

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК  
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**  
до проведення практичних робіт з дисципліни

**«БІОЛОГІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ  
СИСТЕМ І МЕТОДИ ЇЇ ОЦІНКИ»**

Одеса 2009

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК  
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**  
до проведення практичних робіт з дисципліни

**«БІОЛОГІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ  
СИСТЕМ І МЕТОДИ ЇЇ ОЦІНКИ»**

для студентів IV курсу природоохоронного факультету  
Спеціальність: «Водні біоресурси та аквакультура» та «Екологія та  
охорона навколишнього середовища» (спеціалізація «Гідроекологія»)

«Затверджено»  
на засіданні методичної комісії  
природоохоронного факультету  
Протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2009 р.

Одеса 2009

**Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки.** Збірник методичних вказівок до виконання практичних робіт з дисципліни «Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки» для студентів 4 курсу денної форми навчання за напрямком «Водні біоресурси» та «Екологія та охорона навколишнього середовища» (спеціалізація «Гідроекологія та водні дослідження»). – Одеса, ОДЕКУ, 2009. – 38 с.

Укладачі: старший викладач Тучковенко О.А.,  
асистент Крюкова М.І.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	4
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРВИННОЇ ПРОДУКЦІЇ ПЛАНКТОНУ</b> .....	6
<b>1.1</b> Визначення первинної продукції склянковим методом. Киснева модефікація. ....	6
<b>1.2</b> Визначення первинної продукції склянковим методом. Радіовуглецева модифікація.....	8
<b>1.3</b> Визначення первинної продукції склянковим методом. Розрахунок продукції за вмістом хлорофілу <i>a</i> в планктоні. ....	12
<b>2. МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ МОРСЬКОГО ФІТОПЛАНКТОНУ..</b>	15
<b>2.1</b> Методи вивчення морського фітопланктону Розрахунок чисельності фітопланктону ( <i>N</i> (кл/л)). ....	15
<b>3. ПРОДУКЦІЙНО-ДЕСТРУКЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ВОДОЙМИЩАХ</b> .....	19
<b>3.1</b> Участь водних організмів в процесах трансформації деструкції органічних речовин у водоймищах. ....	19
<b>4. ОСНОВНІ СПОСОБИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКЦІЇ ПОПУЛЯЦІЇ ВОДНИХ ТВАРИН</b> .....	23
<b>4.1</b> Продукція гетеротрофних бактерій і простих планктону. ....	23
<b>4.2</b> Продукція популяцій багатоклітинних тварин. ....	25
<b>4.3</b> Способи наближеної оцінки продукції популяцій тварин. ....	27
<b>5. ОСНОВНІ БІОЛОГІЧНІ ІНДЕКСИ, ЯКІ ОПИСУЮТЬ БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА ВИДОВЕ БАГАТСТВО</b> .....	28
<b>5.1</b> Індекси видового багатства та різноманіття. ....	28
<b>6. БАЛАНСОВА МОДЕЛЬ РОСТУ ТВАРИН</b> .....	30
<b>6.1</b> Вираження за допомогою математичних формул росту тварин для пояснення теорії росту. ....	30
<b>7. ОСНОВНІ СХЕМИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ</b> .....	34
<b>7.1</b> Продукція з позицій динаміки біомаси та чисельності популяцій. ....	34
<b>КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</b> .....	36
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	38

## ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки складені відповідно з програмою дисципліни „Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки”. Вони покликані допомогти студентам цілеспрямовано вивчити основні розділи дисципліни „Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки”, вибрати з літератури саме ті положення, що передбачаються робочою програмою. Методичні вказівки повинні полегшити роботу студентів при виконанні практичних робіт та при підготовці до модульних контрольних робіт.

Методичні вказівки конкретизують питання, представлені в робочій програмі, що підлягають обов’язковому засвоєнню студентами.

Метою вивчення дисципліни „Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки” є формування у студентів основних понять про продукцію, її види, способи утворення та методи її оцінки.

