні етапи розвитку екології. Завершити календар екології потрібно інформацією про сучасну українську екологічну школу екології, тобто необхідно надати короткі відомості про видатних вчених біологів-екологів з різних науково-освітніх установ за часів незалежної України.

Завдання 3. Навести коротку біографічну довідку та відомості про наукові праці одного з видатних вчених екологів за вибором студента.

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється перше геккелівське визначення екології як науки від сучасного визначення екології?
2. На які етапи можна розділити історичний шлях розвитку екологічної науки?
3. В чому полягає внесок Ч. Дарвіна в розвиток екологічної науки?
4. Які дослідники у XX сторіччі зробили найбільший внесок у формуванні понятійного апарату екології?
5. Який внесок у розвиток екологічної науки зробив В.І. Вернадський?
6. Назвіть видатних представників сучасної наукової української екологічної школи часів незалежної України.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ОСНОВНІ ЕТАПИ І

МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ЕКОЛОГІЇ

Мета роботи: узагальнено і на конкретних прикладах ознайомитись з основними етапами та методами наукових досліджень в екології, а також засвоїти деякі загальновідомі екологічні закономірності (закони).

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати основні етапи екологічних досліджень, методи наукових досліджень в екології;
- розуміти основні екологічні закони, правила, принципи.

2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Універсальний для дослідників науковий метод передбачає послідовне виконання наступних етапів будь-якого дослідження:

1. *Визначення об'єктів вивчення, цілей, задач і методів дослідження.* Тобто необхідно визначити «що вивчаємо і якими методами». На підготовчому етапі дослідження необхідно ознайомитися з наявними науковими доробками у відповідній галузі науки, результатом чого є літературний огляд по темі дослідження.

2. *Проведення спостережень, збір первинних даних, польових досліджень чи експериментів.*

3. *Проведення аналізу результатів спостереження.* На цьому етапі отримані дані спостережень обробляються методами математичної статистики. Аналіз даних дозволяє сформулювати гіпотезу про закономірності явища, що вивчається.

4. *Перевірка і корекція гіпотези* шляхом проведення наступних спостережень і експериментів. Гіпотеза, що підтверджується може стати теорією.

5. *Прогнозні припущення та їх перевірка.* На цьому завершальному етапі дослідження можливо здійснити прогноз та управління явищем і процесами, що вивчаються.

Збір інформації проводиться з використанням наступних методів:

Польовий метод спостережень проводиться в природі із дотриманням принципу мінімального втручання спостерігача дослідника в природні процеси.

Польові методи дозволяють встановити результат впливу на організм чи популяцію певного комплексу факторів, з'ясувати загальну картину розвитку життєдіяльності виду в певних умовах.

Експеримент передбачає пряме втручання в природні процеси з ціллю їх вивчення. Спостерігач дослідник створює певні задані умови для вивчення відгуку об'єкту, що вивчається. Експеримент може бути проведений в природі чи в лабораторії. Експериментальні методи дозволяють проаналізувати вплив на

розвиток організму окремих факторів у штучно створених умовах і таким чином вивчити всю різноманітність екологічних механізмів, які обумовлюють його нормальну життєдіяльність.

При лабораторному методі – в екосистему вносять зміни та через деякий час оцінюють стан екосистеми та порівнюють з контролем.

В науці широко використовується метод *моделювання* – створення моделей в якості образів, що подібні до об'єкту, який вивчається. Модель повинна якомога більше відображати оригінал. Модель може бути математична, фізична, графічна.

Математичне моделювання – полягає у формалізації поведінки систем на основі математичних виразів. Фізичне моделювання – це створення зменшених копій реальних об'єктів і систем. Прикладом фізичної моделі в екології є акваріум. Основним недоліком такого типу моделі є те, що при масштабному переході, тобто при збільшенні розмірів, деякі закономірності, що діяли в межах моделі, діяти перестають. Графічне моделювання – це зображення залежності між змінними в одній із систем координат, найчастіше в прямокутній декартовій системі. Прикладом є графіки змін чисельності популяцій.

Гіпотеза – це науково обґрунтоване припущення, що потребує підтвердження і перевірку додатковими експериментами і спостереженнями. При описі явища, що вивчається, може бути декілька гіпотез. Якщо гіпотеза багаторазово підтверджується (може «встояти» в експериментах і спостереженнях), то вона стає теорією. У свою чергу, якщо теорію не змогли спростувати факти, а відхилення від неї можна спрогнозувати, то така теорія переводиться в ранг закону.

2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Знайти приклад наукового дослідження (наукову статтю) в галузі загальної екології та вказати авторів, назву, об'єкти і методи дослідження, місце і рік проведення дослідження та наукові висновки.

Завдання 3. Привести приклад екологічного закону (з книг Н.Ф. Реймерса «Природокористування», В.М. Бродвій, О.О. Гаца «Системоутворюючі закони екології» чи інших джерел).

Завдання 4. Привести приклад моделювання в галузі загальної екології.

Питання для самоконтролю

1. Які етапи дослідження передбачає науковий метод?
2. Чим відрізняється польовий метод дослідження від експерименту?
3. Чим відрізняється наукова гіпотеза від теорії?
4. Наведіть приклади, що ілюструють екологічні закони Б. Комонера.
5. Якими можуть бути моделі в екологічній науці?
6. Які вимоги до моделі необхідно застосовувати при проведенні модельних екологічних досліджень?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ. ТЕМПЕРАТУРНИЙ ФАКТОР. РОЗРАХУНОК СУМИ ЕФЕКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР

Мета роботи: ознайомитись з класифікацією екологічних чинників, закономірностями впливу температурного фактору на біоту, засвоїти розрахунок суми ефективних температур для пойкилотермних організмів.

В результаті виконання даної практичної роботи буде сформований наступний **результат навчання:** розуміти основні принципи взаємодії живих організмів різних рівнів філогенетичної спорідненості між собою та навколишнім середовищем.

3.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Окремі властивості або елементи середовища, що впливають на організми, називають *екологічними факторами (чинниками)*. Екологічні фактори мають різну природу і специфіку дії. Вони поділяються на три групи: біотичні (чинники живої природи), абіотичні (чинники неживої природи), антропогенні, пов'язані з діяльністю людини.

За характером дій виділяють періодичні й неперіодичні екологічні чинники. До періодичних екологічних чинників відносять природні явища, зумовлені обертанням Землі: зміна пір року, добова зміна освітленості, добові, сезонні та вікові зміни температури і опадів, динаміка рослинної їжі (для тварин) тощо. До неперіодичних належать екологічні чинники, що не мають вираженої циклічності, наприклад, хімічний склад і механічні характеристики ґрунту, атмосферного повітря або води.

Температура є найважливішим абіотичним екологічним фактором, на який реагують усі живі істоти, адже вона визначає швидкість хімічних реакцій у навколишньому середовищі й метаболізму в більшості живих організмів.

По відношенню до температурного фактору, виділяють теплокровні (гомойотермні) організми, що підтримують постійну температуру тіла і холоднокровні (пойкілотермні) організми, які повністю залежать від зовнішнього тепла. До теплокровних організмів, що мають активну терморегуляцію, відносять ссавців і птахів. Усі інші холоднокровні організми (мікроорганізми, гриби, рослини, риби, амфібії, рептилії) мають пасивну терморегуляцію.

Основним джерелом збільшення температури тіла для організмів (особливо для холоднокровних) є тепло ґрунту, води, повітря, у залежності від середовища мешкання. Від тепла, що надходить із зовні у значній мірі залежить тривалість розвитку організму. Для кожного виду холоднокровних організмів можна встановити температурний поріг розвитку (температуру фізіологічного нуля) *To* – певну температуру середовища, під впливом якої процеси фізіологічного розвитку припиняються. Для окремих стадій розвитку фізіологічний нуль може набувати

різні значення. У зв'язку з цим було введено поняття ефективної температури – T_e .

Ефективна температура являє собою суму тепла, що накопичується у процесі розвитку організму. Поняття ефективної температури використовують для холоднокровних (пойкілотермних) організмів, температура тіла яких повністю залежить від тепла навколишнього середовища. Ефективна температура за певну кількість днів або годин визначається за формулою:

$$T_e = (T_{сд1} - T_o) + (T_{сд2} - T_o) + \dots + (T_{сдI} - T_o),$$

де $T_{сд} 1,2,I$ – фактична середньодобова температура за певний період; T_o – температура фізіологічного нуля.

3.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Надайте у зошиті розгорнуту класифікацію екологічних факторів.

Завдання 3. Розрахуйте суму ефективних температур чотириденної стадії розвитку личинки комахи за наступними даними (таблиця 3.1):

Таблиця 3.1 – Температурні показники розвитку личинки комахи за чотири доби

Дні	Середньодобова температура, $T_{сд}$, °C	Температура фізіологічного нуля комахи, T_o °C	Сума ефективних температур, T_e , °C
1	10,2	8,0	
2	14,1	8,0	
3	18,0	8,0	
4	22,1	8,0	
Ефективна температура =			

Завдання 4. Відомо, що температурний поріг розвитку ікри форелі складає 0 °C, а сума ефективних температур для ікри – 410 °C . Визначте, за скільки днів здійсниться вихід мальків форелі з ікринок для різних варіантів температури води: 1) +5; 2) +6; 3) +7; 4) +8; 5) +9; 6) +10 градусів.

Завдання 5. Сформулюйте основні екологічні правила (закономірності), що характеризують характерні адаптації гомойотермних тварин до температурних умов середовища:

Правило Бергмана

Правило Алена

Правило Глогера

Правило Гессе

Закон покривів тіла

Питання для самоконтролю

1. На які групи поділяють екологічні чинники?
2. В чому полягає значення температурного фактору для організму?
3. Що являє собою пасивна й активна терморегуляція і яким організмам вона властива?
4. Чим небезпечні для організмів високі температури?
5. Чим небезпечні для організму негативні температури?
6. Яку температуру називають фізіологічним нулем?
7. Що являє собою сума ефективних температур?
8. Як можна користуватися сумою ефективних температур при штучному розведенні риб?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 АУТЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО ВИДУ

Мета роботи: засвоїти основні закономірності аутекології та на прикладі певного біологічного виду надати його розгорнуту аутекологічну характеристику.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- розуміти основні принципи взаємодії живих організмів різних рівнів філогенетичної спорідненості між собою та навколишнім середовищем;
- розуміти механізми дії хімічних речовин, фізичних полів і біологічних агентів на життєдіяльність організмів.

4.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Аутоекологія, (факторіальна екологія, екологія видів) – розділ екології, що вивчає взаємовідносини окремих видів організмів з довкіллям. Ауतेкологія – розділ екології, що вивчає вплив чинників довкілля на окремі організми, популяції і види (рослин, тварин, грибів, бактерій).

Саме як аутекологію розумів екологію її засновник Е. Геккель. По суті аутекологом був і Ч. Дарвін – автор теорії пристосування організмів до умов навколишнього середовища шляхом природного відбору.

Завдання аутекології – виявлення фізіологічних, морфологічних і інших пристосувань (адаптації) видів до різних екологічних умов: режиму зволоження, високим і низьким температурам, засоленню ґрунту (для рослин). Останніми роками в аутекології з'явилося нове завдання – вивчення механізмів реагування організмів на різні варіанти хімічного і фізичного забруднення (включаючи радіоактивне забруднення) середовища.

Кожен вид має свої специфічні вимоги до умов навколишнього середовища і здатність витримувати несприятливі умови. Натомість існують декілька загальних екологічних правил – принципів аутекології, які проявляються у всіх організмів.

Теоретична основа ауतेкології – її закони.

Перший закон ауतेкології – закон оптимуму: по будь-якому екологічному чиннику будь-який організм має певні межі поширення (межі толерантності). Як правило, в центрі ряду значень чинника, обмеженого межами толерантності, лежить область найсприятливіших умов життя організму, при яких формується найбільша біомаса і висока щільність популяції. Навпаки, біля кордонів толерантності розташовані зони пригноблення організмів, коли падає щільність їх популяцій і види стають найуразливішими до дії несприятливих екологічних чинників, включаючи і вплив людини.

Другий закон ауतेкології – індивідуальність екології видів: кожен вид по кожному екологічному чиннику розподілений по-своєму, криві розподілів різних видів перекриваються, але їх оптимуми різняться. З цієї причини при зміні умов середовища в просторі (наприклад, від сухої вершини горба до вологої балки) або в часі (при пересиханні озера, при посиленні випасу, при заростанні скель) склад екосистем змінюється поступово. Відомий російський еколог Л. Г. Раменський сформулював цей закон образно: «Види – це не рота солдатів, що марширують в ногу».

Третій закон ауतेкології – закон лімітуючих (що обмежують) чинників: найважливішим для розподілу виду є той чинник, значення якого знаходяться в мінімумі або максимумі. Наприклад, в степовій зоні лімітуючим чинником розвитку рослин є зволоження (значення знаходиться в мінімумі) або засолення ґрунту (значення знаходиться в максимумі), а в лісовій – її забезпеченість живильними елементами (значення знаходиться в мінімумі).

Закони ауतेкології широко використовуються в сільськогосподарській практиці, наприклад, при виборі сортів рослин і порід тварин, яких найдоцільніше вирощувати або розводити в конкретному районі.

4.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Сформулюйте основні аутекологічні закономірності:

1. Закон мінімуму Лібіха.
2. Принцип екологічної толерантності Шелфорда.
3. Закон сукупної дії факторів.

Завдання 3. По конкретному виду хребетної тварини з Червоної книги України (риби, амфібії, рептилії чи ссавцю) необхідно представити наступну біоекологічну інформацію:

Назва виду: українська, латинська.

Ареал виду: текстовий опис області розповсюдження + карта України з позначенням місць мешкання.

Біологічні особливості: типові розміри і окрас (зробити малюнок), термін життя, період розмноження, чисельність популяцій.

Особливості середовища мешкання: біотопи (характерні місця мешкання), вимоги виду до абіотичних факторів (температури, вологості, світлу та ін.), лімітуючі фактори.

Трофічний статус: чим харчується, трофічний рівень, вороги (вид як об'єкт живлення для інших тварин), місце в трофічній мережі.

Природоохоронний статус: категорія рідкості Червоної книги України. Наявність виду у міжнародних Червоних списках. Причини зменшення чисельності. Заходи з охорони виду.

Біологічна роль виду.

Господарське значення виду.

Питання для самоконтролю

1. Яку проблематику охоплює аутоекологія (факторіальна екологія)?
2. В чому полягає принцип екологічної толерантності?
3. Як називають екологічні групи організмів, що мають вузьку та широку екологічну толерантність?
4. Розтлумачте сутність закону мінімуму Лібіха.
5. Як проявляється комплексна дія екологічних факторів?
6. Які чинники навколишнього середовища називають лімітуючими?
7. Що визначає трофічний статус біологічного виду?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЧИСЕЛЬНОСТІ ТА ЩІЛЬНОСТІ ПОПУЛЯЦІЇ

Мета роботи: ознайомитися з методами оцінки чисельності та щільності популяції та на прикладах розрахувати показники розміру рослинних і тваринних популяцій.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- знати статистичні та динамічні параметри популяцій;
- розуміти основні принципи взаємовідношень між організмами, популяціями і угрупованнями між собою та навколишнім середовищем.

5.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Кожен біологічний вид представлений в природі окремими внутрішньовидовими групами особин – популяціями, які упродовж тривалого існування займають певну територію (популяційний ареал) та зберігають свою специфічну просторову, статево-вікову, етологічну структуру. Популяції завжди більш-менш ізольовані одна від іншої географічними чи біологічними бар'єрами. Пристосовуються до навколишнього середовища і еволюціонують не окремі

біологічні види чи окремі особини, а саме популяції. Тому популяція є основною біологічною та екологічною одиницею мікроеволюційного процесу.

Величина популяції визначається розмірами популяційного ареалу, чисельністю та щільністю. Чисельність популяції – кількість особин однієї популяції на всій території або в усьому об'ємі (води, ґрунті). Щільність популяції – кількість особин на одиницю площі або об'єму.

Існують різні методи оцінки чисельності та щільності популяцій:

1. **Метод прямого підрахунку** можна застосовувати у випадку великих добре помітних нечисленних організмів. При цьому вони можуть бути як малорухомими (наприклад, дерева), так і великими тваринами, що швидко рухаються (наприклад, олені, леви, великі птахи). Прямий підрахунок може проводитися за допомогою дистанційних методів спостереження. Наприклад, чисельність кажанів визначають за допомогою дистанційних акустичних детекторів.

2. **Метод пробних площадок** є найпоширенішим способом визначення щільності, на підставі якого можна оцінити й загальну чисельність популяції. Розмір території, на якій здійснюється підрахунок, залежить передусім від розміру особин (мураха чи олень), можливостей їх підрахунку (нерухоме дерево і рухлива тварина), типів просторового розподілу. Для великих хижаків площа підрахунку може сягати 100 км². Для підрахунку дерев, вивірок чи мурашників можна взяти площу 1 га, тоді як для личинок травневого хруща чи дощового черв'яка — 1 м². У водному середовищі або ґрунті поряд з одиницею площі для дрібних і мікроскопічних мешканців беруть одиницю об'єму 1 дм³ або 1л, 1 см³ або 1 мл. Крім площадок, можна використовувати трансекти або маршрути, коли обраховують кількість особи, які зустрілися на певному відрізку протягом певного часу.

3. **Метод мічення і повторного відлову** є зручним для оцінки загальної чисельності популяцій рухливих дрібних тварин (наприклад, мурах у мурашнику). Суть його полягає у тому, що виловлюють певну кількість тварин, і після мічення їх випускають на волю. Через певний час проводять повторні вилови, і за часткою, яку складають серед пійманих особин мічені, розраховують загальну чисельність популяції. Для розрахунку загальної чисельності популяції N використовують індекс Лінкольна:

$$N = \frac{M(n+1)}{m+1},$$

де M – кількість тварин у першому вилові, n – кількість тварин у другому вилові, m – кількість тварин у другому вилові, що були помічені.

