

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Методичні вказівки**  
**для виконання практичного заняття**  
**«Екологічні піраміди. Правило Ліндемана»**  
**з дисципліни «Екологія»**

для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека»  
освітня програма «Охорона праці»

Затверджено  
редакційно-видавничою радою  
університету,  
протокол № 3 від 06.11.2019 р.

Харків  
НТУ «ХП»  
2020

Методичні вказівки до виконання практичного заняття «Екологічні піраміди. Правило Ліндемана» з дисципліни «Екологія» для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека», освітня програма «Охорона праці», уклад. О. М. Древаль. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 16 с.

Укладач О. М. Древаль

Рецензент Л. А. Васьковець

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

## ВСТУП

Сонце – практично єдине джерело всієї енергії на Землі. Однак не вся енергія сонячного випромінювання може засвоюватися й використовуватися організмами. Лише близько половини світлового потоку, що падає на зелені рослини, поглинається фотосинтетичними елементами, і лише мала частка поглиненої енергії (від 1 до 5 %) запасається у вигляді біохімічної енергії (або енергії хімічних зв'язків) – енергії, що міститься в тканинах рослин (їх біомасі).

Більша частина сонячної енергії втрачається у вигляді тепла.

При переміщенні біомаси та енергії, що еквівалентна цієї біомасі, по трофічному ланцюгу з одного рівня на інший швидкість цього потоку (тобто кількість біомаси/енергії, що перейшла з одного трофічного рівня на інший, в одиницю часу) різко зменшується.

Втрати біомаси/енергії при переході з одного трофічного рівня на інший (більш високий) визначають кількість цих рівнів і співвідношення чисельності хижаків та жертв.

Кількість енергії, що передається з одного рівня на інший (у процентному відношенні), можна визначити згідно із законом Ліндемана.

Співвідношення таких показників кожного рівня трофічного ланцюга як кількість енергії, біомаси, організмів, з урахуванням закону Ліндемана, можна зобразити графічно у вигляді екологічних пірамід.

Знання та використання закону Ліндемана дозволяє зробити практичні висновки щодо ведення сільськогосподарського виробництва та раціонального природокористування.

*Метою заняття є практичне ознайомлення студентів з харчовими взаємовідносинами в екосистемах, екологічними пірамідами, закономірністю, що лежить в основі їхнього існування – правилом Ліндемана (правилом 10 %), а також набуття практичних навичок із розв'язання задач, пов'язаних з цим правилом.*

## 1. Загальні відомості

Одними із найважливіших взаємовідносин між організмами в екосистемі є *харчові* або *трофічні зв'язки*.

Енергетичні потреби організмів задовольняються в ланцюгах харчування.

*Ланцюги харчування (трофічні ланцюги)* – це шляхи перетворення енергії їжі від її джерела (зелені рослини) через ряд організмів на більш високі трофічні рівні.

*Трофічний рівень* – це сукупність усіх живих організмів, які належать до одного кільця харчового ланцюга. До першого трофічного рівня належать усі *продуценти* – утворювачі органічної речовини (рослини); до другого – усі *первинні консументи* (рослиноїдні або фітофаги); до третього – ті м'ясоїдні, що харчуються первинними консументами (хижаки); до четвертого – ті, що споживають інших м'ясоїдних і т. д.

Зазвичай у екосистемах нараховують не більше 3–4 трофічних рівнів.

Наприклад, для лісової системи характерним є такий трофічний ланцюг: *листяна підстилка – дощовий черв'як – дрізд – яструб-перепелятник*.

Прикладом довшого харчового ланцюга може бути послідовність організмів арктичного моря: *мікродорості* (фітопланктон) – *дрібні рослиноїдні ракоподібні* (зоопланктон) – *м'ясоїдні планктонофаги* (черв'яки, ракоподібні, молюски, голкошкірі) – *риби* (можливі 2–4 ланки послідовності хижих риб) – *тюлені* – *білий ведмідь*. Трофічні ланцюги наземних екосистем, як правило, коротші.

Таку різницю в кількості трофічних рівнів пояснюють значними відмінностями між водними та наземним середовищами, що зумовлено різною здатністю водних і наземних організмів пристосуватися до умов середовища. Так, у водних екосистемах біомаса та енергія рухаються швидко, оскільки ефективно переносяться від одного трофічного рівня до наступного. У наземних системах частина енергії швидко розсіюється, тому перенесення енергії від одного рівня до іншого виявляється менш ефективним.