Загальний обсяг навчального часу становить 147 годин, з них на лекційний курс відводиться 45 години, на практичні заняття – 15 годин, на самостійну роботу студентів – 60 годин.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати що таке біологічна продуктивність водоймищ, її складові, абіотичні та біотичні фактори які впливають на її формування. Уявляти що таке рибопродуктивність водоймищ, як вона формується, від чого залежить. На основі отриманих теоретичних знань студенти повинні вміти визначати первинну та вторинну продуктивність водоймищ, розраховувати різними методами рибопродуктивність, визначати продукційні можливості водоймищ різного типу в залежності від стану їх кормової база, складу та чисельності іхтіофауни.

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно – модульної системи організації навчання. В дисципліні „Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки” використовується 2 змістовних модуля з теоретичної частини і 3 змістовних модуля з практичної частини. Крім того існує окремий змістовний модуль з наукової роботи.

В якості форми поточного контролю лекційних модулів використовується проведення 1 контрольних робіт з кожного змістовного модуля, практичних модулів – виконання практичних робіт по кожній із тем і усне опитування під час проведення практичних занять, а наукового модуля – виступ на університетських, республіканських студентських конференціях та публікація матеріалів тез доповідей цих виступів.

Критерії оцінки **лекційних модулів** – ЗМ-Л1 – 20 балів, ЗМ-Л2 – 20 балів; **практичних модулів** – ЗМ-П1 – 20 балів, ЗМ-П2 – 20 балів, ЗМ-П3 – 20 балів. Максимальна кількість балів – 100. За кожний пропуск заняття

(2 години) з неповажних причин знімається 1 бал. Підсумковим контролем є іспит.

До заліку допускаються студенти у яких фактична сума накоплених за семестр балів за практичну частину складає не менше 50% і за теоретичну частину складає не менше 50%. В іншому випадку студент вважається таким, що не виконав навчального плану дисципліни, і не допускається до іспиту.

## ВСТУП

Ця методична розробка є допоміжним матеріалом для виконання практичних робіт студентами з дисципліни „Біологічна продуктивність водних екологічних систем і методи її оцінки”. Вона включає 7 тем з біологічної продуктивності водних екологічних систем які входять до складу робочої програми:

- Методи визначення первинної продукції планктону;
- Методи визначення морського фітопланктону;
- Продукційно-деструкційні процеси у водоймищах;
- Основні способи розрахунку продукції популяцій водних тварин;
- Основні біологічні Індекси, які описують біорізноманіття та видове багатство
- Баласова модель росту;
- Основні схеми розрахунку продукційних показників.

Кожна робота містить конкретні теоретичні пояснення суттєвих положень даної теми та практичну частину, в якій детально описаний порядок виконання роботи, наведені завдання і вказані літературні розділи.

На останніх сторінках методичних вказівок є перелік контрольних питань та основної і допоміжної літератури.

# 1. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРВИННОЇ ПРОДУКЦІЇ ПЛАНКТОНУ

## Практична робота № 1.

### 1.1 Тема: Визначення первинної продукції склянковим методом. Киснева модефікація.

Для визначення первинної продукції планктону широкого поширення набув метод вимірювання швидкості фотосинтезу у воді, ув'язненій в спеціальні судини (склянки), в його кисневій і радіовуглецевій модифікаціях.

Киснева модифікація методу зазвичай застосовується при дослідженнях на озерах і водосховищах. Вона була запропонована Г. Г. Вінбергом в 1934 р. в результаті досліджень на підмосковному озері Білому. На цьому озері 25 травня 1932 р. були вперше зроблені вимірювання фотосинтезу планктону методом склянок з метою отримання кількісного виразу швидкості утворення органічних речовин в цьому водоймищі або його первинній продукції. Ця піонерська робота відкрила цілу епоху в гідробіології і поклала початок планомірним продукційним дослідженням різних водоймищ.