4. **Метод вилучення.** При використанні цього методу для малих територій проводять серію виловів, тимчасово вилучаючи невелику частину популяції. На

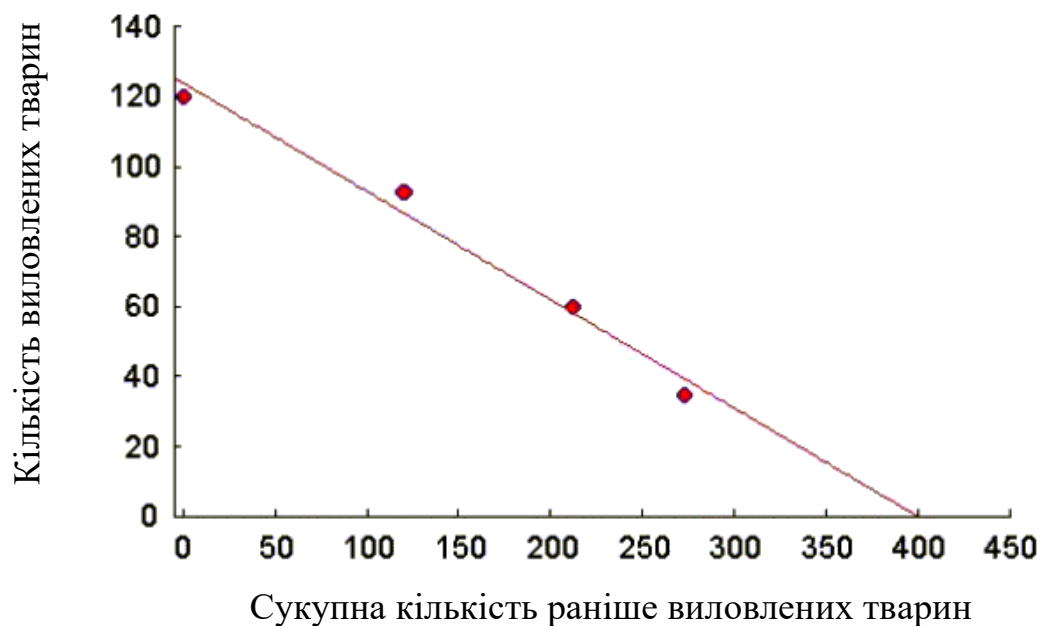
основі отриманих даних будують графік, який показує тенденцію до зменшення популяції в процесі вилучення частини популяції. Графік дозволяє орієнтовно визначити загальну чисельність популяції.

Приклад. У серії з чотирьох послідовних разів вилов сачком комах певного виду на галявині у лісі було зареєстровано 120, 93, 60 і 35 особин. Необхідно оцінити загальний рівень чисельності популяції цих комах на галявині. Представимо результати вилову у таблиці:

Таблиця 5.1 – Результати вилову комах певного виду на галявині у лісі

Номер вилову	Кількість виловлених тварин (вісь Y)	Сукупна кількість виловлених раніше тварин (вісь X)
1	120	0
2	93	0 + 120 = 120
3	60	0 + 120 + 93 = 213
4	35	0 + 120 + 93 + 60 = 273

Представимо результати вилову на графіку:



Загальна чисельність популяції на графіку визначається у місці перетину лінії апроксимації точок з віссю X, тобто це приблизно 400 особин.

З метою уникнення негативного впливу стресу при вилові, розроблено методи дистанційного мічення. Наприклад, застосовують нетоксичні барвники при відвідуванні птахами гнізд або водопоїв.

Крім абсолютних величин оцінки щільності популяції на практиці часто зручно використовувати відносні показники щільності:

1. Частота зустрічальності – міра ймовірності (шансу) виявити особину певного виду у випадково закладеному квадраті (ділянці). Наприклад, якщо було виявлено особину в одному з 10 випадково закладених квадратів, то частота зустрічальності буде становити 10%. Слід пам'ятати, що на точність цього методу впливає площа обраного квадрату.

2. Покриття (або проективне покриття) – величина, яка вказує на частку площі у відсотках, яку займає даний вид. Фактично, ця величина відображає екологічну щільність популяції. Традиційно проективне покриття визначають для рослин.

5.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Визначте частоту виду рослини, якщо він був виявлений у 86 квадратах з 200.

Завдання 3. В невеликому озері було виловлено 625 особин форелі. Вони були помічені і знов випущені. Через тиждень в озері виловлено 873 особин форелі, з яких у 129 виявлено мітки. Визначте приблизну чисельність популяції форелі.

Завдання 4. Визначте за методом вилучення приблизну чисельність популяції пуголовок ропухі у ставку (заповніть таблицю і побудуйте графік), виходячи з наступних даних:

Таблиця 5.2 – Результати чисельності популяції пуголовок ропухі у ставку

№ вилову	Кількість тварин у вилові	Кількість вилучених тварин
1	123	
2	89	
3	68	
4	37	

Питання для самоконтролю

1. Дайте розгорнуте визначення популяції.
2. Якими характеристиками можна описати будь-яку популяцію?
3. Чим чисельність відрізняється від щільності популяції?
4. В чому полягає сутність метода пробних ділянок для оцінки розміру популяції?
5. З якою метою використовується метод мічення і повторного вилову?
6. В яких випадках використовується метод вилучення в оцінці розміру популяції?
7. Які існують відносні показники щільності популяції?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЧИСЕЛЬНОСТІ ПОПУЛЯЦІЇ

Мета роботи: ознайомитись з рівнянням динаміки популяції і на прикладах розрахувати зростання популяцій бактерій і тварин.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати статистичні та динамічні параметри популяцій;
- застосовувати екологічні знання при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

6.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Динамічні параметри популяції на відміну від статичних відображують не стан популяції, а процеси, що відбуваються в популяції з часом. Основними популяційними динамічними параметрами є приріст популяції, народжуваність, смертність, еміграція, імміграція. Якщо чисельність популяції є постійною, то сталість цього параметру є результатом динамічної рівноваги процесів надходження – вибуття особин з популяції.

У загальному вигляді співвідношення процесів, що визначають динаміку чисельності популяцій, можна записати як:

$$\text{Приріст популяції} = \Delta N = N_{t1} - N_{t2} = \left(\begin{array}{c} \text{народження особин} \\ + \\ \text{імміграція особин} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{смертність особин} \\ + \\ \text{еміграція особин} \end{array} \right)$$

Будь яка популяція кожного виду має здатність до необмеженого росту чисельності. Для кожного виду можна розрахувати максимально можливий приріст популяції (наприклад, у лабораторних оптимальних умовах), коли дія обмежуючих чинників є відсутньою. При цьому ріст популяції буде відбуватися за експоненційною кривою. Рівняння експоненційної кривої можна записати як:

$$N_t = N_0 e^{rt},$$

де N_t – чисельність популяції на момент часу t , N_0 – початкова чисельність популяції, e – основа натурального логарифму, r – коефіцієнт швидкості росту кривої.

Швидкість росту чисельності популяції буде найбільше залежати від величини коефіцієнту r (репродукційного потенціалу), який є специфічним для кожного біологічного виду.

В популяційній екології необмежене зростання чисельності популяції має назву *J*-подібний ріст (рис. 6.1, *a*). При цьому швидкість росту буде постійною, а її величина – пропорційною величині репродукційного потенціалу r .

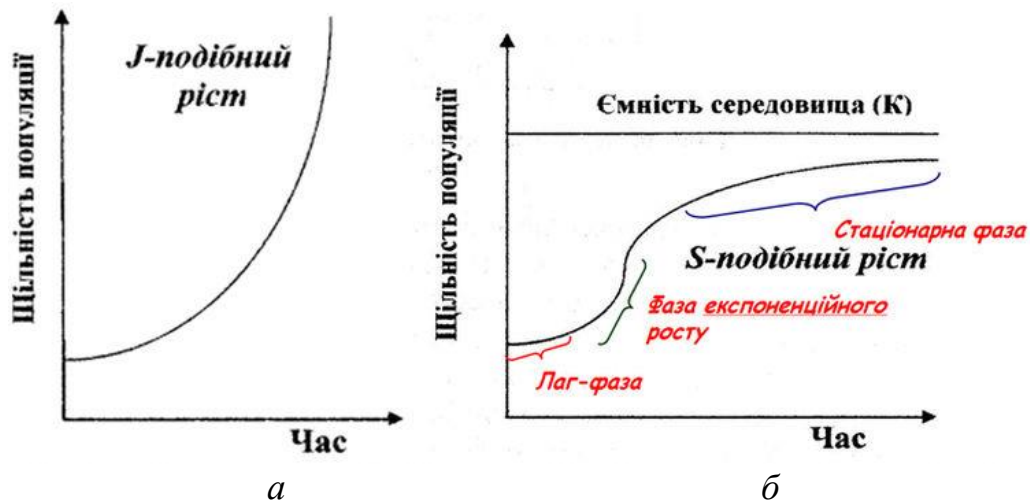


Рис. 6.1 – Графічне зображення *J*-подібного (*a*) та *S*-подібного росту (*б*) чисельності популяції

Найчастіше у природі при зростанні чисельності організмів включаються механізми зворотного зв'язку, які починають поступово пригнічувати народжуваність. При цьому чисельність популяції стабілізується на певній величині, що відповідає максимально можливій. Ця величина отримала назву ємності середовища K – максимальна можлива чисельність популяції, потреби якої можуть бути задоволені ресурсами даної екосистеми. Така крива росту чисельності характеризується *S*-подібною формою (рис. 6.1, *б*). *S*-подібну криву умовно можна розділити на певні фази, що відображують специфіку внутрішньо популяційних процесів.

На підставі типів кривих росту виділяють дві стратегії росту популяцій.

Перша стратегія – це так звана опортуністична популяція (від лат. *Opportunus* – зручний, вигідний) (рис. 6.2, *a*). Її ріст супроводжується вибухоподібним експоненційним ростом чисельності (популяційний вибух), що згодом призводить до краху чисельності популяції. Такими є, наприклад, популяції однорічних рослин – типових бур'янів, які швидко ростуть навесні і влітку на свіже виораному полі. Або комахи – сільськогосподарські шкідники (сарана, сосновий та непарний шовкопряди).

Друга стратегія – рівноважна популяція, яка характеризується *S*-подібною кривою росту (рис. 6.2, *б*). Чисельність в такій популяції зупиняється на певному рівні. Час від часу вона може виходити за цю межу. Але завдяки механізмам зворотного зв'язку запускаються процеси, які повертають чисельність популяції до рівноважного рівня. Такий тип популяції характерний для багатьох великих хребетних тварин, дерев з тривалим життєвим циклом.

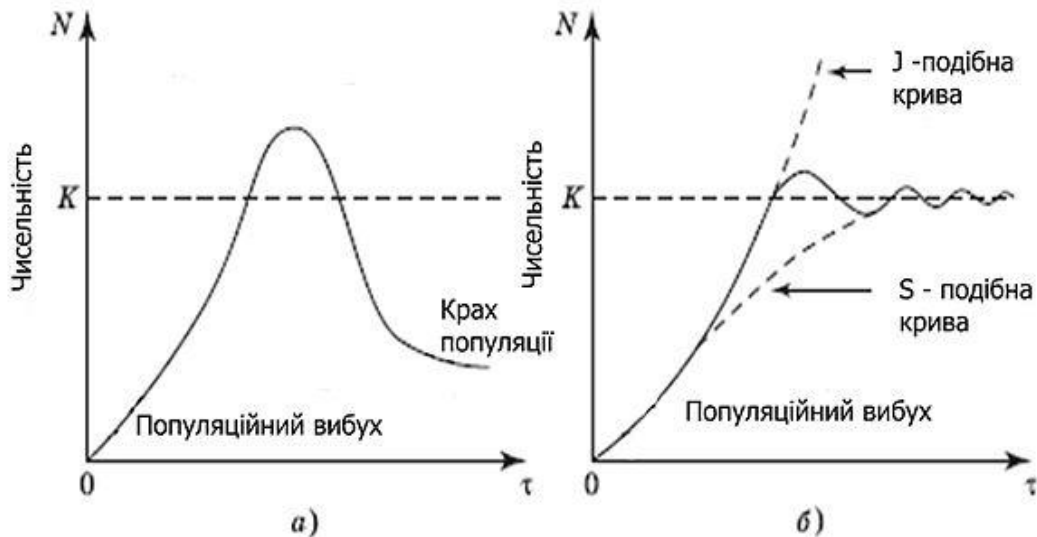


Рис. 6.2 – Характер росту чисельності опортуністичної (а) та рівноважної (б) популяції

6.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Бактерії здатні дуже швидко розмножуватись. Кожні півгодини шляхом поділу з однієї бактеріальної клітини утворюються дві. Якщо одну бактерію помістити в ідеальні умови з необмеженими ресурсами, то за добу її потомство складатиме 2811474976710700 клітин. Така кількість бактерій заповнить ємність 0,25 л. Який час повинен пройти, щоб бактерії зайняли ємність 0,5 л.

Завдання 3. Проілюструйте на генеалогічній схемі і на графіку зростання популяції польових мишей за 150 днів, виходячи з наступних умов:

- на перший день у наявності дві миші – одна пара віком 30 днів;
- мишки розмножуються у віці 30 днів;
- мишки народжуються у віці 51 дня батьків, тобто вагітність триває 21 день;
- кожна пара мишей мають 6 особин у приплоді – 3 самця і 3 самки, що утворює 3 пари, готових до розмноження через 30 днів.

Питання для самоконтролю

1. Що таке приріст популяції і як його розраховують?
2. У чому полягає різниця між імміграцією та еміграцією?
3. Чим відрізняється експоненціальне, лінійне та нульове зростання?
4. Чим характерний і для кого властивий *J*-подібне зростання популяції?
5. Чим характерний і для кого властивий *S*-подібне зростання популяції?
6. Як у природі відбувається саморегуляція чисельності популяції?
7. Які фактори стримують необмежене зростання популяції?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

ТИПИ ВЗАЄМОВІДНОСИН МІЖ ОРГАНІЗМАМИ В БІОЦЕНОЗІ

Мета роботи: ознайомитись з поняттям біоценозу і типами біотичних відносин між організмами.

В результаті виконання даної практичної роботи буде сформований наступний **результат навчання:** розуміти основні принципи взаємовідношень між організмами, популяціями і угрупованнями між собою та навколишнім середовищем;

7.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Біоценоз (біологічне угруповання) – стала сукупність рослин (продуцентів), тварин (консументів) і мікроорганізмів (редуцентів), що населяють певну ділянку суші або водойми і мають складні відносини як між собою, так і з абіотичними факторами. Прикладом біоценозів можуть бути ліс, луки, степ, болото, сільськогосподарські угіддя тощо. Основною функцією біоценозів є здійснення біологічного круговороту речовин в екосистемі.

Кожен біоценоз, наземний або водний, можна описати певними характеристиками, його базовими параметрами: склад основних біологічних видів, співвідношення видів (домінанти, субдомінанти), просторова горизонтальна структура, просторова вертикальна структура (ярусність), первинна біомаса (рослини), вторинна біомаса (тварини), приріст біомаси за рік (продукція), стадія розвитку біоценозу.

Виокремлюють такі основні типи зв'язків між популяціями різних видів у екосистемах:

- прямі зв'язки – безпосередньо пов'язують дві популяції (наприклад, хижак і здобич, паразит і хазяїн);
- непрямі зв'язки – популяція одного виду впливає на популяцію іншого опосередковано, через популяції третього (наприклад, хижаки, поїдаючи здобич, впливають на популяції рослин);
- трофічні зв'язки – це зв'язки живлення (наприклад, хижак – здобич);
- топічні зв'язки – це просторові зв'язки (наприклад, орхідеї на стовбурах дерев);
- фабричні зв'язки – це зв'язки, пов'язані з наданням середовища чи притулку (наприклад, дятел робить дупла в стовбурі дерев, зелені водорості живуть у шерсті лінивців);
- форичні зв'язки – це зв'язки, пов'язані з перенесенням особинами одних видів особин іншого виду (наприклад, перенесення насіння й плодів рослин, яким властива зоохорія);
- антибіотичні взаємозв'язки (хижацтво, конкуренція, виїдання) – кожна із взаємодіючих популяцій різних видів відчуває негативний вплив іншої;

– нейтральні взаємозв'язки – існування на спільній території популяцій різних видів не спричиняє для кожної із них жодних наслідків (наприклад, хижаки різних видів);

– симбіотичні взаємозв'язки (мутуалізм, коменсалізм, паразитизм) – усі форми співіснування організмів різних видів (наприклад, бульбочкові бактерії і бобові рослини).

7.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Дайте визначення і наведіть приклади основних біоценотичних зв'язків з малюнками:

- 1) Трофічні зв'язки (наведіть приклади для суші і водойми).
- 2) Топічні зв'язки.
- 3) Форичні зв'язки (зоохорія і форезія).
- 4) Фабричні зв'язки.

Завдання 3. На окремому аркуші заповніть таблицю 7.1 основних біотичних взаємовідносин між організмами. У прикладах наведіть малюнки.

Таблиця 7.1 – Основні біотичні взаємовідносини між організмами

Тип біотичних відносин	Код + – 0 (+ користь, – шкода, 0 нейтрально)	Приклади для рослин	Приклади для тварин
хижацтво			
паразитизм			
конкуренція			
аменсалізм			
коменсалізм			
протокооперація			
мутуалізм			
нейтралізм			

Питання для самоконтролю

1. Що таке біоценоз і які складові компоненти є для нього обов'язковими?
2. Чим пояснюється схожість біоценозів на різних континентах Землі?
3. Якими базовими характеристиками можна описати будь-який біоценоз?
4. В чому полягає сутність трофічних, топічних, форичних і фабричних зв'язків в біоценозі?
5. На які групи можна розділити типи міжвидових біотичних відносин?
6. Як позитивно впливають на біоценоз негативні типи біотичних зв'язків?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8 ТРОФІЧНА СТРУКТУРА БІОЦЕНОЗУ

Мета роботи: ознайомитись з поняттями трофічних ланцюгів і трофічних мереж, а також проаналізувати харчові мережі змішаного лісу і степу.

В результаті виконання даної практичної роботи буде сформований наступний **результат навчання:** знати особливості структури екосистеми, закономірності просторового розміщення біоценозів, видові та трофічні структури біоценозу.

8.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

У природі відбувається безперервний колообіг біогенних речовин, необхідних для життя. Автотрофи за допомогою фотосинтезу створюють органічні речовини, якими живляться гетеротрофи, а редуценти знов їх мінералізують. Таким чином, у процесі еволюційного розвитку життя в екологічних системах склалися певні ланцюги живлення (трофічні; грец. «*трофо*» – живлення). *Ланцюг живлення (трофічний ланцюг)* – послідовність груп організмів, кожна з яких (ланка ланцюга) є поживою для наступної, тобто поєднана зв'язками їжа – споживач. На базі трофічних зв'язків виникають ланцюги живлення, що включають групи організмів, у яких одні поїдають інших. До будь-якої екосистеми входить кілька трофічних рівнів або ланок ланцюга. На основі ланцюгів живлення складається екологічна піраміда (рис. 8.1).