Крім трофічних ланцюгів в екології є поняття *харчових (трофічних сіток)*.

*Трофічні сітки* – харчові взаємовідносини груп організмів в угрупованні, де всі живі істоти є об'єктом харчування інших, тобто тісно пов'язані між собою.

Вони утворюються тому, що практично будь-який член будь-якого харчового ланцюга одночасно є ланкою й в іншому трофічному ланцюзі, тобто він споживає і його споживають декілька видів інших організмів. Наприклад, койот (лучний вовк) може харчуватися майже 14 тис. видів тварин і рослин.

Існування трофічної сітки забезпечує стійкість екосистем: якщо змінюється чисельність популяцій певних видів, легко змінюються кормові об'єкти і сумарна продуктивність системи залишається постійною.

Розрізняють декілька видів трофічних ланцюгів:

- **пасовищні** або **ланцюги експлуататорів**, починаються із продуцентів. Для таких ланцюгів при переході з одного трофічного рівня на інший характерне збільшення розмірів особин при одночасному зменшенні густоти популяцій, швидкості розкладання й продуктивності біомаси, наприклад, ланцюг «трава – полівка – лисиця» або «трава – коник – жаба – чапля – шуліка»;

- **ланцюги паразитів** характеризуються зменшенням розмірів особини при збільшенні чисельності, швидкості розмноження та густоти популяцій. Наприклад, «яблуня – щитівка – наїзник» або «корова – тедзь – бактерії»;

- **детритні ланцюги**, які включають тільки редуцентів (наприклад, «опале листя – плісеневі гриби – бактерії»), схожі на ланцюги паразитів, але, якщо вони включають і детритофагів (черв'яків, личинок комах), то частково переходять у ланцюги експлуататорів і паразитів.

Трофічні рівні відображають структуру екосистеми. Співвідношення між числами, масою та енергією окремих трофічних структур або трофічних рівнів в екосистемі зображають у вигляді **екологічних пірамід**, сутність яких розкривають за допомогою числових та графічних зображень, відповідно до чого розрізняють такі різновиди екологічних пірамід чисел, біомас та енергії.

Американський еколог Р.Л. Ліндемман у 1942 р. сформулював правило, яке називають **правилом (законом) Ліндеммана**, або **правилом екологічної піраміди**, або **правилом «десяти відсотків»**:

- **з одного трофічного рівня екологічної піраміди може переходити на вищий у середньому не більше 10 % енергії, яка надійшла на попередній рівень.**

**Піраміди чисел (Елтона)** відображають чисельність організмів на кожному із трофічних рівнів харчового ланцюга (рис. 1).

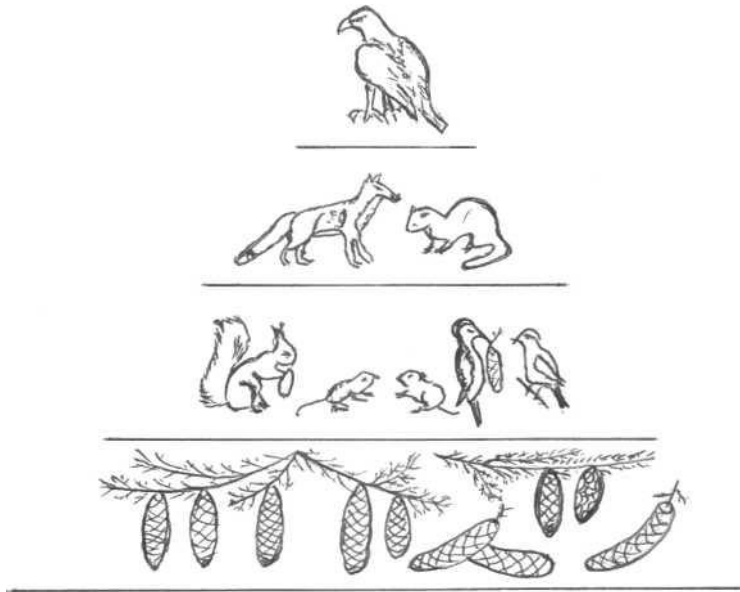


Рис. 1.1. Піраміда чисел (Елтона)

Дослідженнями встановлено, що в будь-якому середовищі рослин більше ніж тварин; рослиноїдних більше ніж м'ясоїдних; комах більше ніж птахів тощо.