**В основі методу** лежить визначення кисню у воді з водоймища, поміщеній в склянки. Для спостереження використовують склянки з білого скла об'ємом 100—200 мл з притертими пробками, причому об'єм кожної склянки повинен бути точно відомий. При цьому третя частина всіх склянок повинна бути спеціально затемнена. Зазвичай для цього їх заздалегідь ретельно завертають в щільну світлонепроникну матерію, дерматин. Три склянки — *контрольну* (початкову), *світлу* (незатемнену) і *темну* — заповнюють водою з одного батометра, узятого з досліджуваного водоймища. У контрольній склянці розчином хлористого магнію і їдкою лугу негайно «фіксують» розчинений у воді кисень для визначення початкового змісту кисню у воді. Заповнені водою темні і світлі склянки зазвичай поміщають у воду досліджуваного водоймища на певний час. *Час експозиції* склянок найчастіше складає одну добу, оскільки за цей час проходять всі циклічні добові зміни умов у водоймищі (освітленості, температури і так далі). В окремих випадках час експозиції може бути більше і менше діб. Після експозиції склянок в них фіксується розчинений у воді кисень. **Валову первинну продукцію (A)** за час експозиції склянок визначає по різниці вмісту кисню в світлій і темній склянках в кінці експозиції. По зменшенню вмісту розчиненого кисню у воді затемненої склянки, в порівнянні з початковим визначають швидкість **деструкції органічних речовин**, пов'язаної з витратами на обмін організмів планктонного співтовариства (**R**). **Чиста первинна продукція** є

різницею  $A-R$ . Чисту продукцію планктону слід відрізнити від чистої продукції фітопланктону, яка є валовим фотосинтезом за вирахуванням витрат кисню на дихання тільки фітопланктону. Остання величина не піддається прямому вимірюванню і найчастіше залишається невідомою або оцінюється непрямим чином. Зазвичай приймають, що витрати на дихання фітопланктону в середньому досягають 15—20 % валовій первинній продукції.

#### **Приклад розрахунку.**

Початковий вміст кисню у воді ( $O_{поч}$ ) складав 10,1 мг/л. За час добової експозиції склянок в озері вміст кисню в світлій склянці ( $O_{св}$ ) зріс до 12,4 мг/л, а в темній ( $O_{тм}$ ) знизилося до 8,2 мг/л.

**Визначити:**

1. Валову первинну продукцію.-  $A$
2. Швидкість дихання планктонного співтовариства -  $R$
3. Чисту продукцію –  $A-R$

#### **Звідси валова первинна продукція**

$$A = O_{св} - O_{тм}$$

$$A = 12,4 - 8,2 = 4,2 \text{ мг О/(л·д)}$$

( Або 59,75 Дж/(л·д), або 2,9 міліграм Ов/(л·д), або 13,4 мг С/(л·д));  
(при переведенні в інші одиниці вимірювання);

#### **швидкість дихання планктонного співтовариства**

$$R = O_{поч} - O_{тм}$$

$$R = 10,1 - 8,2 = 1,9 \text{ мг О/(л·д)};$$

#### **чиста первинна продукція**

$$A-R = O_{св} - O_{поч}$$

$$A-R = 12,4 - 10,1 = 2,3 \text{ мг О/(л·д)}.$$

Застосування кисневого методу в оліготрофних водах обмежене із-за його невисокої чутливості. Цей метод можна упевнено використовувати для водоймищ, зміст хлорофілу а у воді яких не менше 1 мг/м<sup>3</sup>.

**Таблиця початкових даних**

<b>Варіант</b>	<b><math>O_{поч}</math> (мг/л)</b>	<b><math>O_{св}</math> (мг/л)</b>	<b><math>O_{тм}</math> (мг/л)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	10,2	12,5	8,1
2	11,3	13,2	9,6
3	11,6	14,1	9,4
4	12,1	14,7	10,1
5	9,8	11,2	7,6
6	10,9	13,0	10,1



Продовження таблиці

1	2	3	4
7	11,7	13,5	10,6
8	12,4	14,2	12,1
9	13,4	15,5	11,6
10	14,6	16,1	13,1
11	13,3	15,9	12,3
12	10,6	12,8	8,4
13	10,9	12,5	9,6
14	10,8	12,5	8,1
15	11,6	13,2	9,4
16	11,3	14,1	9,6
17	12,1	14,1	8,3
18	10,8	12,1	10,6
19	12,9	13,5	10,1
20	11,3	13,2	10,1
21	10,4	12,2	8,6
22	13,5	16,2	12,4
23	14,3	15,5	11,1
24	12,9	13,5	10,5
25	11,6	13,0	12,1
26	13,4	14,6	9,8
27	12,5	13,8	10,4
28	10,7	12,2	8,7
29	12,3	13,4	11,6
30	13,8	15,8	12,9

## Практична робота № 2.

### 1.2 Тема: Визначення первинної продукції склянковим методом. Радіовуглецева модифікація.

*Радіовуглецева модифікація склянкового методу* – вивчення первинної продукції планктону застосовується на оліготрофних водоймищах, включаючи основні морські і океанічні води. Вперше ця модифікація була використана Стіман-Нільсеном в 1950 р. під час робіт данської морської експедиції на судні «Галатей».