Ланцюг живлення, як правило, складається з 2-5 ланок і включає представників продуцентів, консументів і редуцентів:



Рис. 8.1 – Узагальнена схема трофічної структури наземного біоценозу

Існує два основних типи трофічних ланцюгів – *пасовищні та детритні*. У пасовищних трофічних ланцюгах (ланцюгах виїдання) основу складають автотрофні організми – *продуценти* (головним чином рослини), потім йдуть споживачі їх рослиноїдні тварини – *консументи 1 порядку* (наприклад, зоопланктон, що живиться фітопланктоном), потім – хижаки *консументи 2-го порядку* (наприклад, риби, споживачі дрібних риб), далі – хижаки *консументи 3-го порядку* (наприклад, хижі риби, такі як щука, що живиться іншими рибами). Особливо довгі харчові ланцюжки в океані, де багато видів (наприклад, тунці, акули) займають місце *консументів 4-го порядку*. Детритні трофічні ланцюги (ланцюги розкладання) починаються з органічних залишок (детриту), якими харчуються організми *редуценти*, а потім йдуть тварини, що їх поїдають.

Зазвичай для кожної ланки ланцюгу живлення можна вказати не одну, а декілька інших ланок, пов'язаних з нею відношенням «їжа – споживач». Встановлення таких зв'язків перетворює харчовий ланцюжок на складнішу структуру – *харчову або трофічну мережу*.

8.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Проаналізуйте трофічну мережу змішаного лісу і степу (рис. 8.2 – 8.4), по кожній екосистемі складіть декілька ланцюгів живлення пасовищного і детритного типу та визначте трофічний рівень кожного виду.



Рис. 8.2 – Спрощена трофічна мережа екосистеми змішаного лісу



Рис. 8.3 – Спрощена трофічна мережа екосистеми степу



Рис. 8.4 – Спрощена трофічна мережа екосистеми пустелі

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає роль трофічних зв'язків у функціонуванні екологічної системи?
2. Чим відрізняються трофічні ланцюги від трофічних мереж?
3. В чому полягає особливість детритних трофічних ланцюгів?
4. Як впливає складність трофічних мереж на стабільність екосистеми?
5. Які екологічні групи організмів входять до трофічних ланцюгів і мереж?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9 ЕКОЛОГІЧНІ ПІРАМІДИ. ПРАВИЛО 10 ВІДСОТКІВ

Мета роботи: ознайомитись з поняттям і типами екологічних пірамід та засвоїти розв'язування задач на основі правила десяти відсотків.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати загальну схему трансформації енергії в екосистемах; розуміти роль біоценозу в кругообігу речовин та енергії в екосистемах;
- знати особливості структури екосистеми, закономірності просторового розміщення біоценозів, видові та трофічні структури біоценозу.

9.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Екологічна піраміда (або трофічна піраміда, харчова піраміда) – графічне подання зміни кількості, біомаси або біопродуктивності на кожному трофічному рівні екосистеми.

Розрізняють три типи екологічних пірамід: *піраміда чисел* відображає чисельність окремих організмів на кожному рівні; *піраміда біомаси* – кількість органічної речовини, синтезованої на кожному з рівнів; *піраміда енергії* – величину потоку енергії на всіх трофічних рівнях.

Правило екологічної піраміди (правило 10%) – продукція організмів кожного наступного трофічного рівня завжди менша у середньому в 10 разів за продукцію попереднього. Тобто маса кожної подальшої ланки ланцюга живлення прогресивно зменшується.



9.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Побудуйте піраміду біомаси озера в зимовий і весняний періоди за даними табл. 9.1. Поясніть, чому в зимовий період екологічна піраміда

«перегортається». Користуючись правилом екологічної піраміди (правилом 10%) виконайте розрахункові завдання.

Таблиця 9.1 – Дані біомаси озера в зимовий і весняний періоди

Екологічні групи організмів	Біомаса, г/м ³	
	Зима	Весна
Продуценти (фітопланктон)	2	100
Консументи 1-го порядку (зоопланктон, риби фітофаги)	10	12
Консументи 2-го порядку (риби зоофаги)	3	6

Завдання 3. Побудуйте піраміди чисельності і біомаси трофічного ланцюгу трава – сарана – жаба – вуж – яструб за наступними даними. Маса одного пагону трави складає 5 г., однієї сарани – 1 г., жаби – 10 г., вужа – 200 г., яструба – 2000 г. Кількість особин розрахуйте з урахуванням річного врожаю трави 40 тонн.

Завдання 4. Визначте скільки потрібно фіто- та зоопланктону, а також риби, щоб в морі виріс один дельфін масою 200 кг.

Завдання 5. Визначте скільки потрібно зерна, щоб у лісі виріс один філін масою 3,5 кг, якщо ланцюг живлення має вигляд: зерна злаків, миша-полівка, тхір, філін.

Завдання 6. Визначте скільки орлів може вирости при наявності 10 тонн злакових рослин, якщо ланцюг живлення має вигляд: злаки, саранові комахи, комахоїдні птахи, орел. Маса одного орла 5 кг.

Завдання 7. Визначте площу (м²) біотопу, на якому може прохарчуватися вовк масою 55 кг., якщо ланцюг живлення має вигляд: трава, копитні, вовк. Біомаса трави складає 2000 г/м².

Завдання 8. Вага кожного з двох новонароджених кажанів складає 1 г. За місяць харчування молоком вага кожного з них досягає 4,5 г. Визначте яку масу комах повинна спожити самка кажана за місяць, щоб викормити своє потомство, а також яка маса рослин було збережено за рахунок знищення кажаном комах фітофагів.

Завдання 9. Якщо припустити, що вовчєня з місячного віку маючи масу 1 кг. харчується виключно зайцями (середня маса 2 кг), то розрахуйте яку кількість зайців з'їсть вовк до досягнення їм маси 40 кг. і яку масу рослин з'їли ці зайці.

Питання для самоконтролю

1. На які типи поділяють екологічні піраміди?
2. В чому полягає правило десяти відсотків?
3. Чому в екологічних пірамідах зазвичай не буває більше шести ланок?
4. Чому в зимовий період екологічна піраміда водойми «перегортається»?
5. Як можна використовувати правило десяти відсотків у тваринництві та рибному господарстві?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10 ДИНАМІКА ЕКОСИСТЕМ. СУКЦЕСІЇ БІОГЕОЦЕНОЗІВ

Мета роботи: ознайомитись з поняттями біогеоценозу і екосистеми та закономірностями сукцесійного розвитку лісового біогеоценозу в природних умовах.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

– знати особливості структури екосистеми, закономірності просторового розміщення біоценозів, видові та трофічні структури біоценозу;

– вміти застосовувати та прогнозувати ефективність та наслідки реалізації природоохоронних заходів відповідно екологічного імперативу та концепції сталого розвитку.

10.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Біогеоценоз – функціональне поєднання на певній однорідній ділянці земної поверхні живих істот (рослин, тварин, грибів, мікроорганізмів) і середовищ їхнього існування (грунтового, атмосферного, водного), між якими, а також між ними і навколишнім біотичним та абіотичним середовищами відбувається обмін речовиною та енергією. Сукупність живих компонентів біогеоценозу називається *біоценозом*, а неживих – *біотопом*.

Вперше термін біогеоценоз увів в 40-х рр. ХХ ст. В.М. Сукачов. Біоценоз споріднений з поняттям «екосистема», введеним у науку 1935 році англійським ученим А. Тенслі. *Екосистема* – єдиний комплекс живих і неживих компонентів природи, в якому відбуваються процеси біологічного кругообігу і саморегулювання. Окреме невелике озеро, ліс, море, біосфера – це все екосистеми різного масштабу. Таким чином, екосистема – поняття «безрозмірне», а біоценоз – це окремий ранг екосистеми, що розташована на земній поверхні, коли її межі визначаються межами фітоценозу.

Формування певного біогеоценозу – тривалий динамічний процес. Під час цього розвитку, зміни екосистеми, ускладняється структура, зростає видове різноманіття, формуються цілісність, стійкість, здатність до самовідтворення та саморегулювання. Такі послідовні зміни екологічної системи отримали назву *сукцесія*.

Екологічні сукцесії (від лат. *succesio* – наступність) – спрямовані послідовні зміни угруповань організмів на певній ділянці середовища, що призводять до відновлення або перетворення екосистем відповідно до природних умов. Послідовність екосистем, що змінюють одна одну в процесі сукцесії, називається *сукцесійною серією*, а окрема екосистема – *стадією сукцесії*.

При визначенні сукцесії потрібно враховувати три аспекти:

1) сукцесія відбувається під дією співтовариства – біотичного компонента екосистеми. Діяльність співтовариства спричинює зміни у фізичному середовищі, яке визначає характер сукцесії, її швидкість і межу, якої може досягти розвиток;

2) сукцесія – це впорядкований розвиток екосистеми, пов'язаний зі зміною видової структури та процесами, що відбуваються у співтоваристві;

3) завершенням сукцесії є утворення стабільної екосистеми, в якій досягаються максимальна біомаса і максимальна кількість міжвидових взаємодій на одиницю потоку енергії

Сукцесії можуть бути первинними і вторинними. *Первинні сукцесії* – поява і розвиток угруповань організмів у тих місцях, де їх раніше не було, наприклад заселення вулканічної лави після її застигання *Вторинні сукцесії* – процес відновлення природної рослинності після певних порушень, наприклад відновлення лісів після пожеж, виверження вулканів, посухи, вирубування лісів тощо.

Сукцесії відбуваються внаслідок зміни умов проростання рослин під дією життєдіяльності організмів (*ендоєкогенетична сукцесія*) або зовнішніх причин, зокрема антропогенної діяльності (*екзоєкогенетична сукцесія*). Зміни одного фітоценозу іншим у ході сукцесії складають сукцесійний ряд, завершенням якого є утворення стійкого співтовариства. Це співтовариство перебуває у відносно стійкій рівновазі з середовищем.

До зміни екосистеми призводять висушування боліт, надмірні навантаження на ліси, розорювання земель, забруднення водойм тощо. Антропогенні дії часто призводять до спрощення екосистем. Такі явища називають *дигресіями* (лат. «*дигресіон*» – відхилення). Розрізняють, наприклад, пасовищні, рекреаційні та інші дигресії.

Сукцесії бувають *автотрофні* і *гетеротрофні*. В автотрофних сукцесіях центральною ланкою є рослинний покрив. До гетеротрофних належать сукцесії, що відбуваються в субстратах без живих рослин-продуцентів (беруть участь тварини та мертві рослини).

Найзагальнішими етапами екологічних сукцесій є такі:

- Етап формування *піонерних угруповань* (угруповання організмів, які існують на початку сукцесій). Вони, як правило, нестійкі, із незначним видовим різноманіттям, нескладними ланцюгами живлення, слабкою мінералізацією решток тощо.

- Етап формування *проміжних угруповань*, які також є нестійкими, але в них збільшується видове різноманіття, розгалужуються трофічні мережі тощо.

- Етап формування *зрілих (клімаксних) екосистем* з високим ступенем стійкості, найбільшим біорізноманіттям, максимальною кількістю біомаси, збалансованістю процесів продукції й мінералізації.

Отже, сукцесія складається зі *стадій росту, стабілізації і клімаксу*. Постійні зміни середовища ведуть до сукцесій біогеоценозів, кінцевою метою яких є досягнення стабільного стану.

10.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Замалюйте і опишіть приклади первинних і вторинних сукцесій.

Завдання 3. Процес формування клімаксного біогеоценозу може тривати десятки й сотні років: трави відновлюються за 1-10 років; чагарники – 10-25 років; листяний ліс – 25-100 років. Змодельуйте етапи формування клімаксного біогеоценозу в місцях, зруйнованих стихійним видобуванням бурштину в Україні.

Завдання 4. Заповніть порівняльну таблицю характеристик екосистем, що зростають і зрілих клімаксних екосистем.

Таблиця 10.1 – Порівняльна характеристика зрілих клімаксних екосистем і що зростають

Показник	Екосистема, що зростає	Зріла екосистема
Біологічна продукція (приріст біомаси)		
Видове різноманіття		
Структурне різноманіття		
Спеціалізація видів за нішами		
Розміри організмів		
Життєві цикли		
Швидкість біологічного кругообігу		
Напрямок природного відбору		
Внутрішній симбіоз (ступінь співдружності)		
Збереження біогенних речовин		
Стабільність		
Ентропія (ступінь неупорядкованості)		
Інформація		

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає схожість і різниця між поняттями екосистема і біогеоценоз?
2. Які компоненти входять до складу біогеоценозу?
3. В чому полягає сутність поняття сукцесія?
4. На які етапи можна розділити сукцесійний ряд?
5. На які типи можна поділити сукцесії?
6. Я формується сукцесійний ряд лісового біогеоценозу після пожежі?
7. В чому проявляються ознаки зрілої клімаксної екосистеми?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 11

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ З ТЕМАТИКИ

ГЛОБАЛЬНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ЛЮДСТВА

Мета роботи: засвоїти теоретичні і практичні аспекти проявів глобальних екологічних проблем людства на прикладах розрахункових задач.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- розуміти механізми дії хімічних речовин, фізичних полів і біологічних агентів на життєдіяльність організмів;
- застосовувати екологічні знання при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування;
- вміти застосовувати та прогнозувати ефективність та наслідки реалізації природоохоронних заходів відповідно екологічного імперативу та концепції сталого розвитку.

11.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Глобальні екологічні проблеми – це характерні для сучасного етапу розвитку людства суперечності найвищого, планетарного, загальнолюдського рівня, що відображають найважливіші тенденції розвитку людської цивілізації в контексті її зв'язків з природними ресурсами і станом довкілля. Екологічні проблеми зумовлені людською діяльністю, в процесі якої людина свідомо чи несвідомо порушувала наявні екологічні пропорції та рівновагу. Основною причиною виникнення глобальних екологічних проблем є нераціональне природокористування. У ХХ ст. загострилися проблеми мінеральних, енергетичних, земельних ресурсів, які через варварське їх використання вже не можуть забезпечувати потреб людства.

Сучасна екологічна криза характеризується комплексом проблем: зміна клімату внаслідок викидів парникових газів, зростання чисельності населення, виснаження природних ресурсів, недостатня кількість і забруднення прісної води, зникнення лісів та спустелення, зменшення біорізноманіття, ерозія ґрунтів, виснаження озонового шару у стратосфері, підвищення температури, урбанізація, поширення захворювань, пересихання річок тощо. Нині простежується тенденція загострення цих проблем, що може призвести до переростання екологічної кризи в екологічну катастрофу.

11.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Розрахувати зростання температури приземного шару атмосфери в результаті глобального потепління для певного населеного пункту чи країни та час, коли ця територія може бути затопленою від підйому рівня Світового океану, якщо збережеться існуюча потужність викидів CO_2 . Вихідні дані в табл. 11.1.

Завдання 3. Оцінити, через який проміжок часу виробництво продуктів харчування на планеті зменшиться у n разів як наслідок зростання площі пустель, якщо врожайність сільськогосподарських культур збережеться на сучасному рівні. Вихідні дані надані в табл. 11.2.

Завдання 4. Оцінити середній внесок однієї людини у забруднення Світового океану. Розрахувати, яка площа Світового океану щороку вкривається плівкою нафти від перевезення нафтопродуктів морським транспортом. Вихідні дані надані в табл. 11.3.

Завдання 5. Оцінити проміжок часу, через який вміст кисню в атмосфері зменшиться на $d = 1\%$ за умови збереження нинішньої тенденції розвитку людства. Вихідні дані надані в табл. 11.4.

Завдання 6. Оцінити внесок населення планети як окремих споживачів кисню до зменшення його концентрації. Вихідні дані надані в табл. 11.5.

Порядок виконання роботи до завдання 2.

Параметри і дані для розрахунків:

- інтенсивність сонячного випромінювання верхньої межі атмосфери – I , Дж/м²·с;
- середня величина альbedo земної поверхні – A ;
- константа Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴;
- радіус земної кулі – $r = 6400$ км.
- надходження CO_2 в атмосферу, що дорівнює ΔM , млрд. тонн/рік, а його вміст у тропосфері M , млрд. тонн.
- за відсутності CO_2 у тропосфері середня глобальна температура планети становила б T_T , К, нині – $T_H = 288$;
- за експертними оцінками підйом середньої глобальної температури планети на $3,6$ К може викликати підйом рівня Світового океану на $h=5$ м.

Порядок розрахунку.

Температура будь-якої планети визначається балансом між поглиненою частиною сонячного випромінювання (R_a) і відбитим випромінюванням (R_o). Кількість поглиненого випромінювання земною поверхнею пропорційна інтенсивності сонячного випромінювання (I), площі земної поверхні та частки випромінювання, що поглинається. Якщо частка відбитого випромінювання характеризується величиною альbedo землі (A), то частка поглиненого випромінювання є $I \cdot A$. У оцінках кількості поглиненого випромінювання потрібно використовувати не загальну площу земної кулі, а площу його проекції, тобто $\pi \cdot r^2$, де r – радіус землі. Тоді $R_a = \pi \cdot r^2 \cdot I \cdot (1 - A)$.

Інтенсивність випромінювання (втрати) будь-якого тіла визначається законом Стефана-Больцмана:

$$I_0 = \sigma \cdot T_T^4,$$

де σ – постійна Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$, Вт/м² · К⁴; T_T – температура випромінюючого тіла, К.

Загальна енергія, що втрачається землею, дорівнюватиме добутку цієї інтенсивності на площу поверхні земної кулі:

$$R_o = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sigma \cdot T_T^4.$$

Для стану, що встановився, приймаємо $R_a = R_o$.

Тоді

$$R_a = \pi \cdot r^2 \cdot I \cdot (1 - A) = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sigma \cdot T_T^4.$$

Звідси температура приземного шару повітря без урахування впливу атмосфери визначається за формулою:

$$T_T = \left[\frac{I \cdot (1 - A)}{4 \cdot \sigma} \right]^{1/4}, \text{ К.} \quad (11.1)$$

Викид кожного 1 млрд. тонн CO_2 в атмосферу викликає підвищення температури на:

$$\Delta T = \frac{T_H - T_T}{M}, \text{ К/млрд. тонн.} \quad (11.2)$$

При збереженні потужності емісії CO_2 в атмосферу на сучасному рівні підйом середньої глобальної температури на 3,6 К може статися за час:

$$t = \frac{3,6}{\Delta T \cdot \Delta M}, \text{ років.} \quad (11.3)$$

Таким чином, якщо збережеться існуюча потужність викидів CO_2 , жителі _____ можуть піти під воду (місто буде затопленим) через _____ років:
(країни/міста)

$$T = t \cdot \frac{H}{h}, \text{ років.} \quad (11.4)$$

Висновок: при заданих вихідних даних температура приземного шару повітря без урахування впливу атмосфери становитиме _____ К. При збереженні потужності емісії CO_2 в атмосферу на сучасному рівні територія _____
(країни/міста)

може піти під воду (бути затопленою) через _____ років.