Для пірамід чисел правило екологічних пірамід показує, що:

- **при переході з одного трофічного рівня на інший чисельність особин зменшується, а їх розміри збільшуються.**

Це правило поширюється на детритні трофічні ланцюги та ланцюги паразитів. У будові піраміди чисел спостерігається помітне різноманіття. Іноді вони можуть бути «перевернутими». Так, у лісі росте значно менше дерев (тобто первинних продуцентів), ніж комах (тобто рослиноїдних).

**Піраміди біомас** відображають величину мас органічної речовини (біомаси) на різних трофічних рівнях. Такі піраміди більш повно розкривають харчові взаємовідносини в екосистемі, оскільки показують біомасу на кожному трофічному рівні в певний момент.

Для пірамід біомас правило екологічних пірамід показує, що:

- **загальна біомаса на кожному наступному трофічному рівні зменшується.**

Форма піраміди біомас схожа на форму піраміди чисел, але є й винятки: у прісноводному середовищі первинна продуктивність забезпечується мікроскопічними організмами з високою швидкістю обміну речовин (біомаса мала, продуктивність велика). Недолік піраміди біомас полягає в тому, що в ній не розподіляються компоненти, які мають різний хімічний склад та різну енергетичну значущість.

**Піраміди енергії** відображають кількість енергії, накопиченої в біомасі або чистій продукції на різних трофічних рівнях будь-якої екосистеми. В основі пірамід завжди лежать показники першого трофічного рівня – продуцентів, над якими розташовують показники наступних трофічних рівнів. Піраміди енергії характеризують ефективність перетворення енергії й продуктивність харчових ланцюгів.

Для пірамід енергії правило екологічних пірамід показує, що:

- ***при переході з одного трофічного рівня на інший енергія витрачається в процесі життєдіяльності організмів у вигляді тепла та механічної роботи.***

Піраміди енергії будуються шляхом підрахування кількості енергії, яка акумульована одиницею поверхні за одиницю часу й використовується організмами на кожному трофічному рівні. Наскрізний потік енергії, проходячи трофічним ланцюгом екосистеми, поступово згасає, оскільки на всіх ланках цього ланцюга відбувається втрата енергії здебільшого у вигляді тепла.

На сьогодні вже встановлено, що в природі від одного трофічного рівня «населенню» наступного рівня передається доступної енергії в середньому не більше, а значно менше 10 %, і чим довший харчовий ланцюг, тим більше енергії витрачається. Цей закон дає змогу обчислювати необхідні земельні площі для забезпечення населення продуктами харчування та робити інші підрахунки.

## **2. Зміст і порядок проведення заняття**

2.1. Студенти об'єднуються у групи по 2–3 чоловіки або працюють індивідуально.

2.2. Викладач знайомить студентів з практичним заняттям.

2.3. Далі студенти працюють за такою схемою:

- вивчення теоретичного матеріалу;
- отримання варіанта розрахункового завдання;

- ознайомлення із завданням та виконання розрахунків згідно з картою завдань (додаток 1). Приклади розв'язання задач наведені у додатку 2;
- оформлення та захист звіту, відповіді на контрольні запитання.

2.4. Під час заняття викладач надає консультативну допомогу, контролює знання студентів шляхом усного опитування, виставляє у кінці заняття оцінку роботи студентів.

### 3. Зміст звіту

1. Назва та мета заняття.
2. Основні теоретичні положення щодо теми практичного заняття.
3. Умови розрахункових завдань, їхнє розв'язування та відповіді.

#### Контрольні запитання

1. Що називають трофічним ланцюгом?
2. Що називають трофічним рівнем?
3. Яка суть трофічного ланцюга та його значення для функціонування екосистеми?
4. Види трофічних ланцюгів. Сутність кожного з них.
5. Харчові (трофічні) сітки.
6. Чим забезпечується стійкість екосистем?
7. Сутність правила екологічної піраміди.
8. Види екологічних пірамід.
9. Сутність правила Ліндемана.