Радіовуглецева модифікація зводиться до наступного. У пробу води вносять ізотоп вуглецю  $^{14}\text{C}$  у вигляді карбонату або гідрокарбонату натрію з відомою радіоактивністю. Після деякої експозиції склянок воду з них фільтрують через мембранний фільтр і визначають на фільтрі радіоактивність кліток планктону.

**Швидкість фотосинтезу** (мг С/л) розраховується по формулі:

$$A = \left( \frac{r_d}{R_d} \right) C$$

де

$C$  – вміст  $CO_2$  у воді, (мг С / л);

$r_d$  – радіоактивність планктону на фільтрі;

$R_d$  – радіоактивність речовини, внесеної до склянки.

Радіовуглецева модифікація склянкового методу майже на два порядки *чутливіше* за кисневу модифікацію. Це дозволяє використовувати її для спостережень за первинною продукцією оліготрофних водоймищ і на таких глибинах в продуктивніших водах, де фотосинтез по приросту кисню неощутим. Погрішність радіовуглецевої модифікації може бути пов'язана з наявністю так званої позаклітинної продукції, що не враховується стандартними методами, і руйнуванням кліток фітопланктону при фільтрації проб води через мембранні фільтри. **Позаклітинною** або **екстра целюлярною** продукцією називають прижиттєве виділення клітками водоростей в зовнішнє середовище продуктів фотосинтезу.

Стандартні методи не здатні враховувати розчинені продукти фотосинтезу, що приводить до помилки від 1 до 50%. Продукція розчинених органічних речовин (РІВ), що ототожнюється часто з позаклітинною продукцією фітопланктону, в оліготрофних водах може бути соизмерима з продукцією зваженої органічної речовини. Розроблені спеціальні методи визначення позаклітинної продукції, достатньо детально викладені в роботі В. В. Бульона.

Одна із слабких сторін радіовуглецевої модифікації полягає в тому, що частина радіовуглецю, що асимілює, виділяється водоростями при диханні, не враховується. Тому за допомогою цієї модифікації набувають невизначених значень первинної продукції, які виявляються близькими до значень або чистої, або валової продукції.

Для визначення валової первинної продукції вимірюють швидкість фотосинтезу планктону на декількох горизонтах фотичної зони. Ця зона обмежена поверхнею води і глибиною, якою досягає 1 % сонячній радіації, що приходить, тобто завглибшки, рівною приблизно  $2,5 S$  ( $S$  — прозорість води (м), зміряна за допомогою білого диска). Зазвичай спостереження за швидкістю фотосинтезу проводяться на горизонтах, відповідних глибинам, рівним  $0,25 S$ ,  $0,5 S$ ,  $1 S$ ,  $2 S$ ,  $3 S$ . Склянки з пробами прикріплюють за допомогою спеціальних пристосувань (штативів, затисків, гачків і тому подібне) до троса, який встановлюється у водоймищі у вертикальному

положенні. Системи кріплення повинні забезпечувати можливість швидкого і зручного прикріплення і зняття склянок.

Розрахунки первинної продукції під 1 м<sup>2</sup> поверхні водоймища враховують швидкість фотосинтезу планктону на декількох горизонтах фотичної зони, вибраних відповідно до прозорості води.

Для визначення «**потенційного фотосинтезу**» за допомогою радіовуглецевої модифікації склянкового методу склянки можуть експонуватися поза водоймищем в спеціальних акваріумах. Дані про потенційний фотосинтез дають можливість оцінити відносну продуктивність досліджуваних вод.