Таблиця 11.1 – Вихідні дані до завдання 2

Варіант	Показники, необхідні для розрахунку					
	I , Дж/м ² ·с	A	ΔM , млрд. тонн/рік	M , млрд. тонн	H , м	Країна/місто
1	1400	0,33	7	711	4	Антильські острови
2	1350	0,355	6,5	600	200	Нова Зеландія
3	1390	0,345	7,95	630	31	Данія
4	1410	0,337	6,23	680	50	Нідерланди
5	1450	0,322	7,21	605	350	Австралія
6	1350	0,343	6,73	655	500	Ісландія
7	1460	0,359	7,45	705	30	Флорида
8	1380	0,335	6,17	607	880	Каліфорнія
9	1490	0,35	7,92	657	4,5	Майямі
10	1370	0,33	6,66	707	380	о. Сардинія
11	1300	0,323	6	619	680	о. Корсика
12	1415	0,342	7,37	601	222	Мальта
13	1360	0,346	7,84	640	800	о. Тасманія
14	1340	0,321	6,74	690	490	Норвегія
15	1420	0,329	6,19	615	1,5	Мальдівські острови
16	1330	0,358	7,41	665	9	Ямайка (м. Кінгстон)
17	1430	0,332	6,69	700	4	Новий Орлеан (США)
18	1470	0,34	7,75	617	27	Дакар (Лівія)
19	1320	0,325	6,21	667	13	Брюссель (Бельгія)
20	1440	0,339	7,38	717	7	Рига (Латвія)
21	1480	0,354	7,76	609	82	Берлін (Німеччина)
22	1310	0,333	6,68	720	68	Каїр
23	1500	0,341	7,5	650	25	Буенос-Айрес
24	1405	0,353	6,12	695	15	Х'юстон (США)
25	1395	0,347	7,37	625	112	Вільнюс
26	1435	0,334	7,74	675	14	Санто-Домінго (Гаїті)
27	1335	0,348	6,29	610	12	Барселона (Іспанія)
28	1455	0,32	7,17	660	10	Ніца (Франція)
29	1385	0,327	6,94	635	20	Афіни (Греція)
30	1415	0,338	6,33	685	34	Багамські острови
31	1325	0,352	7,44	715	37	Рим (Італія)
32	1485	0,349	8	637	11,5	Бремен (Німеччина)
33	1365	0,326	6,59	687	4	Туніс
34	1495	0,357	7,48	620	10	Алжир
35	1425	0,351	7,05	670	25	Ізмір (Туреччина)

Порядок виконання роботи до завдання 3.

Враховуємо, що швидкість зростання пустель Світу через нераціональне природокористування досягає $v_{пуст} = 10-44$ га/хв. Приріст чисельності населення становить ΔN , млн. осіб/рік. Чисельність населення становить N , млн. осіб. Площа сільськогосподарських угідь, включаючи пасовища та рілля, становить S , млн. км².

Порядок розрахунку

Приріст чисельності населення у частках становить:

$$D = \frac{\Delta N}{N} \quad (11.5)$$

Оскільки кількість продуктів харчування пропорційна площі сільськогосподарських угідь, тому збільшення населення пропорційно зменшенню площ, за умови, що врожайність зберігається.

Швидкість зростання пустель протягом року становить:

$$v_{обц} = v_{пуст} \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365, \text{ га/рік.} \quad (11.6)$$

$V_{заг}, \text{ га/рік} \rightarrow \text{км}^2/\text{рік}.$

Виробництво продуктів харчування зменшиться в n разів через t років:

$$t = \frac{1}{n} \cdot \frac{(S - v_{обц} \cdot D)}{v_{обц}}, \text{ років.} \quad (11.7)$$

Висновок: при заданих вихідних даних виробництво продуктів харчування на планеті зменшиться в ____ разів (за умови, що врожайність сільськогосподарських культур збережеться на сучасному рівні) через ____ років.

Таблиця 11.2 – Вихідні дані до завдання 3.

Варіант	n	ΔN , млн. люд/рік	S , млн. км ²	N , людей	$v_{пуст}$, га/хв.
1	2	100	45	$6 \cdot 10^9$	19
2	1,5	90	44	$4,93 \cdot 10^9$	28
3	1,9	97	49	$11,56 \cdot 10^8$	10
4	1,6	103	53	$5,87 \cdot 10^9$	20
5	1,7	93,5	46,5	$4,25 \cdot 10^8$	29
6	1,8	100,5	51,9	$6,21 \cdot 10^9$	37
7	2,1	108,5	43,4	$9,44 \cdot 10^8$	11
8	2,2	91,5	50,5	$8,73 \cdot 10^8$	21

Варіант	n	ΔN , млн. люд/рік	S , млн. км ²	N , людей	$v_{\text{вист}}$, га/хв.
9	2,3	97,5	45,5	$5,83 \cdot 10^9$	30
10	2,4	91	51	$7,99 \cdot 10^8$	38
11	1,75	92	40	$4 \cdot 10^9$	12
12	2,5	101	47	$10,33 \cdot 10^8$	22
13	2,6	98	52	$5,26 \cdot 10^9$	31
14	2,7	94,5	40,5	$6,44 \cdot 10^9$	39
15	2,8	98,5	44,5	$9,56 \cdot 10^8$	13
16	2,9	104,5	49,5	$8,71 \cdot 10^8$	23
17	3,0	108	53,5	$10,57 \cdot 10^8$	32
18	2,25	95	42,7	$8,33 \cdot 10^8$	40
19	1,95	110	54,7	$5 \cdot 10^9$	14
20	2,55	107,5	51,5	$6,47 \cdot 10^9$	24
21	2	93	41	$4,83 \cdot 10^9$	33
22	1,5	99	46	$3,92 \cdot 10^9$	41
23	1,9	95,5	50	$8,75 \cdot 10^8$	15
24	1,6	102,5	55	$11,64 \cdot 10^8$	25
25	1,7	106,5	43,5	$5,39 \cdot 10^9$	34
26	1,8	105	48,5	$6,27 \cdot 10^9$	42
27	2,1	94	53,9	$9,63 \cdot 10^8$	16
28	2,2	90,5	47,5	$4,58 \cdot 10^9$	26
29	2,3	105,5	42	$5,74 \cdot 10^9$	35
30	2,4	109	54,5	$9,47 \cdot 10^8$	43
31	1,75	103,5	41,5	$6,66 \cdot 10^9$	17
32	2,5	96,5	49,6	$11,21 \cdot 10^8$	27
33	2,6	96	43	$4,69 \cdot 10^9$	36
34	2,7	104	42,5	$5,89 \cdot 10^9$	44
35	2,8	107	55,5	$9,55 \cdot 10^8$	18

Порядок виконання роботи до завдання 4.

Враховуємо, що на 1 км² поверхні океану доводиться m , тонни/км², відходів з суші. Радіус земної кулі становить $R = 6400$ км. Обсяг річних світових перевезень нафти морським транспортом становлять у середньому M , млрд. тонн. За оцінками експертів при таких перевезеннях до Світового океану потрапляє до $d = 1\%$ нафти і нафтопродуктів від кількості, що транспортується. Щільність нафтопродуктів $\rho = 0,87$ тонни/м³. Середня товщина плівки нафтопродуктів лежить на поверхні води становить h , мм.

Порядок розрахунку

1. Площа кулі знаходиться за формулою:

$$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2, \text{ км}^2. \quad (11.8)$$

де R – радіус Земної кулі, км.

Світовий океан займає $2/3$ площі земної кулі. Звідси площа Світового океану складає:

$$S_{ок} = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot S, \text{ км}^2. \quad (11.9)$$

2. Вклад кожної людини у забруднення Світового океану оцінюється за формулою:

$$q = \frac{(S_{ок} \cdot m)}{N}, \text{ тонни/осіб}, \quad (11.10)$$

де m – кількість відходів, що припадає на одиницю площі океану, тонни/км²; N – чисельність населення, осіб.

3. Визначаємо кількість нафтопродуктів, що потрапляють в океан, за формулою:

$$M_{нефть} = M \cdot d, \text{ тонни}, \quad (11.11)$$

де M – обсяг перевезень нафти та нафтопродуктів, млрд. тонн; d – частка нафти та нафтопродуктів, що втрачається під час транспортування, % → частка.

4. Визначаємо площу, зайняту нафтою та нафтопродуктами, за формулою:

$$S_{нефть} = \frac{M_{нефть}}{\rho \cdot h}, \text{ м}^2, \quad (11.12)$$

де ρ – щільність нафти та нафтопродуктів, тонни/м³; h – середня товщина плівки нафтопродуктів на поверхні води мм.

5. Визначаємо частку Світового океану, що щорічно покривається нафтою та нафтопродуктами через танкерні перевезення (без урахування аварій), за формулою:

$$D = \frac{S_{нефть}}{S_{ок}} \cdot 100\% , \quad (11.13)$$

$S_{ок}, \text{ км}^2 \rightarrow \text{м}^2.$

Висновок: При заданих вихідних даних щорічно нафтовою плівкою покривається ____ м² площі Світового океану. При цьому частка Світового океану, яка щорічно покривається нафтою та нафтопродуктами через танкерні перевезення (без урахування аварій), становить ____ %.

Таблиця 11.3 – Вихідні дані до завдання 4

Варіант	<i>m</i> , тонн	<i>M</i> , млрд. тонн	<i>h</i> , мм	<i>N</i> , осіб
1	16,0	9	1,05	6·10 ⁹
2	17,8	15,0	1,65	4,93·10 ⁹
3	19,6	10,7	1,83	11,56·10 ⁸
4	14,4	9,5	1,1	5,87·10 ⁹
5	16,2	15,5	1,7	4,25·10 ⁸
6	18,0	11,7	1,87	6,21·10 ⁹
7	19,8	10,0	1,15	9,44·10 ⁸
8	14,2	16,0	1,75	8,73·10 ⁸
9	16,4	12,7	1,67	5,83·10 ⁹
10	18,2	10,5	1,2	7,99·10 ⁸
11	15,0	16,5	1,8	4·10 ⁹
12	14,0	13,7	1,73	10,33·10 ⁸
13	16,6	11,0	1,25	5,26·10 ⁹
14	18,4	17,0	1,85	6,44·10 ⁹
15	15,2	14,7	1,97	9,56·10 ⁸
16	13,8	11,5	1,3	8,71·10 ⁸
17	16,8	17,5	1,9	10,57·10 ⁸
18	18,6	15,7	1,13	8,33·10 ⁸
19	15,4	12,0	1,35	5·10 ⁹
20	13,6	18,0	1,95	6,47·10 ⁹
21	17,0	16,7	1,23	4,83·10 ⁹
22	18,8	12,5	1,4	3,92·10 ⁹
23	15,6	18,5	1,17	8,75·10 ⁸
24	13,4	17,7	1,33	11,64·10 ⁸
25	17,2	13,0	1,45	5,39·10 ⁹
26	19,0	19,0	1,27	6,27·10 ⁹
27	15,8	18,7	1,43	9,63·10 ⁸
28	13,2	13,5	1,5	4,58·10 ⁹
29	17,4	19,5	1,37	5,74·10 ⁹
30	19,2	16,3	1,53	9,47·10 ⁸
31	14,8	14,0	1,55	6,66·10 ⁹
32	13,0	20,0	1,47	11,21·10 ⁸
33	17,6	12,3	1,63	4,69·10 ⁹
34	19,4	14,5	1,6	5,89·10 ⁹
35	14,6	20,5	1,57	9,55·10 ⁸

Порядок виконання роботи до завдання 5.

Нині у атмосфері міститься $M_{кис.}$, тонн кисню. Біологічні потреби населення планети в кисні (дихання) становлять V_b , млрд. m^3 /добу, а техносфера, що створена людиною, поглинає кисню близько V_t , млрд. m^3 /добу, не враховуючи спалювання викопного палива. Щорічно за рахунок спалювання викопного палива в атмосфері накопичується M , Гтонн вуглецю. Щільність кисню становить $\rho = 1,429 \text{ кг/м}^3$.

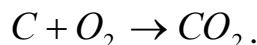
Порядок розрахунку

1. Біологічне та надбіологічне споживання кисню населенням планети за рік, без урахування спалювання викопного палива, визначаємо за формулою:

$$M_p = (V_b + V_t) \cdot \rho \cdot 365 \quad , \text{ кг}O_2/\text{рік}. \quad (11.14)$$

M_p , $\text{кг}O_2/\text{рік} \rightarrow \text{Гт}O_2/\text{рік}$.

2. Обсяг споживання кисню на окислення викопного палива (M_n) знаходимо за рівнянням реакції:



Атомарна маса вуглецю $M_c = 12$. Молекулярна маса кисню $M_{O_2} = 32$.

Отже, на окислення 12 ГтС/рік знадобиться 32 Гт O_2 /рік, а на окислення ΔM , ГтС/рік)буде потрібно (складаємо пропорцію):

$$\begin{aligned} 12 \text{ ГтС/рік} &- 32 \text{ Гт}O_2/\text{рік}, \\ \Delta M \text{ ГтС/рік} &- M_n, \text{ Гт}O_2/\text{рік}. \end{aligned}$$

Звідси знаходимо M_n , Гт O_2 /рік.

3. Сумарне споживання кисню за рахунок біологічних потреб та діяльності людини визначаємо за формулою:

$$M_s = M_p + M_n \quad , \text{ Гт}O_2/\text{рік}. \quad (11.15)$$

4. Час зменшення вмісту кисню в атмосфері на 1% за збереження нинішньої тенденції розвитку людства складе:

$$t = \frac{M_{кисл}}{M_s} \cdot d \quad , \text{ років}. \quad (11.16)$$

d , % \rightarrow частка.

Висновок: При заданих вихідних даних сумарне споживання кисню за рахунок біологічних потреб та діяльності людини становлять _____ Гт O_2 /рік. За збереження нинішньої тенденції розвитку людства для зменшення вмісту кисню в атмосфері на 1% потрібно _____ років.

Таблиця 11.4 – Вихідні дані до завдання 5

Варіант	$M_{\text{кисль}}$, тонн	V_b , млрд. м ³ /добу	V_v , млрд. м ³ /добу	ΔM , ГтС/рік
1	$1,2 \cdot 10^{15}$	2	60	5
2	$0,9 \cdot 10^{15}$	1,6	61,5	5,4
3	$0,8 \cdot 10^{15}$	1,85	64	5,9
4	$1,0 \cdot 10^{15}$	1,76	56,5	6,3
5	$1,1 \cdot 10^{15}$	2,46	63,7	6,7
6	$1,3 \cdot 10^{15}$	2,22	55,7	5,15
7	$0,85 \cdot 10^{15}$	1,7	59,1	5,65
8	$0,95 \cdot 10^{15}$	2,3	62,4	6,05
9	$1,05 \cdot 10^{15}$	1,65	61	6,45
10	$1,15 \cdot 10^{15}$	1,86	58,2	6,85
11	$1,25 \cdot 10^{15}$	2,05	60,5	5,1
12	$0,88 \cdot 10^{15}$	2,36	62	5,8
13	$0,98 \cdot 10^{15}$	1,92	55	6,4
14	$1,08 \cdot 10^{15}$	2,17	57,5	6,9
15	$1,18 \cdot 10^{15}$	1,8	61,7	5,35
16	$1,28 \cdot 10^{15}$	2,25	58,7	5,55
17	$0,87 \cdot 10^{15}$	2,06	65,4	5,95
18	$0,97 \cdot 10^{15}$	1,77	55,9	6,25
19	$1,07 \cdot 10^{15}$	2,37	56,8	6,65
20	$1,17 \cdot 10^{15}$	2,45	62,5	6
21	$1,27 \cdot 10^{15}$	1,66	63,5	5,2
22	$0,89 \cdot 10^{15}$	1,9	55,5	5,6
23	$0,99 \cdot 10^{15}$	2,35	57	6,1
24	$1,09 \cdot 10^{15}$	1,67	58,5	6,6
25	$1,19 \cdot 10^{15}$	2,07	60,7	7
26	$1,29 \cdot 10^{15}$	2,42	56,7	5,45
27	$0,86 \cdot 10^{15}$	2,1	61,4	5,85
28	$0,96 \cdot 10^{15}$	1,95	63,3	6,35
29	$1,06 \cdot 10^{15}$	2,26	56	6,95
30	$1,16 \cdot 10^{15}$	2,32	59,7	5,3
31	$1,26 \cdot 10^{15}$	1,75	63	5,7
32	$0,91 \cdot 10^{15}$	2,4	58	6,2
33	$1,11 \cdot 10^{15}$	2,15	57,7	6,8
34	$1,02 \cdot 10^{15}$	1,96	60,4	5,25
35	$0,92 \cdot 10^{15}$	2,47	64,5	5,75

Порядок виконання роботи до завдання 6.

Зміст кисню в атмосфері дорівнює M , тонни. Здатність біомаси виробляти кисень становить R , тонни/рік. Кількість кисню в атмосфері, незважаючи на продуктивність біомаси, зменшується в середньому на P , тонни/рік.

Населення нашої планети оцінюється в N , млрд. осіб. Середній обсяг легень людини становить $V_l = 4$ л. Середня частота дихання дорівнює $\nu_{cp} = 30$ дихання/хвилину. Середній обмін газу легенів дорівнює $F = 30\%$, вміст кисню повітря $S = 21\%$. Щільність кисню становить $\rho = 1,3$ кг/м³.

Порядок розрахунку

1. Визначаємо щорічне зменшення вмісту кисню в атмосфері за формулою:

$$\Delta M = R + P, \text{ тонн/рік.} \quad (11.17)$$

2. Визначаємо запас кисню в атмосфері, за збереження сучасного рівня його споживання, за формулою:

$$t = \frac{M}{\Delta M}, \text{ років.} \quad (11.18)$$

3. Визначаємо щохвилинне споживання кожною людиною кисню за формулою:

$$q = V_l \cdot \nu_{cp} \cdot F \cdot S, \text{ л/хв.} \quad (11.19)$$

F і $S\%$ → частки.

4. Визначаємо щорічне споживання кожною людиною кисню за формулою:

$$q_{год} = q \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365, \text{ л/рік.} \quad (11.20)$$

$q_{год}$, л/рік → м³/рік.

5. Визначаємо річне споживання кисню однією людиною за формулою:

$$Q = q_{год} \cdot \rho, \text{ кг/рік.} \quad (11.21)$$

Q , кг/рік → тонни/рік.