#### Контрольні завдання

##### Блок А

1. Користуючись правилом Ліндемана, побудуйте піраміди біомаси і чисельності для наступного харчового ланцюга: *рослини* → *коники* → *жаба* → *лелека*. Біомаса усіх рослин луки 40 тис. кг, одного рослинного пагона – 0,5 г (0,0005 кг), одного коника – 1 г, жаби – 10 г, лелеки – 2 кг.

2. Скільки фітопланктону необхідно для прогодування щуки масою 5 кг, якщо трофічний ланцюг складається з трьох ланок?

3. Скільки фітопланктону необхідно для прогодування чорноморської афаліни (дельфіна) масою 270 кг, якщо трофічний ланцюг складається з трьох ланок?

4. Визначте масу рослин, що необхідна для прогодування вовка масою 45 кг, якщо трофічний ланцюг складається з трьох ланок?

5. За правилом екологічної піраміди визначте скільки рослинної речовини необхідно для того, щоб у біогеоценозі могли існувати три рослиноїдні птахи масою 1 кг.

6. Трофічний ланцюг складається з трьох рівнів. Вовк набрав 1 кг маси. Скільки для цього знадобилося рослинної речовини?

7. За правилом екологічної піраміди визначте скільки рослинності необхідно, щоб прогодувати лисицю масою 32 кг.

### Блок Б

1. Користуючись правилом Ліндемана, визначити, скільки гектарів луки потрібно, щоб прогодувати людину масою 58 кг (із них 66 % становить вода). Суха біомаса трави з 1 м<sup>2</sup> луки становить 200 г за рік.

Ланцюг харчування: *лука* → *корова* → *людина*.

2. Користуючись правилом «десяти відсотків», визначити, яка площа (га) біогеоценозу може прогодувати тюленя масою 300 кг (із них 60 % становить вода), якщо суха біомаса планктону з 1 м<sup>2</sup> становить 600 г.

Ланцюг харчування: *планктон* → *риба* → *тюлень*.

3. Протягом одного року 1 га кукурудзяного поля поглинає 76 650000 кДж енергії, з яких тільки 23 % акумулюються у вигляді приросту сухої речовини. Складіть харчовий ланцюг і визначте скільки гектарів такого поля потрібно, щоб прогодувати людину протягом року, якщо за добу людині необхідно приблизно 10 000 кДж енергії.

4. Яка площа (га) луків необхідна, щоб прогодувати людину масою 70 кг (63 % становить вода)? Біопродуктивність трави з 1 м<sup>2</sup> становить 540 г.

5. Яка площа (га) луків необхідна, щоб прогодувати двох зайців масою по 13 кг (67 % маси становить вода)? Біопродуктивність трави з 1 м<sup>2</sup> становить 500 г.

6. Яка площа (га) необхідна, щоб прогодувати пуму масою 105 кг (64 % маси становить вода)? Біопродуктивність трави з 1 м<sup>2</sup> становить 630 г.

7. Визначте площу (га) поля, що необхідна для прогодування яструба масою 6 кг (суха речовина становить 40 %). Суха маса трави з 1 м<sup>2</sup> становить 300 кг.

8. Користуючись правилом екологічної піраміди визначте, яка площа (га) відповідного біогеоценозу може прогодувати одну особину останнього рівня в трофічному ланцюзі:

а) планктон → риба → тюлень (300 кг);

б) планктон → нехижі риби → щука (10 кг);

в) планктон → риба → рибоїдні птахи → орлан-білохвіст (5 кг);

г) рослини → безхребетні тварини → короп (3 кг).

З указаної маси 60 % становить вода. Суха маса планктону з 1 м<sup>2</sup> становить 600 г. Суха маса донної рослинності з 1 м<sup>2</sup> становить 1 000 г.

### Блок В

1. Миші за літо з'їли 80 кг зерна. Підрахуйте врожай зерна, що залишився (кг), якщо відомо, що приріст біомаси мишей наприкінці літа становить 0,02 % від врожаю.

2. Щуки у водоймищі з'їли 200 кг дрібної риби. Визначте приріст біомаси щук (кг), якщо перехід енергії з одного трофічного рівня на інший у цьому ланцюгу дорівнює 15 %, а дрібна риба становить 50 % раціону щук.

3. На острові можуть прогодуватися 60 антилоп із середньою масою 50 кг. У 1 кг їх тіла міститься 1 500 ккал енергії. Визначити масу рослин, що поїдаються антилопами, у тоннах, якщо у 1 кг рослин міститься 1 000 ккал.