За допомогою обох модифікацій склянкового методу зазвичай отримують наступні найважливіші характеристики первинної продукції:

- 1) добову швидкість фотосинтезу в 1 м<sup>3</sup> води у поверхні водоймища ( $A_s$ );
- 2) добову швидкість фотосинтезу в 1 м<sup>3</sup> на глибині з оптимальними світловими умовами ( $A_{opt}$ ), причому часто ці два показники співпадають;
- 3) добовий фотосинтез під 1 м<sup>2</sup> поверхні водоймища ( $UA$ ); визначення цієї величини необхідне, наприклад, для порівняння енергії первинної продукції з енергією сонячної радіації, падаючої на поверхню водоймища;
- 4) кількість первинної продукції за сезон або за рік.

#### Приклад розрахунку.

По радіоактивності планктону в темній склянці можна судити про значення темпової асиміляції  $CO_2$  мікрофлорою і адсорбції  $^{14}CO_2$  фільтрами. Концентрація діоксиду вуглецю і воді складає 20 мг С/л.

1) Отримати накопичену водоростями радіоактивність  $r_d$

2) Розрахувати швидкість фотосинтезу  $A$

У світлу і темну склянки внесли розчин  $Na^{14}CO_3$  радіоактивністю 1 млн імп/хв ( $R_d$ ). Після добової експозиції радіоактивність планктону в світлій склянці ( $r_{d1}$ ) склала 20 тис. імп/хв, а в темній склянці ( $r_{d2}$ ) – 2 тис. імп/хв. По радіоактивності планктону в темній склянці можна судити про значення темпової асиміляції  $CO_2$  мікрофлорою і адсорбції  $^{14}CO_2$  фільтрами. Концентрація діоксиду вуглецю і воді складає 20 мг С/л.

Враховуючи сказане, можна отримати, що **накопичена водоростями радіоактивність**

$$r_d = r_{d1} - r_{d2} = 20 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3 = 18 \cdot 10^3 \text{ імп/хв}$$

**швидкість фотосинтезу**  $A = 18 \cdot 10^3 / 10^6 \cdot 20 = 0,36 \text{ мг С/(л·д)}$ .

Це еквівалентно 16,11 Дж/л, або 0,78 мг Ов/л, або 1,12 мг О<sub>2</sub>/(л·д).

**Таблиця початкових даних**

<b>Варіант</b>	$r_{d2}$ імп/хв	$r_{d1}$ імп/хв	$Na_{14}CO_3$ $R_d$ імп/хв
1	3000	30000	1000000
2	3000	20000	1000000
3	2000	10000	1000000
4	1000	40000	1000000
5	4000	30000	1000000
6	3000	10000	1000000
7	1000	20000	1000000
8	2000	40000	1000000
9	2000	30000	1000000
10	3000	30000	1000000
11	3000	20000	1000000
12	2000	20000	1000000
13	1000	30000	1000000
14	3000	20000	1000000
15	2000	10000	1000000
16	2000	40000	1000000
17	4000	20000	1000000
18	3000	50000	1000000
19	2000	30000	1000000
20	3000	40000	1000000
21	5000	30000	1000000
22	1000	10000	1000000
23	2000	50000	1000000
24	4000	30000	1000000
25	2000	20000	1000000
26	4000	50000	1000000
27	5000	20000	1000000
28	3000	30000	1000000
29	1000	40000	1000000
30	4000	40000	1000000

### Практична робота № 3.

#### 1.3 Тема: Визначення первинної продукції склянковим методом. Розрахунок продукції за вмістом хлорофілу а в планктоні.

Визначення змісту хлорофілу в планктоні дозволяє:

- 1) виразити біомасу фітопланктону в абсолютних одиницях маси;
- 2) розрахувати значення первинної продукції планктону по концентрації хлорофілу, яка закономірно зв'язана із швидкістю утворення органічних речовин в процесі фотосинтезу.

Вперше зміст хлорофілу був визначений Е. М. Крепсом і Н. А. Вержбіцкой в 1930 р. при вивченні планктону Баренцева моря. В даний час визначення змісту хлорофілу а в планктоні широко використовується при дослідженнях первинної продукції планктону в різних водоймищах.

Суть методу полягає в тому, що тим або іншим способом екстрагують хлорофіл і концентрацію хлорофілу а визначають на спектрофотометрах або флуорометрах. Зазвичай фітопланктон з відомого об'єму води концентрують фільтруванням на мембранному фільтрі, висушують, а потім екстрагують з нього пігменти в певному об'ємі 90%-ного ацетону.