6. Визначаємо річне споживання кисню населенням планети за формулою:

$$Q_{сум} = Q \cdot N, \text{ тонн/рік.} \quad (11.22)$$

7. Визначаємо внесок людства у споживання кисню за формулою:

$$D_{чел} = \left(\frac{Q_{сум}}{\Delta M} \right) \cdot 100\%, \text{ \%}. \quad (11.23)$$

Висновок: При заданих вихідних даних щорічне зменшення вмісту кисню в атмосфері становить _____ тонн. При цьому запас кисню в атмосфері при

збереженні сучасного рівня його споживання складе _____ років. Щорічне споживання кисню населенням планети оцінюється у _____ тонн. Таким чином, внесок населення планети, як окремих споживачів кисню у зменшення його концентрації становитиме _____ %.

Таблиця 11.5 – Вихідні дані до завдання 6

Варіант	M , тонн	R , тонн/рік	P , тонн/рік	N , осіб
1	$1,2 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^9$
2	$0,9 \cdot 10^{15}$	$1,85 \cdot 10^{11}$	$0,6 \cdot 10^{11}$	$4,93 \cdot 10^9$
3	$0,8 \cdot 10^{15}$	$1,96 \cdot 10^{11}$	$0,8 \cdot 10^{11}$	$11,56 \cdot 10^8$
4	$1,0 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$5,87 \cdot 10^9$
5	$1,1 \cdot 10^{15}$	$1,83 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$4,25 \cdot 10^8$
6	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,77 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$6,21 \cdot 10^9$
7	$0,85 \cdot 10^{15}$	$1,95 \cdot 10^{11}$	$0,7 \cdot 10^{11}$	$9,44 \cdot 10^8$
8	$0,95 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$0,9 \cdot 10^{11}$	$8,73 \cdot 10^8$
9	$1,05 \cdot 10^{15}$	$1,75 \cdot 10^{11}$	$0,65 \cdot 10^{11}$	$5,83 \cdot 10^9$
10	$1,15 \cdot 10^{15}$	$2,01 \cdot 10^{11}$	$0,75 \cdot 10^{11}$	$7,99 \cdot 10^8$
11	$1,25 \cdot 10^{15}$	$1,88 \cdot 10^{11}$	$0,85 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^9$
12	$0,88 \cdot 10^{15}$	$1,92 \cdot 10^{11}$	$0,95 \cdot 10^{11}$	$10,33 \cdot 10^8$
13	$0,98 \cdot 10^{15}$	$1,79 \cdot 10^{11}$	$1,05 \cdot 10^{11}$	$5,26 \cdot 10^9$
14	$1,08 \cdot 10^{15}$	$2,23 \cdot 10^{11}$	$1,15 \cdot 10^{11}$	$6,44 \cdot 10^9$
15	$1,18 \cdot 10^{15}$	$1,87 \cdot 10^{11}$	$1,25 \cdot 10^{11}$	$9,56 \cdot 10^8$
16	$1,28 \cdot 10^{15}$	$1,73 \cdot 10^{11}$	$1,35 \cdot 10^{11}$	$8,71 \cdot 10^8$
17	$0,87 \cdot 10^{15}$	$2,09 \cdot 10^{11}$	$0,66 \cdot 10^{11}$	$10,57 \cdot 10^8$
18	$0,97 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$0,77 \cdot 10^{11}$	$8,33 \cdot 10^8$
19	$1,07 \cdot 10^{15}$	$1,74 \cdot 10^{11}$	$0,88 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^9$
20	$1,17 \cdot 10^{15}$	$1,89 \cdot 10^{11}$	$0,99 \cdot 10^{11}$	$6,47 \cdot 10^9$
21	$1,27 \cdot 10^{15}$	$1,69 \cdot 10^{11}$	$1,11 \cdot 10^{11}$	$4,83 \cdot 10^9$
22	$0,89 \cdot 10^{15}$	$2,07 \cdot 10^{11}$	$1,22 \cdot 10^{11}$	$3,92 \cdot 10^9$
23	$0,99 \cdot 10^{15}$	$2,12 \cdot 10^{11}$	$1,33 \cdot 10^{11}$	$8,75 \cdot 10^8$
24	$1,09 \cdot 10^{15}$	$1,99 \cdot 10^{11}$	$1,44 \cdot 10^{11}$	$11,64 \cdot 10^8$
25	$1,19 \cdot 10^{15}$	$1,71 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$5,39 \cdot 10^9$
26	$1,29 \cdot 10^{15}$	$1,81 \cdot 10^{11}$	$0,68 \cdot 10^{11}$	$6,27 \cdot 10^9$
27	$0,86 \cdot 10^{15}$	$1,93 \cdot 10^{11}$	$0,78 \cdot 10^{11}$	$9,63 \cdot 10^8$
28	$0,96 \cdot 10^{15}$	$2,05 \cdot 10^{11}$	$0,98 \cdot 10^{11}$	$4,58 \cdot 10^9$
29	$1,06 \cdot 10^{15}$	$2,15 \cdot 10^{11}$	$1,08 \cdot 10^{11}$	$5,74 \cdot 10^9$
30	$1,16 \cdot 10^{15}$	$1,72 \cdot 10^{11}$	$1,18 \cdot 10^{11}$	$9,47 \cdot 10^8$
31	$1,26 \cdot 10^{15}$	$1,84 \cdot 10^{11}$	$1,28 \cdot 10^{11}$	$6,66 \cdot 10^9$
32	$0,91 \cdot 10^{15}$	$1,97 \cdot 10^{11}$	$1,38 \cdot 10^{11}$	$11,21 \cdot 10^8$
33	$1,11 \cdot 10^{15}$	$2,04 \cdot 10^{11}$	$0,69 \cdot 10^{11}$	$4,69 \cdot 10^9$
34	$1,02 \cdot 10^{15}$	$1,75 \cdot 10^{11}$	$0,79 \cdot 10^{11}$	$5,89 \cdot 10^9$
35	$0,92 \cdot 10^{15}$	$1,86 \cdot 10^{11}$	$0,89 \cdot 10^{11}$	$9,55 \cdot 10^8$

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає сутність поняття глобальні екологічні проблеми?
2. Чим зумовлені екологічні проблеми?
3. Якими проблеми можна охарактеризувати сучасну екологічну кризу?
4. Чому дорівнює константа Стефана-Больцмана?
5. За допомогою якої формули можна знайти приріст населення?
6. За допомогою якої формули можна визначити кількість нафтопродуктів, що потрапило в океан?
7. Чому дорівнює щільність кисню?
8. За допомогою якої формули можна визначити щорічне споживання кожною людиною кисню?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 12 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ РЕЧОВИНИ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Мета роботи: опанувати методики визначення спожитих та виділених речовин у процесі функціонування лісових екосистем.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- розуміти механізми дії хімічних речовин, фізичних полів і біологічних агентів на життєдіяльність організмів;
- застосовувати екологічні знання при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

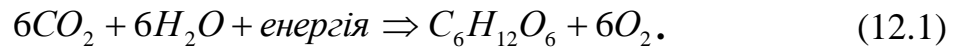
12.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

12.1.1 Об'єм спожитих та виділених речовин у процесі функціонування лісових екосистем

Екосистемою називають сукупність на певній території живих організмів та компонентів неживої природи. Одним з найпоширеніших і водночас найважливіших природних та штучно створених природних комплексів є лісові екосистеми. Від процесів, що в них відбуваються, залежить стале функціонування глобальної екосистеми планети – біосфери. Тому для прикладу взято саме лісові екосистеми, в яких головна роль належить деревній рослинності.

Процес накопичення органічної речовини рослинами продуцентами з вуглекислого газу і води із залученням енергії сонця називають фотосинтезом. Фотосинтез, щорічно залучає у кругообіг величезні маси речовини біосфери та обумовлює її кисневий потенціал. Він виступає регулятором основних геохімічних процесів у біосфері та фактором, що визначає наявність вільної енергії верхніх оболонок земної кулі. Фотосинтез є окислювально-відновною реакцією створення

органічних речовин з вуглекислого газу та води, яка протікає за рахунок сонячної енергії за участю хлорофілу зелених рослин. В результаті утворюються органічні речовини з мінеральних компонентів і в цих речовинах фіксується енергія сонця. У процесі фотосинтезу тісно взаємодіють різні складові екосистеми: атмосфера, ґрунт і власне деревні рослини. Всі ці частини пов'язані потоками речовин, які наочно представлені у сумарному рівнянні фотосинтезу:



Вуглекислий газ надходить у рослини з атмосфери, вода – з ґрунту, органічна речовина накопичується в самих рослинах і вільний кисень виділяється в атмосферу. Прямими продуктами фотосинтезу є різні органічні сполуки, найпростішим є глюкоза. У цілому процес фотосинтезу носить досить складний багатоетапний характер.

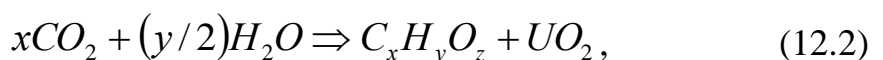
Через процес фотосинтезу здійснюється одна з найважливіших екологічних функцій лісів – газова функція, внаслідок дії якої з атмосфери виводиться вуглекислий газ і в атмосферу надходить кисень. Щорічно в ході фотосинтезу засвоюється близько 200 млрд тонн CO_2 і виділяється орієнтовно 145–320 млрд. тонн кисню. При цьому утворюється понад 1 841 109 тонн органічної речовини. Дані ізотопних аналізів показують, що основна кількість кисню виділяється за рахунок розкладання води, а кисень вуглекислого газу йде на утворення органічних сполук.

Фотосинтез є одним із найграндіозніших процесів, що відбуваються на Землі. Тільки за 9 млн. років «через рослини» проходить маса води, що дорівнює всій гідросфері, а за 6–7 років уся вуглекислота атмосфери. У межах біосфери фотосинтез відбувається безперервно. Органічні речовини, що утворюються під час фотосинтезу, стають геохімічним акумулятором сонячної енергії. Вони являють собою не тільки складні хімічні сполуки, але і є «живою речовиною», що має свої специфічні особливості та включає в невеликій кількості всі елементи земної кори, що беруть участь у біологічному кругообігу.

При загибелі організмів відбувається зворотний процес – розкладання органічної речовини шляхом окиснення, гниття тощо, з утворенням кінцевих продуктів розкладання.

Важливо вміти кількісно оцінювати матеріальні потоки, що формуються процесами фотосинтезу в лісових екосистемах. Розрахунки кількостей споживаних і виділених при фотосинтезі речовин можна виконати за його сумарним рівнянням, що описує процес створення речовини первинної біомаси деревини.

Так як хімічний склад речовини деревини різних деревних порід різниться, то з метою отримання формул, придатних у всіх випадках, розглянемо рівняння фотосинтезу в наступному загальному вигляді:



де коефіцієнти рівняння x , y , z визначаються хімічним складом речовини деревини відповідної породи, а коефіцієнт U визначається через x , y , z рівняння балансу числа атомів кисню:

$$2x + y/2 \Rightarrow z + 2U \quad (12.3)$$

звідки

$$U = x + y/4 - z/2 \quad (12.4)$$

Елементний склад деревини чотирьох основних лісоутворюючих порід і базова щільність їх деревини наведені у табл. 12.1. Для спрощення розрахунку, у складі органічної речовини деревини враховується вміст лише чотирьох основних елементів – вуглецю (C), водню (H), кисню (O) та азоту (N).

Таблиця 12.1 – Елементний склад, відсоток абсолютно сухої ваги та базова щільність деревини основних лісоутворюючих порід.

Порода	C , %	H , %	O , %	N + зольні елементи, %	Базова щільність, ρ , т/м ³
Ялина	50,5	6,2	43,1	0,2	0,36
Сосна	49,6	6,4	43,8	0,2	0,40
Береза	50,6	6,2	42,1	1,1	0,50
Модрина	46,9	7,24	45,27	0,59	0,56

Знаючи хімічний склад деревини, коефіцієнти рівняння фотосинтезу x , y , z розраховуються за такими формулами:

$$x = \frac{\%C}{12}; \quad (12.5)$$

$$y = \frac{\%H}{1}; \quad (12.6)$$

$$z = \frac{\%O}{16}. \quad (12.7)$$

Коефіцієнт U розраховується на основі значень x , y , z за формулою (12.4), наведеною вище.

Далі, якщо відомо кількість речовини деревини, створеної в лісі, кількості поглинених при цьому вуглекислого газу, води та кисню, що виділилися, розраховуються за такими формулами:

$$M_{CO_2} = \frac{x}{100} \cdot G_{CO_2} \cdot M_{деревени}, \text{ ТОННИ}; \quad (12.8)$$

$$M_{H_2O} = \frac{y}{100} \cdot G_{H_2O} \cdot M_{деревени}, \text{ ТОННИ}; \quad (12.9)$$

$$M_{O_2} = \frac{U}{100} \cdot G_{O_2} \cdot M_{деревени}, \text{ ТОННИ}. \quad (12.10)$$

G_{CO_2} , G_{H_2O} , G_{O_2} – молекулярна вага CO_2 , H_2O , O_2 відповідно.

Перерахунок обсягів деревини на абсолютно суху вагу проводиться за такою формулою:

$$M_{дер} = \rho \cdot B, \text{ ТОННИ}, \quad (12.11)$$

де ρ – базова щільність, тонни абсолютно сухої ваги на 1 м³ (табл. 12.1);
 B – середньорічний приріст деревини на 1 гектарі, м³/га на рік (табл. 12.2, 12.3).

Таблиця 12.2 – Річний приріст деревини основних лісоутворюючих порід

Породи	Вік, років					
	30	60	80	100	140	160
I клас бонітету						
Ялина	9,5	16,4	14,3	11,1	5,9	4,7
Сосна	11,7	13,0	10,4	7,8	4,1	3,2
Модрина	11,5	10,1	7,3	5,0	2,5	1,4
II клас бонітету						
Ялина	6,9	13,2	12,1	9,6	5,2	4,3
Сосна	8,7	9,5	7,6	5,9	3,7	2,9
Модрина	8,9	8,0	6,0	4,3	2,2	1,6
III клас бонітету						
Ялина	4,6	10,1	9,7	7,8	4,4	3,6
Сосна	6,5	7,4	6,2	4,9	3,1	2,5
Модрина	6,5	5,9	4,5	3,6	1,6	1,2
IV клас бонітету						
Ялина	3,0	7,1	7,3	6,0	3,6	3,0
Сосна	4,7	5,7	5,3	3,8	2,5	2,1
Модрина	4,5	4,3	3,6	2,7	1,8	1,0
V клас бонітету						
Ялина	-	4,5	4,9	4,2	2,6	2,1
Сосна	2,1	4,1	3,6	3,0	2,0	1,6
Модрина	2,7	2,8	2,4	2,1	1,1	1,0

Примітка: бонітет лісу – показник господарської продуктивності ділянки лісу, він залежить від природних умов та впливу людини на ліс та характеризується розміром приросту деревини (нерідко висотою насаджень) у віці, що порівнюється. Виділяють п'ять класів бонітету (I – V), найпродуктивніший з яких є V клас.

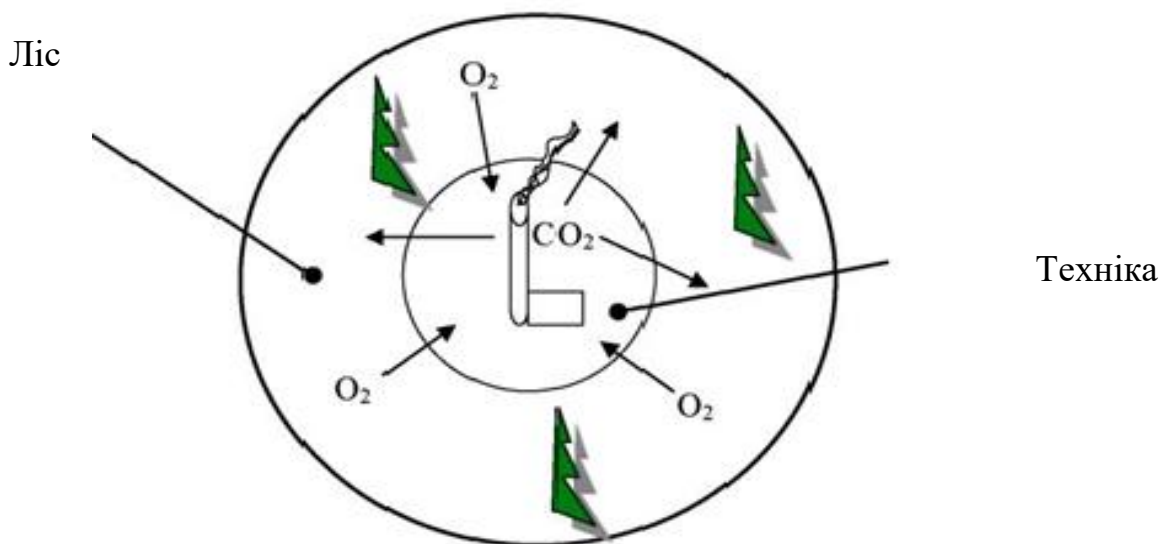
Таблиця 12.3 – Річний приріст деревини берези, м³/га

Бонітет	Вік, років				
	20	40	60	80	100
I	8,0	8,2	6,4	4,4	2,9
II	4,8	6,6	5,3	3,8	2,5
III	3,8	4,9	4,2	3,1	2,1
IV	2,4	3,5	3,2	2,4	1,6
V	1,4	2,3	2,2	1,7	1,2

12.1.2 Компоненти збалансованого техноценозу

Техноценозом називається сукупність функціонуючих на одній території всіх без винятку об'єктів техногенезу та природних біогеоценозів, найважливішими з яких є лісові насадження.

Вплив господарської діяльності та лісів на довкілля є діаметрально протилежним. Об'єкти техногенезу являють собою як би додатковим гетеротрофним компонентом у загальній екосистемі. В результаті функціонування об'єктів техніки органічна речовина (насамперед паливо органічного походження) спалюється і мінералізується, при цьому споживається кисень і виділяється вуглекислий газ та інші шкідливі домішки. У лісових екосистемах потоки вуглекислого газу та кисню мають протилежний напрямок: кисень виділяється, а вуглекислий газ поглинається. В узагальненому вигляді потоки вуглекислого газу і кисню у техноценозах представлені на наступній схемі 12.1.



Схемі 12.1 – Потоки CO_2 і O_2 у техноценозах в узагальненому вигляді

На схемі показано, що у техноценозі основні газові потоки не збалансовані, тому такий техноценоз становить небезпеку для біосфери Землі. В результаті його функціонування відбуватиметься зміна газового складу атмосфери з усіма глобальними наслідками, включаючи парниковий ефект. Навпаки, якщо основні потоки речовин збалансовані, такий техноценоз може існувати вічно, без руйнації навколишнього середовища чи будь-яких інших несприятливих наслідків. Отже, бачимо, що у складі техноценоза дві його складові (об'єкти техніки і природні екосистеми) повинні бути у певному закономірному кількісному співвідношенні один з одним, щоб забезпечувати його стабільне існування.