4. Розрахуйте первинну продукцію верхового болота, в тоннах, де енергія хижаків 2-го порядку становить 3 000 ккал, якщо відомо, що 1 кг цієї продукції містить 150 ккал.

5. Відомо, що чиста енергія у лісі становила 4,6 тонни на рік. Розрахуйте, скільки буде енергії у хижаків 2-го порядку в цій екосистемі, якщо 10 кг первинної продукції містить 5 000 ккал енергії.

6. У 1 кг маси дятла (консумент другого порядку) міститься 3500 ккал енергії, а ККД фотосинтезу у лісі 2 %. Яка максимальна кількість птах із середньою масою тіла 100 г може прогодуватися у лісі, на поверхню якого потрапляє  $1 \cdot 10^7$  ккал енергії ?

7. Установлено, що 100 г хижої птахи (консумент третього порядку) містить 300 ккал енергії, ККД фотосинтезу у лісі становить 2 %. Яка максимальна кількість цих птах із середньою масою 0,5 кг зможе прогодуватися в угрупованні, на поверхню якого потрапляє  $4,5 \cdot 10^9$  ккал сонячної енергії ?

## ДОДАТКИ

### Додаток 1

#### Картка завдань

номер варіанта	номер завдання						
1	A1	A6	Б1	Б6	Б8Г	В1	В6
2	A2	A7	Б2	Б7	Б1	В2	В7
3	A3	A2	Б3	Б8а	Б2	В3	В5
4	A4	A6	Б4	Б8Б	Б5	В4	В1
5	A5	A3	Б5	Б8В	Б6	В5	В2

## Додаток 2

### Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** У лучному угрупованні живуть: гусениці, жайворонки, люцерна, шуліки. Складіть харчовий ланцюг.

**Відповідь:** люцерна → гусениці → жайворонки → шуліки

**Приклад 2.** На підставі правила екологічної піраміди визначте, скільки потрібно планктону, щоб у морі вироста одна особина калана (морська видра) масою 30 кг, якщо трофічний ланцюг має вигляд: фітопланктон, нехижі риби, хижі риби, калан.

Із правила екологічної піраміди відомо, що кожний наступний трофічний рівень має масу в 10 разів меншу за попередній. Знаючи це, розв'язання задачі відбувається наступним чином:

– складається трофічний ланцюг, починаючи з продуцентів

*фітопланктон → нехижі риби → хижі риби → калан;*

– знаючи, що маса калана становить 30 кг, а маса консументів другого рівня, яку він споживає, повинна бути у 10 разів більшою, підрахуємо масу хижої риби, якою він харчується:  $30 \times 10 = 300$  (кг); відповідно маса нехижої риби:  $300 \times 10 = 3000$  (кг); маса фітопланктону, яким харчується нехижа риба:  $3000 \times 10 = 30\,000$  (кг).

**Відповідь:** для того щоб у морі виріс один калан масою 30 кг, необхідно 30000 кг фітопланктону.

## Список літератури

1. Березуцький В. В. Екологія : навч. посіб. / В. В. Березуцький, Л. А. Васьковець, О. М. Древаль. – Харків : НТУ «ХПШ», 2016. – 420 с.
2. Запольский А. К. Основи екології : підруч. / А. К. Запольский, А. І. Салюк. – Київ : Вища шк., 2005. – 382 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Загальні відомості.....	4
2. Зміст і порядок проведення заняття.....	7
3. Зміст звіту.....	8
Контрольні запитання.....	8
Контрольні завдання.....	8
Додатки.....	11
Додаток 1.....	11
Додаток 2.....	12
Список літератури.....	13

Навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання практичного заняття

«Екологічні піраміди. Правило Ліндемана»

з дисципліни «Екологія»

для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека»,

освітня програма «Охорона праці»

усіх форм навчання

ДРЕВАЛЬ Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск проф. Березуцький В. В.

Роботу до видання рекомендувала проф. Пономаренко О. І.

Редактор Н. В. Верстюк

План 2019 р., поз. 273

Підп. до друку 20.05.20. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.  
Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_.  
Наклад 50 прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

---

Видавець Видавничий центр НТУ «ХП».  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---

Виготовлювач \_\_\_\_\_

---