Рівняння для розрахунку кількості хлорофілу а, прийняте робочою групою ЮНЕСЬКО, має вигляд:

$$C_{chl} = (11.64 \cdot E_{663} - 2.16 \cdot E_{645} + 0.1 \cdot E_{630})v / VL$$

де  $C_{chl}$  – концентрація хлорофілу а (мг/м<sup>3</sup>);

$E_{663}$ ,  $E_{645}$ ,  $E_{630}$  – екстинкція (ослаблення світла) при довжині хвиль 663, 645, 630 нм відповідно;

$v$  – об'єм екстракту (мл);

$V$  – об'єм проби (л);

$L$  – довжина світлового шляху в екстракті (см).

У значення, отримані в червоній частині спектру при вказаних значеннях екстинкції, слід вносити поправку, віднімаючи з них оптичну щільність екстракту на довжині хвилі 750 нм. Враховується неспецифічне поглинання світла на цій довжині хвилі, пов'язане з каламутністю, різними суспензіями і тому подібне.

Для розрахунку первинної продукції за вмістом хлорофілу в планктоні необхідно знати так зване *асиміляційне число*. *Асиміляційним числом* (АЧ) називають відношення всієї кількості хлорофілу а до швидкості фотосинтезу і виражається в міліграмах органічної речовини, синтезованої за 1 ч, на 1 міліграмі хлорофілу в умовах освітленості, до яких дана

система пристосована. Асиміляційне число прийнято виражати в мг С/мг хлорофілу а за добу (САЧ) або годину. Деякі дослідники виражають його в одиницях маси кисню, що виділяється при фотосинтезі, або  $\text{CO}_2$ , що асимілює в його процесі.

**Максимальні значення АЧ** для озер різних широт знаходяться в межах 3,2—33 мг О/(мг-ч), або 1 — 10 мг С/(мг-ч). **Середнє асиміляційне число** на глибині оптимального фотосинтезу залежить від трофічного статусу водоймища і фізіологічного стану водоростей і рівний приблизно 2 мг С/(мг-ч). Вміст хлорофілу а ( $\text{мг/м}^3$ ) в озерах і водосховищах знаходиться в наступних межах: оліготрофні – 1, мезотрофні – 1—10, евтрофні – 10—100, високоевтрофні – 100.

Значення первинної продукції для шару води, де умови для фотосинтезу найбільш сприятливі, може бути отримано множенням значення змісту хлорофілу а на АЧ або САЧ. Оскільки нижче і вище за цей шар умови для фотосинтезу погіршуються, загальна продукція в стовпі води або на одиницю поверхні дзеркала водоймища може бути розрахована тільки з урахуванням відхилення освітленості від оптимального значення на різних ділянках фотичної зони.

### **Приклад розрахунку.**

#### **1. Визначити концентрацію хлорофілу а.**

Планктон з 0,5 л озерної води ( $V = 0,5$  л) був сконцентрований на мембранному фільтрі. Пігменти екстрагували в 5 мл ацетону ( $v=5$  мл). За допомогою спектрофотометра в кюветах довжиною 1 см були набуті наступних значень оптичної щільності екстракту:  $E_{663}=0,050$ ;  $E_{645}=0,030$ ;  $E_{630}=0,010$ ;  $E_{750}=0,002$ . Після внесення поправок на екстинкцію (віднімаючи  $E_{750}$ ) отримуємо:

$$C_{хл} = (11.64 \cdot 0.048 - 2.16 \cdot 0.028 + 0.1 \cdot 0.008)5 / 0.5 \cdot 1 = 5.28 \text{ мг/м}^3.$$

**Таблиця початкових даних**

<b>Варіант</b>	$E_{663}$	$E_{645}$	$E_{630}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0,050	0,040	0,020
2	0,060	0,030	0,010
3	0,050	0,050	0,010
4	0,070	0,020	0,020
5	0,060	0,030	0,020
6	0,050	0,030	0,010