Процеси синтезу органічної речовини в техноценозах повинні бути достатні за потужністю, щоб поглинути весь антропогенний вуглекислий газ, що виділився при спалюванні палива і виробити необхідну кількість кисню.

12.1.3 Корисні властивості лісу

У процесі дихання людина певною мірою сприяє забрудненню атмосфери. Людство протягом року поглинає з атмосфери 644 736 млрд. л кисню і виділяє майже стільки ж (559 640 млрд. л) вуглекислого газу. Щорічно людина видихає до 18 тис. л повітря, насиченого парами води та містить 40% двоокису вуглецю.

Ліс входить у сферу вищого рівня інтеграції живої матерії не тільки як генетична система і не просто як доданок природного середовища, а й як екологічна система, як носій колосальної енергії.

По ряду важливих для людства властивостей ліс цілком можна порівняти зі Світовим океаном. Ліс значно впливає на енерго- та масообмін у біосфері, на її функціонування, формування природної обстановки, трансформацію гідрологічних, геохімічних та інших факторів. Сумарна світова біомаса лісів оцінюється приблизно 200 млрд. тонн. Частка північних хвойних лісів (переважно Канада та США) становить 14-15%, тропічних – 55-60%. Лісові площі та ресурси деревини на душу населення відповідно рівні: у Канаді – 9,4 га та 815 м³, Фінляндії – 4,9 га та 351 м³, Швеції – 2,5 га та 313 м³, США – 0,9 га та 88 м³.

Ліси утворюють на земній поверхні найбільші екосистеми. У них акумулюється більшість органічної речовини планети, використовуваного потім людиною, як для власного споживання, так і відновлення зникаючих у процесі господарської діяльності компонентів біосфери.

Ліси активно перетворюють хімічні атмосферні забруднення, особливо газоподібні, причому найбільшу окислювальну здатність мають хвойні насадження, а також деякі породи лип, верб, берез. З іншого боку, ліс здатний поглинати окремі компоненти промислових забруднень.

Рослини в процесі фотосинтезу розщеплюють вуглекислий газ, беруть із нього вуглець, необхідний для формування органічної речовини, а кисень виділяється в атмосферу. Наприклад, 1 га гарного лісу поглинає щорічно до 6,5 т вуглецю і виділяє при цьому близько 5 т кисню. На ділянках із середнім

деревостоєм поглинається відповідно вуглецю 4,1 т та виділяється 3,2 т кисню.

У лісі радіаційний фон вдвічі нижчий, ніж у місті, і вологість більша на 15-20 %. На листовій поверхні одного дорослого дерева осідає за літній період пилу, кг: в'яз шорсткий – 23, тополя канадська – 34, в'яз перисто-гіллястий – 18, бузок – 0,6, ясен – 27, верба – 38, клен – 33, акація біла – 0,2, маслинка вузьколиста – 2.

Хорошими поглиначами свинцю по узбіччях доріг вважаються біла акація, бузок, береза бородавчаста, маслинка вузьколиста, барбарис та ін. У процесі фотосинтезу багато деревних, чагарникових рослин виділяють особливі хімічні сполуки, які мають велику біологічну активність.

Виявлено понад 300 різних ароматичних сполук, ефірних олій, що містяться у повітрі лісу. Так, наприклад, 1 га листяного лісу виділяє таких речовин близько 2 кг хвойного – до 5 кг. Ліс, особливо хвойний, виділяє фітонциди, які вбивають багатьох хвороботворних мікробів та «оздоровлюють» повітря. У певних дозах фітонциди сприятливо впливають на нервову систему людини, посилюють рухову активність, секреторну функцію шлунково-кишкового тракту, сприяють покращенню обміну речовин. Фітонциди мають найцінніші профілактичні властивості. Наприклад, фітонциди нирок тополі, антонівських яблук, евкаліпта згубно діють на вірус грипу, фітонциди капусти затримують ріст палички Коха, фітонциди часнику та черемші вбивають як ті, так і інші дари лісу.

12.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Визначити споживання вуглекислого газу (CO_2) і води (H_2O) та виділення кисню (O_2) у деревостоях при формуванні річного приросту деревини різного у різних порід для різного віку. Величини річного приросту в деревостоях основних лісоутворюючих порід наведено у табл. 12.2, 12.3. Вихідні дані наведені в табл. 12.6.

Завдання 3. Розрахувати параметри збалансованого техноценозу за умови спалювання N (тонни) природного газу з певним складом відповідно до варіанту завдання. Вихідні дані наведені в табл. 12.8, 12.9.

Завдання 4. Розраховувати потребу деревно-чагарникової рослинності для вироблення кисню на дихання людини та роботи автотранспорту. Вихідні дані наведені в табл. 12.11.

Порядок виконання роботи до завдання 2.

1. Для деревини, зазначеної у варіанті вихідних даних (табл. 12.6), розрахувати коефіцієнти x , y , z за формулами (12.5) – (12.7). Елементний склад деревини наведено в табл. 12.1.

2. Кількості поглиненого вуглекислого газу і води, і кисню, що виділився, в деревостоях (тонни) розраховуються за формулами (12.8) – (12.10). Результати

розрахунків споживання CO_2 та H_2O та виділення O_2 оформляються у вигляді таблиці 12.4.

Таблиця 12.4 – Результати розрахунків споживання CO_2 і H_2O та виділення O_2

Компоненти	Клас бонітету				
	I	II	III	IV	V
CO_2					
H_2O					
O_2					

3. Побудувати графік залежності споживання CO_2 і H_2O та виділення O_2 від класу бонітету для деревини, зазначеної у варіанті вихідних даних (приклад графіка наведено на рис. 12.1).

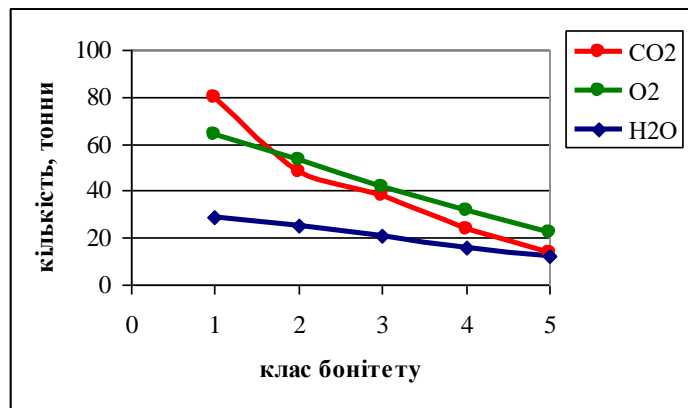


Рис. 12.1 – Залежності споживання CO_2 і H_2O та виділення O_2 від класу бонітету (приклад)

4. Зробити висновок про зміну споживання CO_2 і H_2O та виділення O_2 залежно від класу бонітету для деревини, зазначеної у варіанті вихідних даних.

5. Перерахунок обсягів деревини на абсолютно суху вагу проводиться за формулою (12.11). Розмір базової щільності (ρ , тонни/м³) деревини наведено у табл. 12.1. Величини середньорічного приросту деревини певного віку, зазначеного у вихідних даних (B , м³/га на рік), представлені у табл. 12.2 та 12.3. Результати перерахунку обсягів деревини певного віку на абсолютно суху вагу оформлюються у вигляді таблиці 12.5.

Таблиця 12.5 – Результати перерахунку обсягів деревини певного віку на абсолютно суху вагу

Маса деревини, $M_{дер}$, тонни	Клас бонітету				
	I	II	III	IV	V

6. За формулою (12.8) визначити кількість деревини ($M_{\text{деревина}}$, тонни) на 1 га лісу, яка має бути створена, щоб при цьому було поглинено певну кількість тонн (D) вуглекислого газу (кількість поглиненого CO_2 зазначено у вихідних даних).

За формулою (12.11) визначити обсяг деревини (B , m^3) на 1 га лісу, яке має бути створене, щоб при цьому було поглинено D , тонн вуглекислого газу (кількість поглиненого CO_2 зазначено у вихідних даних).

7. За формулою (12.10) визначити кількість деревини ($M_{\text{деревина}}$, тонни) на 1 га лісу, яка має бути створена, щоб при цьому було виділено G тонн кисню (кількість виділеного O_2 зазначена у вихідних даних).

За формулою (12.11) визначити обсяг деревини (B , m^3) на 1 га лісу, яке має бути створене, щоб при цьому було виділено G тонн кисню (кількість виділеного O_2 зазначена у вихідних даних).

Таблиця 12.6 – Варіанти вихідних даних до завдання 2

Варіант	Порода деревини	Вік, роки	Бонітет	Кількість CO_2 , що поглинено, D , тонн	Кількість O_2 , що виділено, G , тонн
1	Ялина	30	I, II, III, IV	2,0	8,0
2	Ялина	60	I, II, III, IV	6,5	2,9
3	Ялина	80	I, II, III, IV	4,8	7,5
4	Ялина	100	I, II, III, IV	3,6	7,7
5	Ялина	140	I, II, III, IV	2,5	7,8
6	Ялина	160	I, II, III, IV	5,3	3,9
7	Сосна	30	I, II, III, IV	5,8	6,5
8	Сосна	60	I, II, III, IV	7,2	2,4
9	Сосна	80	I, II, III, IV	3,0	7,6
10	Сосна	100	I, II, III, IV	6,3	4,9
11	Сосна	140	I, II, III, IV	6,8	5,5
12	Сосна	160	I, II, III, IV	5,2	3,4
13	Модрина	30	I, II, III, IV	3,5	7,4
14	Модрина	60	I, II, III, IV	7,3	5,9
15	Модрина	80	I, II, III, IV	7,8	4,5
16	Модрина	100	I, II, III, IV	6,2	4,4
17	Модрина	140	I, II, III, IV	4,0	7,2
18	Модрина	160	I, II, III, IV	2,3	6,9
19	Береза	20	I, II, III, IV	7,6	3,5
20	Береза	40	I, II, III, IV	4,2	7,4
21	Береза	60	I, II, III, IV	4,5	7,0
22	Береза	80	I, II, III, IV	3,3	7,9
23	Береза	100	I, II, III, IV	6,6	2,5
24	Ялина	80	II, III, IV, V	3,2	5,4
25	Ялина	100	II, III, IV, V	5,0	6,8

Варіант	Порода деревини	Вік, роки	Бонітет	Кількість CO_2 , що поглинено, D , тонн	Кількість O_2 , що виділено, G , тонн
26	Ялина	140	II, III, IV, V	4,3	2,4
27	Сосна	60	II, III, IV, V	5,6	3,7
28	Сосна	80	II, III, IV, V	2,2	6,4
29	Сосна	100	II, III, IV, V	5,5	6,6
30	Модрина	80	II, III, IV, V	2,8	3,4
31	Модрина	100	II, III, IV, V	4,6	6,7
32	Модрина	140	II, III, IV, V	2,9	5,8
33	Береза	60	II, III, IV, V	6,0	6,4
34	Береза	80	II, III, IV, V	3,8	4,4
35	Береза	100	II, III, IV, V	2,6	5,7

Порядок виконання роботи до завдання 3.

1. Скласти рівняння горіння метану.
2. Визначаємо за рівнянням реакції кількість спожитого кисню і вуглекислого газу, що виділяється, за формулами:

$$M_{CO_2} = \frac{N \cdot d \cdot G_{CO_2}}{100 \cdot G_{CH_4}}, \text{ тонн}, \quad (12.12)$$

$$M_{O_2} = \frac{N \cdot d \cdot 4 \cdot G_{O_2}}{100 \cdot G_{CH_4}}, \text{ тонн}, \quad (12.13)$$

де G_{CO_2} , G_{CH_4} , G_{O_2} – молекулярні маси CO_2 , CH_4 , O_2 , відповідно; N – расход природного газу, тонн; d – вміст метану в природном газі, %.

3. Визначаємо сумарну кількість вуглекислого газу, що виділяється (утворюється при реакції горіння і міститься у газі) за формулами:

$$M_{CO_2}^{gaz} = (1 - 0,01 \cdot d) \cdot N, \text{ тонн}, \quad (12.14)$$

$$\sum M_{CO_2} = M_{CO_2} + M_{CO_2}^{gaz}, \text{ тонн}. \quad (12.15)$$

4. Визначаємо коефіцієнтів рівняння фотосинтезу для різних видів деревних рослин з різним елементним складом x , y , z , U та середньозважені значення коефіцієнтів $X_{срв}$ і $U_{срв}$.

4.1 Визначаємо коефіцієнти рівняння фотосинтезу для різних видів деревних рослин з різним елементним складом x та U для основних лісоутворюючих порід (ялина – $x_я$ і $U_я$; сосна – $x_с$ і $U_с$; береза – $x_б$ і $U_б$) за формулами (12.5) – (12.7):

$$x = \frac{\%C}{12}; \quad y = \frac{\%H}{1}; \quad z = \frac{\%O}{16}.$$

Елементний склад деревини трьох основних лісоутворюючих порід по вуглецю (C), водню (H), кисню (O), наведений у табл. 12.1.

Коефіцієнт U розраховується за формулою (12.4):

$$U = x + y/4 - z/2.$$

Результати розрахунків коефіцієнтів оформляються у вигляді таблиці 12.7.

Таблиця 12.7 – Результати розрахунків коефіцієнтів x , y , z , U

Деревина	Значення коефіцієнтів			
	x	y	z	U
ялина (я)				
сосна (с)				
береза (б)				

4.2. Визначаємо середньозважені значення коефіцієнтів $X_{срв}$ і $U_{срв}$ для основних лісоутворюючих порід за формулами:

$$X_{срв} = x_я \cdot b_я + x_с \cdot b_с + x_б \cdot b_б, \quad (12.16)$$

$$U_{срв} = U_я \cdot b_я + U_с \cdot b_с + U_б \cdot b_б, \quad (12.17)$$

де $b_я$, $b_с$, $b_б$ – частина ялини, сосни, берези у прирості рослинної біомаси, що вказана для основних лісоутворюючих порід у варіанті вихідних даних.

5. Визначаємо масу органічної речовини, яка повинна бути створена для поглинання вуглекислого газу та виділення необхідної кількості кисню за формулами:

$$M_{OB}(CO_2) = \frac{\sum M_{CO_2}}{0,44 \cdot X_{срв}}, \text{ тонн}, \quad (12.18)$$

$$M_{OB}(O_2) = \frac{M_{O_2}}{0,32 \cdot U_{срв}}, \text{ тонн}. \quad (12.19)$$

З двох величин маси органічної речовини деревини, синтез яких забезпечує баланси вуглекислоти і кисню в техноценозі, для подальшого аналізу потрібно вибрати найбільшу, як забезпечує обидва газові баланси одночасно, тобто порівнюємо величини $M_{OB}(CO_2)$ і $M_{OB}(O_2)$ для подальших розрахунків вибираємо найбільше з двох. При цьому надалі маса органічної речовини, що забезпечує баланс у техноценозі, позначатиметься як M_{OP} .

6. Визначаємо площу лісів заданого складного породного, вікового складу та продуктивності, що забезпечує синтез потрібної кількості органічної речовини деревини за формулою:

$$S = \sum \frac{b_i \cdot M_{OB}}{\rho_i \cdot B_i} = \frac{b_y \cdot M_{OB}}{\rho_y \cdot B_y} + \frac{b_c \cdot M_{OB}}{\rho_c \cdot B_c} + \frac{b_b \cdot M_{OB}}{\rho_b \cdot B_b}, \text{ га.} \quad (12.20)$$

Величина базисної щільності (ρ_i , тонни/м³) основних лісоутворюючих порід наведено в табл. 12.1.

Величини середньорічного приросту основних лісоутворюючих порід певного віку, зазначеного у вихідних даних (B_i , м³/га на рік), представлені у табл. 12.2 чи 12.3.

7. Визначаємо площу міста та показник ступеню урбанізації території, що розглядається, за формулами:

$$S_{город} = A \cdot B, \text{ км}^2, \quad (12.21)$$

де A і B – розміри міста (довжина та ширина), км.

$$K = \frac{S}{S_{місто}}. \quad (12.22)$$

При цьому $S_{місто}$, км² → га.

Коефіцієнт урбанізації показує скільки потрібно бути гектарів лісу, щоб компенсувати антропогенний вплив одного гектару міської території, що розглядається.

Згідно з нормативами, питома вага озелених територій різного призначення в межах забудови міст має бути не менше ніж 40%, а в межах території житлового району – не менше ніж 25%. Отже, якщо:

$K < 0,4$ – техноценоз можливий, допустимо розвиток промисловості;

$K = 0,4-0,55$ – техноценоз можливий за відповідного підвищення частки озелененої території;

$K = 0,55-1$ – техноценоз проблематичний;

$K > 1$ – техноценоз неможливий.

8. Зробити висновок щодо можливості функціонування техноценоза.

Таблиця 12.8 – Варіанти вихідних даних до завдання 3

Варіант	Кількість газу, що спалюється за рік, <i>N</i> , тонн	Вміст метана у газі <i>d</i> , %	Розміри міста, км	
			довжина <i>A</i>	ширина <i>B</i>
1	3000	90	25	20
2	12000	95,2	40	25
3	3500	91	50	20
4	11300	96,1	22	35
5	4000	92	35	45
6	10300	90,4	45	25
7	4500	93	25	28
8	9300	91,4	50	25
9	5000	94	25	20
10	8300	92,4	30	20
11	5500	95	45	25
12	7300	93,4	25	15
13	6000	96	23	12
14	6300	94,4	25	18
15	6500	90,5	30	12
16	5300	95,4	32	15
17	7000	91,5	25	15
18	4300	96,4	28	18
19	7500	92,5	26	12
20	3300	90,7	24	8
21	8000	93,5	32	14
22	3700	91,7	23	11
23	8500	94,5	33	19
24	4700	92,7	26	16
25	9000	95,5	34	21
26	5700	93,7	27	22
27	9500	90,2	35	27
28	6700	94,7	28	18
29	10000	91,2	36	16
30	7700	95,7	29	14
31	10500	92,2	37	13
32	8700	96,7	30	21
33	11000	93,2	38	26
34	9700	90,6	31	26
35	11500	94,2	39	28

Таблиця 12.9 – Варіанти вихідних даних до завдання 3

Варіант	Частка виду дерев у прирості рослинної біомаси			Вік дерев, роки		
	ялинка	сосна	береза	ялинка	сосна	береза
1	0,2	0,35	0,45	30	100	60
2	0,3	0,25	0,45	60	160	40
3	0,4	0,2	0,4	80	140	20
4	0,5	0,3	0,2	100	60	100
5	0,6	0,2	0,2	140	60	40
6	0,65	0,25	0,1	160	80	60
7	0,55	0,15	0,3	30	160	40
8	0,45	0,35	0,2	60	80	100
9	0,35	0,25	0,4	80	60	80
10	0,25	0,45	0,3	100	30	60
11	0,6	0,1	0,3	140	160	80
12	0,5	0,2	0,3	160	100	100
13	0,4	0,4	0,2	30	140	20
14	0,3	0,4	0,3	60	30	80
15	0,2	0,3	0,5	80	100	60
16	0,55	0,25	0,2	100	80	40
17	0,25	0,35	0,4	140	30	100
18	0,65	0,15	0,2	160	140	80
19	0,35	0,35	0,3	30	60	80
20	0,45	0,15	0,4	60	100	60
21	0,5	0,25	0,25	80	80	100
22	0,2	0,45	0,35	100	100	80
23	0,4	0,35	0,25	140	80	60
24	0,6	0,25	0,15	160	160	80
25	0,3	0,25	0,45	30	80	100
26	0,45	0,25	0,3	60	140	20
27	0,25	0,25	0,5	80	160	40
28	0,55	0,3	0,15	100	160	20
29	0,35	0,2	0,45	140	140	20
30	0,65	0,2	0,15	160	60	60
31	0,47	0,2	0,33	30	30	20
32	0,53	0,27	0,2	60	60	80
33	0,24	0,4	0,36	80	30	100
34	0,33	0,37	0,3	100	140	60
35	0,62	0,2	0,18	140	100	40

Порядок виконання роботи до завдання 4.

1. Визначаємо загальний обсяг атмосферного повітря, яке пропускає людина через легені протягом року за формулою:

$$V_{оп} = V_1 \cdot d \cdot F \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ м}^3, \quad (12.23)$$

де V_1 – об'єм легень середньостатистичної людини, що становить 4 л ; d – коефіцієнт обміну повітря в легенях людини, що становить 0,3; F – кількість вдихів і видихів за хвилину; людина у стані спокою здійснює 25-30 вдихів і видихів, а при середньому навантаженні – до 50.

2. Визначаємо об'єм чистого кисню, що міститься у загальному обсязі атмосферного повітря, за формулою:

$$V_{O_2} = \frac{V_{оп} \cdot C_{O_2}}{100}, \text{ м}^3, \quad (12.24)$$

де C_{O_2} – вміст кисню в атмосферному повітрі, що становить 20,8%.

3. Визначаємо відсоткове співвідношення кисню, яке безпосередньо використовується організмом для проходження окисно-відновних реакцій (життєзабезпечення) протягом року з розрахунку на одного жителя, за формулою:

$$C_{жз} = C_{O_2} - C_B, \%, \quad (12.25)$$

де C_B – вміст кисню у повітрі при видиху, що становить 16,4%.

4. Визначаємо об'єм кисню, який безпосередньо використовується організмом для проходження окисно-відновних реакцій (життєзабезпечення) протягом року в розрахунку на одного жителя із співвідношення (складаємо пропорцію):

$$\begin{aligned} V_{O_2}, \text{ м}^3 &- C_{O_2}, \%; \\ V_{жз}, \text{ м}^3 &- C_{жз}, \%. \end{aligned}$$

Звідси знаходимо $V_{жз}, \text{ м}^3$.

5. Визначаємо загальний обсяг кисню, який безпосередньо використовується організмом для проходження окисно-відновних реакцій (життєзабезпечення) протягом року населенням регіону, за формулою:

$$V_{жз}^{нас} = V_{жз} \cdot N_{нас}, \text{ м}^3. \quad (12.26)$$

6. Визначаємо обсяг кисню, що продукується, з 1 га лісового масиву за вегетаційний період для основних лісоутворюючих порід за формулою:

$$V_{PP} = \frac{M_{PP}}{\rho_{O_2}}, \text{ м}^3, \quad (12.27)$$

де M_{PP} – кількість кисню, що продукується, з 1 га лісового масиву за вегетаційний період для основних лісоутворюючих порід, тонни, що наведено в табл. 12.10; M_{PP} , тонни \rightarrow кг; ρ_{O_2} – щільність кисню, що становить 1,429 кг/м³.

Таблиця 12.10 – Продукування кисню та поглинання діоксиду вуглецю лісовим масивом площею 1 га за вегетаційний період (листопадні ліси)

Породний склад лісового насадження	Поглинання CO ₂ , тонн	Продукування O ₂ , тонн
1. Ялина	6,6	5,0
2. Сосна	11,0	9,0
3. Липа	16,5	12,5
4. Дуб	29,7	22,5
5. Тополя	46,2	34,9
6. Змішаний склад з гарним деревостоем	18,9	16,7
7. Посіви кукурудзи	18,6	15,0
8. Посіви ярового рапсу	10,0	7,5

Примітка. Щільність: кисню (O₂) – 1,429 кг/м³; вуглекислого газу (CO₂) – 1,977 кг/м³. На спалювання 1 кг палива витрачається 1388 кг O₂.

7. Визначаємо об'єм кисню, що продукується, одним деревом за формулою:

$$V_{PP}^1 = \frac{V_{PP}}{N}, \text{ м}^3, \quad (12.28)$$

де N – кількість дерев, що ростуть на 1 га дорослого лісу, зазвичай приймається в діапазоні 1000-1200.

8. Визначаємо необхідну кількість дерев для відтворення кисню для одного жителя за формулою:

$$N_{Л.Н.}^1 = \frac{V_{ЖЗ}}{V_{PP}^1}, \text{ штук.} \quad (12.29)$$

9. Визначаємо необхідну кількість дерев для відтворення кисню населенням регіону за такою формулою:

$$N_{Л.Н.}^{нас} = N_{Л.Н.}^1 \cdot N_{нас}, \text{ штук.} \quad (12.30)$$

10. Визначаємо площу, що займає визначене кількість дерев у розрахунку на одного мешканця, за формулою:

$$S_{Л.Н.}^1 = N_{Л.Н.}^1 \cdot S, \text{ м}^2, \quad (12.31)$$

де S – середня площа землі, яку займає одне доросле дерево, приймається в середньому $8,5 \text{ м}^2$.

11. Визначаємо прогнозовану площу лісових насаджень для забезпечення населення регіону киснем за формулою:

$$S_{Л.Н.}^{нас} = S_{Л.Н.}^1 \cdot N_{нас}, \text{ м}^2. \quad (12.32)$$

$S_{Л.Н.}^{нас}, \text{ м}^2 \rightarrow \text{га}$.

12. Визначаємо необхідність додаткової висадки лісових насаджень, пов'язаних із витратою кисню автомобільним транспортом регіону.

12.1. Визначаємо середню кількість автотранспорту, що припадає на одного мешканця регіону, за формулою:

$$N_{авт}^1 = \frac{N_{авт}}{N_{Україна}}, \text{ уд. од.}, \quad (12.33)$$

де $N_{авт}$ – загальна кількість автотранспорту, зареєстрована в країні (станом на 2021 рік кількість автомобілів в Україні становила 10,2 млн. одиниць); $N_{Україна}$ – чисельність населення України (станом на 1 січня 2022 року чисельність наявного населення України складала 41,167 млн. осіб).

12.2. Визначаємо кількість автотранспорту у досліджуваному регіоні за формулою:

$$N_{авт}^{нас} = N_{авт}^1 \cdot N_{нас}, \text{ од.} \quad (12.34)$$

12.3. Визначаємо загальний пробіг автотранспорту територією досліджуваного регіону протягом року за формулою:

$$L_{авт}^{нас} = N_{авт}^{нас} \cdot L_{авт}^1, \text{ км.} \quad (12.35)$$

де $L_{авт}^1$ – середній пробіг одного автомобіля за рік, приймається $12\,000 \text{ км}$.

12.4. Визначаємо загальну витрату бензину працюючим автотранспортом за формулою:

$$Q_B^l = \frac{L_{авт}^{нас} \cdot q}{100}, \text{ л}, \quad (12.36)$$

де q – середня норма витрати бензину з пробігу автомобіля, яка приймається для легкового автотранспорту $q = 8-14$ л/100 км пробігу.

12.5. Виконуємо перерахунок загальних витрат бензину працюючим автотранспортом, отриманих в л, в одиниці маси за формулою:

$$Q_B^{кг} = Q_B^l \cdot \rho_b, \text{ кг}, \quad (12.37)$$

де ρ_b – густина автомобільного бензину, що приймається 0,71-0,76 кг/л (найменша густина спостерігається влітку, найбільша – взимку).

12.6. Визначаємо витрату кисню автомобільним транспортом регіону на спалювання бензину за формулою:

$$R_{O_2} = Q_B^{кг} \cdot R_{паливо}, \text{ кг}, \quad (12.38)$$

де $R_{паливо}$ – кількість кисню, що витрачається при спалюванні 1 кг автомобільного палива, приймається 1,338 кг.

12.7. Визначаємо площу лісового масиву, необхідного для відтворення кисню, який було витрачено автотранспортом регіону на згоряння бензину, за формулою:

$$S_{Л.Н.}^{авт} = \frac{R_{O_2}}{M_{ПР}}, \text{ га}. \quad (12.39)$$

$M_{ПР}$, тонни \rightarrow кг.

13. Визначаємо прогнозовану загальну площу лісового масиву, необхідного для забезпечення населення регіону киснем та відтворення кисню, який було витрачено автотранспортом регіону на згоряння бензину, за формулою:

$$S_{Л.Н.}^{заг} = S_{Л.Н.}^{нас} + S_{Л.Н.}^{авт}, \text{ га}. \quad (12.40)$$

Висновок: Площа лісового масиву, необхідного для відтворення кисню, який було витрачено автотранспортом регіону на згоряння бензину, повинна складати _____ га. Таким чином, прогнозована загальна площа лісового масиву, необхідного для забезпечення населення регіону киснем та відтворення кисню, який було витрачено автотранспортом регіону на згоряння бензину, повинна дорівнювати _____ га.

Таблиця 12.11 – Варіанти вихідних даних до завдання 4

Варіант	Досліджуваний регіон (область)	Чисельність населення, станом на 1 січня 2022 року, осіб	Лісове насадження (номер з табл. 12.10)	Кількість дерев, шт.	Середня норма витрат бензину л/100 км пробігу
1	Вінницька область	1509515	1	1010	8
2	Волинська область	1021356	3	1190	13,5
3	Дніпропетровська область	3096485	7	1020	12,7
4	Житомирська область	1179032	3	1200	9
5	Закарпатська область	1244476	4	1030	11,7
6	Запорізька область	1638462	8	1000	9,6
7	Івано-Франківська область	1351822	5	1040	10
8	Київська область	1795079	6	1025	10,7
9	Кіровоградська область	903712	7	1050	12,6
10	Львівська область	2478133	1	1035	11
11	Миколаївська область	1091821	8	1060	9,7
12	Одеська область	2351392	2	1045	10,6
13	Полтавська область	1352283	3	1070	12
14	Рівненська область	1141784	4	1055	8,7
15	Сумська область	1035772	5	1080	12,5
16	Тернопільська область	1021713	6	1065	13
17	Харківська область	2598961	1	1090	8,3
18	Херсонська область	1001598	2	1075	11,6
19	Хмельницька область	1228829	3	1100	14
20	Черкаська область	1160744	4	1085	9,3
21	Чернівецька область	890457	5	1110	13,6
22	Чернігівська область	959315	6	1095	8,5
23	м. Дніпро	958377	1	1120	10,3
24	м. Верхівцеве	9955	2	1125	13,8
25	м. Вільногірськ	22378	3	1130	9,5
26	м. Жовті Води	45066	4	1135	11,3
27	м. Кам'янське	226295	5	1140	12,8
28	м. П'ятихатки	18015	6	1145	10,5
29	м. Кривий Ріг	602390	1	1150	12,3
30	м. Марганець	44859	2	1155	8,8
31	м. Нікополь	107214	3	1160	11,5
32	м. Покров	37640	4	1165	13,3
33	м. Новомосковськ	69354	5	1170	9,8
34	м. Павлоград	102373	6	1175	12,5
35	м. Тернівка	27192	1	1180	8,6

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає сутність процесу фотосинтезу?
2. Що є продуктами фотосинтезу?
3. Надати спрощений склад органічної речовини деревини.
4. В чому полягає сутність поняття «бонітет лісу»?
5. Чим обумовлений вплив господарської діяльності на лісу?
6. Перелічити корисні властивості лісу.
7. За допомогою якої формули можна визначити загальний обсяг атмосферного повітря, яке пропускає людина через легені протягом року?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №13 ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИРОДНИХ ВОД

Мета роботи: засвоїти методику інтегральної оцінки якості води поверхневих водних об'єктів для задоволення питних та господарсько-побутових потреб за комплексом органолептичних і хімічних показників.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступний **результат навчання:**

- застосовувати екологічні знання при оцінюванні стану природних середовищ, при вирішенні питань охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

13.1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Якість води водних об'єктів оцінюється за фізико-хімічними, біологічними та мікробіологічними показниками, аналіз яких дозволяє встановити відповідність або невідповідність аналізованої водойми або водотоку вимогам, що пред'являються водокористувачами, згідно з чинними законодавчими актами.

Нормування якості води полягає у встановленні для води водного об'єкта сукупності допустимих значень показників її складу та властивостей, в межах яких надійно забезпечуються здоров'я населення, сприятливі умови водокористування та екологічне благополуччя водного об'єкта.

Згідно з новими стандартами екологічної безпеки в природній та питній воді нормуються близько 100 параметрів, на підставі яких будується гігієнічна класифікація водних об'єктів за ступенем забрудненості. Найчастіше використовуваними параметрами є:

1. **Органолептичні показники:** запах, смак і присмак, забарвленість, каламутність – фізичні властивості води, що сприймаються органами чуття.

2. **Мікробіологічні властивості:** загальне мікробіологічне число; бактерії та групи кишкової палички – показники епідемічної безпеки води, перевищення яких може призвести до виникнення інфекційних хвороб у людини.

3. Гідрохімічні характеристики:

- карбонатна система: величина pH ; розчинений кисень; лужність; сумарна жорсткість;

- основний сольовий склад води: хлориди; сульфати; фториди; натрій; калій;

- характеристики присутності органічної речовини: перманганатна окислюваність; біхроматна окислюваність (XCK); біохімічне споживання кисню ($БСК$);

- біогенні елементи: азот (амоній, нітрати, нітрити); фосфати;

4. **Токсичні метали:** залізо, марганець, цинк, мідь, свинець, кадмій, миш'як, нікель, хром, кобальт, стронцій, літій.

5. **Синтетичні органічні сполуки:** СПАР, нафтопродукти.

6. **Радіаційні показники** – показники, що характеризують властивість води, зумовлену наявністю радіонуклідів (ізоотопів урану (U), радію (Ra^{226} , Ra^{228}) та радону (^{222}Rn), питомі активності цезію (^{137}Cs) та стронцію (^{90}Sr)).

В цій роботі розглядаються такі комплексні показники для водойм питного та господарсько-побутового водокористування: загально-санітарний індекс якості води ($IЯВ$), що враховує органолептичні показники та деякі гідрохімічні характеристики, і гідрохімічний індекс забруднення води ($IЗВ$), що враховує вміст токсичних металів.

Якість середовища існування людини, зокрема навколишнього природного середовища, оцінюється системою сукупних вимог: санітарно-гігієнічних, рибогосподарських і загально-екологічних. Показником, за допомогою якого можна оцінити екологічний стан природних вод, є інтегральний індекс екологічного стану (IEC), що враховує найбільшу кількість аспектів екологічного стану водойм. Взаємодія різних критеріїв оцінки якості води має ґрунтуватися на пріоритеті вимог того водокористування, чий критерій є жорсткішими. Наприклад, якщо водний об'єкт одночасно використовується для питного та рибогосподарського призначення, то до оцінки якості води можуть пред'являтися суворіші вимоги (рибогосподарські та екологічні).

13.1.1 Оцінка якості води за загально-санітарним індексом якості води ($IЯВ$)

Для характеристики води використовується комплексний показник – індекс якості води ($IЯВ$) – узагальнена числова оцінка якості води за сукупністю основних показників та видів водокористування.

Загально-санітарний індекс якості води є найбільш розробленим, будується на підставі експертних процедур та розраховується за формулою:

$$IЯВ = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \omega_i \quad (\text{за умови } \sum \gamma_i = 1), \quad (13.1)$$

де γ_i – вага показника, що входить до загально-санітарного *ІЯВ* (табл. 13.1); ω_i – бали (від 1 до 5), що присвоюються кожному показнику, який входить до загально-санітарного *ІЯВ* (табл. 13.1); n – показники, що входять до загально-санітарного *ІЯВ*.

За результатами хімічного аналізу води проводиться їхня бальна оцінка за допомогою таблиці 1, після чого визначається величина *ІЯВ* за формулою (13.1).

Таблиця 13.1 – Загально-санітарний індекс якості води

Показники	Вагомий коефіцієнт. γ	ω_i , бали				
		5	4	3	2	1
Колі-індекс	0,18	0-100	101-1000	10^3-10^5	10^5-10^7	$>10^7$
Запах, бали	0,13	0	1-2	3	4	5
БСК ₅ , мгО ₂ /л	0,12	<1	1,0-2,0	2,1-4	4,1-10	>10
pH	0,10	$6,5 < \text{pH} < 8$	$6 < \text{pH} < 6,5$, $8 < \text{pH} < 8,5$	$5 < \text{pH} < 6$, $8,5 < \text{pH} < 9,5$	$4 < \text{pH} < 5$, $9,5 < \text{pH} < 10$	$\text{pH} < 4$, $\text{pH} > 10$
Розчинний кисень, мгО ₂ /л	0,09	>8	8-6	6-4	4-2	<2
Кольоровість, град	0,09	<20	21-30	31-40	41-50	>50
Завислі речовини, мг/л	0,08	<10	10-20	21-50	51-100	>100
Загальна мінералізація, мг/л	0,08	<500	500-1000	1001-1500	1501-2000	>2000
Хлориди, мг/л	0,07	<200	200-350	351-500	501-700	>700
Сульфати, мг/л	0,06	<250	250-500	501-700	701-1000	>1000

Якісний стан води залежно від величини *ІЯВ* визначається за таблицею 13.2.

Таблиця 13.2 – Класифікація якості води в залежності від загально-санітарного *ІЯВ*

Якісний стан води	Значення <i>ІЯВ</i>	Клас якості води
Дуже чиста	5,0	1
Чиста	4,1-4,9	2
Помірно забруднена	2,6-4,0	3
Забруднена	1,6-2,5	4
Брудна	$\leq 1,5$	5

13.1.2 Оцінка якості води за інтегральним показником – гідрохімічним індексом забрудненості води (ІЗВ)

Особливість гідрохімічних показників полягає в тому, що вони пов'язані з наявністю у воді хімічних речовин, зазвичай розчинених. Вони, як правило, не можуть бути визначені за допомогою органів чуття. Тому потрібні методи, що дозволяють виявити наявність тих чи інших хімічних речовин у воді та визначити їхній вміст (концентрацію). Для цього можна використовувати гідрохімічний індекс забруднення води, який відноситься до категорії показників, що найчастіше використовуються для оцінки якості водних об'єктів. Цей індекс є типовим адитивним коефіцієнтом і є середньою часткою перевищення ГДК за строго лімітованим числом індивідуальних інгредієнтів і обчислюється за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (13.2)$$

де C_i – концентрація i -тої забруднюючої речовини у воді, мг/дм³; n – кількість показників, що використовуються для розрахунку індексу, $n=6$; $ГДК_i$ – граничнодопустима концентрація i -тої забруднюючої речовини у воді (або її нормативне значення), мг/дм³.

ІЗВ, як правило, розраховують строго за шістьма показниками, які можна вважати гідрохімічними, що мають найбільші значення наведених концентрацій, незалежно від того перевищують вони ГДК або ні. Якість води оцінюється за шкалою відповідно до значень ІЗВ, представлених у таблиці 13.3.

Таблиця 13.3 – Класифікація якості води в залежності від значення ІЗВ

Якість води	Значення ІЗВ	Клас якості води
Дуже чисті	до 0,2	I
Чисті	0,2–1,0	II
Помірно забруднені	1,0–2,0	III
Забруднені	2,0–4,0	IV
Брудні	4,0–6,0	V
Дуже брудні	6,0–10,0	VI
Надзвичайно брудні	>10,0	VII

Залежно від величини ІЗВ, ділянки водних об'єктів поділяють на класи (табл. 13.3). Встановлюється вимога, щоб індекси забруднення води порівнювалися для водних об'єктів однієї біогеохімічної провінції та подібного типу, для одного і того ж водотоку (за течією, у часі тощо), а також з урахуванням фактичної водності поточного року. Така класифікація досить умовна, хоча й використовується для інтегральної оцінки якості поверхневих вод.

13.1.3 Оцінка якості води за інтегральним індексом екологічного стану (ІЕС)

В даний час відсутня єдина, досить повна та збалансована комплексна методика оцінки якості води. Однак деякі з них дозволяють врахувати велику кількість аспектів екологічного стану води. До таких показників відноситься ІЕС, що обчислюється за формулою:

$$ІЕС = \frac{1}{n_b} \cdot \sum_{i=1}^{n_b} b_i, \quad (13.3)$$

де n_b – кількість показників, що використовуються для розрахунку індексу, $n_b = 4$; b_i – бали (від 1 до 4), що присвоюються кожному показнику відповідно табл. 13.4.

Таблиця 13.4 – Градації показників для обчислення бальної оцінки

Показник	b, бал			
	1	2	3	4
ГДК забруднюючої речовини, мг/л	<0,01	0,01-0,1	0,11-1,0	>1,0
Клас небезпеки забруднюючої речовини	1	2	3	4
ІЯВ, бали	1,6	1,6-2,5	2,6-4,0	>4,0
ІЗВ, бали	>4,0	2,1-4,0	1,0-2,0	<1,0

В табл. 13.4 наведені межі діапазонів для визначення оціночних балів за кожним окремим показником, в які входять як значення ГДК і класу небезпеки забруднюючої речовини, так і комплексні показники. Класифікація якості води на зони екологічного стану за величиною ІЕС здійснюється за табл. 13.5.

Таблиця 13.5 – Класифікація якості води в залежності від значення ІЕС

Клас якості води	Рівні порушення	Екологічний стан	Діапазон ІЕС
I	Л	екологічне лихо	≤1,69
II	К	екологічна криза	1,70-2,39
III	Р	напружена екологічна ситуація	2,40-2,99
IV	Н	відносно екологічне благополуччя	≥3,0

Межа між III і IV класами відповідає допустимому екологічному навантаженню (ДЕН), під яким розуміють антропогенне навантаження (що складається з окремих однорідних або різнорідних впливів), яке не змінює якості навколишнього природного середовища або змінює його в допустимих межах, забезпечуючи збереження або підвищення продуктивності спільноти (його

структурно-функціональної цілісності). Має характер перспективного нормативу, який можна досягти до певного терміну, тобто через заздалегідь обумовлений час перейти до категорії поточних нормативів.

Межа між II та III класами відповідає гранично допустимому екологічному навантаженню (*ГДЕН*) – максимальній інтенсивності комплексного та комбінованого впливу всієї сукупності антропогенних факторів на співтовариство, що не призводить до виходу екосистеми за межі екологічного резерву. Має характер поточного нормативу, допустимого з метою оцінки на співтовариство в цьому регіоні протягом заздалегідь обумовленого часу. Відповідає напруженій екологічній обстановці.

Межа між I і II класами відповідає критичному екологічному навантаженню, тобто інтенсивності антропогенних факторів у навколишньому середовищі, що викликають статистично достовірні зміни в показниках структурно-функціональної організації популяції або співтовариства, що виходять за межі адаптаційних можливостей біосистеми, яка історично сформувалася в конкретних умовах навколишнього середовища.

Катастрофічній екологічній обстановці (екологічному лиху) відповідає антропогенне навантаження, що викликає стійкий, незворотний негативний вплив на природні популяції, які супроводжуються їхньою загибеллю.

Отримані дані *ПЕС* є основою для прийняття рішення в галузі природоохоронної діяльності та вироблення першочергових заходів щодо ліквідації екологічного неблагополуччя.

13.2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати письмові відповіді на питання для самоконтролю.

Завдання 2. Оцінити якість води за загально-санітарним індексом якості води (*ІЯВ*).

Завдання 3. Оцінити якість води за інтегральним показником – гідрохімічним індексом забрудненості води (*ІЗВ*).

Завдання 4. Визначити інтегральний індекс екологічного стану (*ПЕС*) природних вод.

Вихідні дані наведені в табл. 13.6–13.8.

Таблиця 13.6 – Дані для розрахунку загально-санітарного індексу якості води

Варіант	Показники									
	Колі-індекс	Запах, бали	БСК ₅ , мг О ₂ /л	pH	Розчинний кисень, мг/л	Кольоровість, град	Завислі речовини, мг/л	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л
1	10 ⁸	1,5	6	7	7	25	5	2100	600	400
2	10 ⁷	5	8	8	9	25	15	1700	650	500
3	500	4	10	9	8	25	25	2900	700	600
4	900	2	12	10	3	25	35	3000	750	700
5	10	3	14	11	5	25	45	2300	800	800
6	10	4	4	12	7	25	55	2500	550	900
7	10 ⁶	5	3	6	9	35	65	2400	500	1000
8	10 ⁶	1,5	2	5	1	35	75	2300	450	1100
9	100	0	1,5	4	3	35	85	2200	400	1200
10	10	1	0,5	3	5	35	95	2100	350	1300
11	1	2	6	2	7	35	105	600	300	100
12	10 ⁵	3	8	7	9	35	110	900	250	200
13	10 ⁸	4	10	8	1	45	115	800	200	300
14	90	5	12	9	3	45	3	700	150	400
15	1	1,5	14	10	5	45	7	900	100	500
16	3	0	4	11	7	45	95	1000	50	300
17	5	1	3	12	9	45	85	1100	50	700
18	106	2	2	6	1	45	75	1300	100	800
19	108	3	1,5	5	3	55	65	1500	150	900
20	104	4	0,5	4	5	55	55	600	200	100
21	7	5	6	3	7	60	45	700	250	100
22	1	1,5	8	2	9	60	35	2900	300	1200
23	500	0	10	7	1	65	25	2800	350	1300
24	900	1	12	8	3	65	15	700	400	10
25	100	2	14	9	5	15	9	1000	450	200

Таблиця 13.7 – Результати хімічного аналізу води за вмістом у ній катіонів токсичних металів

Варіант	Концентрація C , мг/л								
	Al^{3+}	As^{3+}	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Hg^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
1	0,15	0,03	2,0	0,1	0,001	0,05	0,35	0,05	0,2
2	0,03	0,02	1,0	0,2	0,001	0,07	0,16	0,70	0,1
3	0,02	0,01	0,5	0,1	0,001	0,20	0,25	0,05	1,0
4	0,02	0,07	0,5	0,2	0,001	0,30	0,46	0,02	2,0
5	0,30	0,01	2,0	0,5	0,001	0,05	0,34	0,02	0,05
6	0,02	0,10	0,2	0,1	0,001	0,05	0,33	0,02	0,5
7	0,01	0,02	0,1	0,2	0,001	0,07	0,08	0,05	7,0
8	0,002	0,01	0,5	0,1	0,003	0,03	0,37	0,03	2,0
9	0,01	0,03	2,0	2,0	0,001	0,50	0,03	0,05	0,5
10	0,02	0,02	0,1	0,1	0,001	0,05	0,05	0,02	0,5
11	0,03	0,05	1,5	0,6	0,001	0,30	0,31	0,05	1,5
12	0,01	0,10	1,8	0,2	0,002	0,05	0,25	0,03	1,0
13	0,02	0,05	0,5	0,15	0,001	0,10	0,10	0,07	0,5
14	0,01	0,02	0,1	0,3	0,001	0,03	0,48	0,02	1,0
15	0,30	0,03	0,3	1,6	0,001	0,25	0,36	0,03	0,5
16	0,25	0,01	0,5	0,2	0,002	0,04	0,28	0,05	0,1
17	0,01	0,06	2,0	0,1	0,001	0,36	0,04	0,02	4,5
18	0,02	0,09	0,1	2,0	0,001	0,08	0,17	0,03	0,2
19	0,03	0,10	0,2	0,3	0,003	0,15	0,43	0,05	0,3
20	0,04	0,02	2,0	0,2	0,001	0,35	0,30	0,02	2,0
21	0,02	0,03	0,2	0,2	0,001	0,07	0,18	0,03	0,05
22	0,01	0,02	0,1	0,15	0,001	0,03	0,27	0,05	0,5
23	0,002	0,01	0,5	0,3	0,001	0,50	0,42	0,02	7,0
24	0,01	0,07	2,0	1,6	0,001	0,05	0,09	0,05	2,0
25	0,02	0,01	0,1	0,2	0,001	0,30	0,38	0,03	0,5

Таблиця 13.8 – Граничнодопустимі концентрації та клас небезпеки катіонів металів у воді

Показник	Метали								
	Al^{3+}	As^{3+}	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Hg^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
ГДК _в , мг/л	0,5	0,05	1	0,3	0,0005	0,1	0,1	0,3	5
Клас небезпеки	2	2	3	3	1	3	3	2	3

Порядок виконання завдання 2.

1. Визначаємо бали ω , які присвоюються кожному показнику, який входить до загально-санітарного індексу якості води, використовуючи дані таблиць 13.1 і 13.6.

2. Розраховуємо загально-санітарний $IЯВ$ за формулою (13.1).

3. Результати розрахунку представляємо у вигляді таблиці 13.9.

Таблиця 13.9 – Результати розрахунку ІЯВ

Показники	Вага, γ	Значення показника	Бал, ω	$\gamma \cdot \omega$
Колі-індекс	0,18	вихідні дані		
Запах, бали	0,13	вихідні дані		
БСК ₅ , мгО ₂ /л	0,12	вихідні дані		
pH	0,10	вихідні дані		
Розчинний кисень, мгО ₂ /л	0,09	вихідні дані		
Кольоровість, град	0,09	вихідні дані		
Завислі речовини, мг/л	0,08	вихідні дані		
Загальна мінералізація, мг/л	0,08	вихідні дані		
Хлориди, мг/л	0,07	вихідні дані		
Сульфати, мг/л	0,06	вихідні дані		
-				Σ ІЯВ

4. Визначаємо якісний стан води в залежності від величини ІЯВ, використовуючи дані таблиці 13.2.

Порядок виконання завдання 3.

1. Розраховуємо кратність перевищення (C_i/GDK_i) для вказаних забруднюючих речовин, використовуючи дані таблиць 13.7–13.8.

2. Обираємо шість компонентів, що мають найбільшу кратність перевищення.

3. Розраховуємо ІЗВ для обраних компонентів за формулою (13.2).

4. Результати розрахунків представляємо у вигляді таблиці 13.10.

Таблиця 13.10 – Результати розрахунків ІЗВ

Метали	Фактична концентрація забруднюючої речовини C_i , мг/л	GDK_i , мг/л	Величина C_i/GDK_i	Компоненти, що приймають участь у розрахунку ІЗВ
Al ³⁺	вихідні дані	0,5		
As ³⁺	вихідні дані	0,05		
Cu ²⁺	вихідні дані	1		
Fe ³⁺	вихідні дані	0,3		
Hg ²⁺	вихідні дані	0,0005		
Mn ²⁺	вихідні дані	0,1		
Ni ²⁺	вихідні дані	0,1		
Pb ²⁺	вихідні дані	0,3		
Zn ²⁺	вихідні дані	1		
-				Σ ІЗВ / 6

5. Визначаємо якісний стан води в залежності від величини ІЗВ, використовуючи дані таблиці 13.3.

Порядок виконання завдання 4.

1. Проводимо бальну оцінку величин $ГДК_i$ і класу небезпеки токсичних речовин, використовуючи дані таблиць 13.4 і 13.8. Розраховуємо середньоарифметичні значення балів. Результати оформлюємо у вигляді таблиці 13.11.

Таблиця 13.11 – Середньоарифметичні значення балів

Метали	$ГДК_i$, мг/л	Бали, b	Клас небезпеки	Бали, b
Al^{3+}	0,5	з таблиці 13.4	2	з таблиці 13.4
As^{3+}	0,05	з таблиці 13.4	2	з таблиці 13.4
Cu^{2+}	1	з таблиці 13.4	3	з таблиці 13.4
Fe^{3+}	0,3	з таблиці 13.4	3	з таблиці 13.4
Hg^{2+}	0,0005	з таблиці 13.4	1	з таблиці 13.4
Mn^{2+}	0,1	з таблиці 13.4	3	з таблиці 13.4
Ni^{2+}	0,1	з таблиці 13.4	3	з таблиці 13.4
Pb^{2+}	0,3	з таблиці 13.4	2	з таблиці 13.4
Zn^{2+}	1	з таблиці 13.4	3	з таблиці 13.4
-		Середнє значення	-	Середнє значення

Середні значення балів вносимо в таблицю 13.12.

Таблиця 13.12 – Результати розрахунків $ПЕС$

Показники	Величина показника	Бали, b
$ГДК_i$, мг/л	-	середнє значення
Клас небезпеки	-	середнє значення
$ІЯВ$, бали		з таблиці 13.4
$ІЗВ$, бали		з таблиці 13.4
-		$ПЕС=$

2. Проводимо бальну оцінку розрахованих раніше $ІЯВ$ і $ІЗВ$ за допомогою таблиці 13.4. Результати вносимо в таблицю 13.12.

3. Розраховуємо інтегральний індекс екологічного стану ($ПЕС$) за формулою (13.3).

4. Результати розрахунків представляємо у вигляді таблиці 13.12.

5. Оцінюємо якість води за інтегральним індексом екологічного стану ($ПЕС$), використовуючи дані таблиці 13.5.

Питання для самоконтролю

1. За якими показниками оцінюється якість води водних об'єктів?
2. Які показники входять до загально-санітарного індексу якості води?
3. Які показники використовуються для розрахунку інтегральним індексом екологічного стану?
4. Якої якості може бути вода в залежності від значення $ІЯВ$?
5. Якої якості може бути вода в залежності від значення $ІЗВ$?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90–100	відмінно
74–89	добре
60–73	задовільно
0–59	незадовільно

Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів складатиме не менше як 60 балів.

Максимальне оцінювання:

Теоретична частина	Практична частина		Разом
	При своєчасному складанні	При несвоєчасному складанні	
60	40	30	100

Практичні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної з роботи. Оцінювання практичних робіт здійснюється шляхом розрахунку середнього арифметичного балу за складеними практичними роботами.

Критерії оцінювання практичної роботи

За кожну практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

40 балів: виявлено підвищений рівень засвоєння обсягу знань і набуття вмінь; якісно, ретельно, самостійно та в повному обсязі виконано завдання. Матеріал викладено в логічній послідовності, без мовних помилок, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

30 балів: показано оволодіння достатнім обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, але з незначними неточностями; точність і чіткість мови, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

20 балів: недостатньо показано оволодіння обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано не самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, зміст роботи викладений не завжди у логічній послідовності, в роботі зафіксовані не значні помилки, а власні висновки студента не завжди відповідають темі практичного завдання.

10 балів: виявлено змістові й лексичні помилки, зміст роботи викладено не чітко й нелогічно, але продемонстровані знання й уміння в межах навчальної програми.

0 балів: наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Кобрюшко О.О., Перерва В.В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.
2. Злобін Ю.А., Кочубей Н.В. Загальна екологія: навчальний посібник (стереотипне видання). Вид-во: Університетська книга, 2023. 416 с.
3. Соломенко, Л. І. Загальна екологія : підручник / Л. І. Соломенко, В. М. Боголюбов, А. М. Волох ; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України. – 3-тє вид., випр. і допов. – Херсон : Олді-Плюс, 2020. – 352 с. – ISBN 978-966-289-349-6.
4. Матухно О.В., Мешкова А.Г., Сухарева М.В., Баранова Т.Є. Основи екології. Частина І: Конспект лекцій. – Дніпро: НМетАУ, 2016. – 52 с.
5. Матухно О.В., Мешкова А.Г., Сухарева М.В., Баранова Т.Є. Загальна екологія та неоекологія. Частина ІІ: Конспект лекцій. – Дніпро: НМетАУ, 2017. – 58 с.
6. Матухно О.В., Мешкова А.Г., Сухарева М.В., Баранова Т.Є. Загальна екологія та неоекологія. Частина ІІІ: Конспект лекцій. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 58 с.
7. Основи екології : навч.-метод. посібник / О. М. Древаль, О. Г. Янчик. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – 146 с.
8. Екологія : навч.-метод. посіб. / Володимир Худоба, Юлія Чикайло. – Львів : ЛДУФК, 2016. – 92 с.
9. Основи екології. Методичні матеріали для проведення семінарських, практичних занять з дисципліни «Основи екології». перероблений та уточнений. –Ужгород: видавництво ФОП Бреза А.Е., 2020. – 55 с.

Начальне видання

МИРОНОВА Інна Геннадіївна
КУЛІКОВА Дар'я Володимирівна
ФЕДОТОВ Вячеслав Вікторович

ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Видано в авторській редакції

Електронний ресурс
Підписано до видання 24.06.2024. Авт. арк. 5,75.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19