Продовження таблиці

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
7	0,060	0,040	0,010
8	0,050	0,030	0,020
9	0,070	0,050	0,010
10	0,060	0,020	0,010
11	0,050	0,030	0,020
12	0,050	0,040	0,020
13	0,060	0,030	0,030
14	0,040	0,030	0,010
15	0,060	0,030	0,020
16	0,040	0,020	0,010
17	0,070	0,040	0,030
18	0,050	0,010	0,010
19	0,040	0,020	0,010
20	0,050	0,030	0,010
21	0,040	0,040	0,010
22	0,070	0,040	0,030
23	0,040	0,010	0,010
24	0,060	0,030	0,010
25	0,050	0,020	0,020
26	0,040	0,020	0,010
27	0,070	0,030	0,020
28	0,050	0,040	0,020
29	0,070	0,050	0,030
30	0,060	0,020	0,010

## 2. МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ МОРСЬКОГО ФІТОПЛАНКТОНУ

### Практична робота № 4.

#### 2.1 Тема: Методи вивчення морського фітопланктону. Розрахунок чисельності фітопланктону ( N(кл/л)).

Термін «фітопланктон» відноситься до фотосинтезуючих мікроскопічних одноклітинних і колоніальних водоростей, що вільно парящими в товщі води і здійснюють фотосинтез завдяки використанню енергії сонячної радіації, проникаючої в поверхневі горизонти водоймища. У морських водах найбільш масовими, такими, що викликають «цвітіння» води, є діатомові і перидинесві водорості.

Фотосинтез – основний процес новоутворення органічної речовини у водоймищах у формі біомаси хлорофилл-вмісних організмів рослинного царства. Органічна речовина кліток водоростей разом з їх виділеннями – початкове джерело живлення (перша ланка в харчовому ланцюзі) гетеротрофних організмів, що населяють водоймище. Крім того, що виділяється при фотосинтезі у воді кисень надає великий вплив на багато фізико-хімічних властивостей природних вод, визначаючи умови життєдіяльності всіх організмів, що населяють водоймище.

#### 1. Реактиви і їх приготування

1. Розчин бікарбонату натрію ( $NaHCO_3$ ). У 100 мл дистильованої води, готують насичений розчин  $NaHCO_3$ .
2. Формалін 40%-ний нейтралізований. У 40%-ний формалін по краплях при постійному перемішуванні додають розчин  $NaHCO_3$  до появи нейтральної реакції (перевіряють лакмусовим папірцем). Наявність осідання у формаліні не допускається.
3. Розчин Люголя і оцетової кислоти. У темній склянці готують наступний розчин: 20 г  $KI$  + 200 мл дистильованої води + 10 г  $I_2$  + 20 г  $CH_3COOH$ .

#### 2. Способи відбору проб фітопланктону (батометри, планктонні сітки).

Проби фітопланктону відбирають на заданих станціях на стандартних гідрологічних горизонтах: 0, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300 м, включаючи шар температурного стрибка, а також рівні водної товщі під і над ним. Для водоймищ різного типу глибина нижнього горизонту міняється. У мілководних водоймищах – це максимальна глибина водоймища. У глибоководних – це глибина фотичного шару, яка приблизно визначається по диску Секки.



**Батометри.** У практиці гідробіологічних досліджень для кількісного обліку фітопланктону найчастіше застосовуються батометри Нансена, Рутнера, Ван-Дорну і Кеммерера.

Проби води для дослідження фітопланктону в продуктивних водах відбирають об'ємом 0,5—1 л з кожного горизонту, в збіднених — по 2 л. Якщо передбачено також визначення складу пігментів, то воду для цих аналізів слід відбирати з одного батометра.

**Планктонна сітка.** Планктонна сітка призначена для тотального збору планктону при простяганні сітки через стовп води, що обловлюється. Така сітка складається з металевого кільця і пришитого до нього конічної форми мішка з так званого млинового газу. Сітка закінчується металевим стаканчиком, в якому збирається осад планктону при фільтрації води через мельничний газ.

Для збору фітопланктону рекомендується сітка Джеді (велика сетка Джеді – БСД) з шовкового сита № 62—77 або капронового сита № 70, призначена для вертикального облову горизонтів, що рекомендуються.

Сітку опускають з швидкістю не більше 1,2—1,5 м/с. При підході сітки до заданого горизонту визначають кут нахилу троса, виводять сітку на потрібний горизонт і починають підйом сітки з швидкістю не більше 0,7—0,8 м/с. На борту вміст сітки зливають в заздалегідь приготовану для цієї мети банку з етикеткою, потім сітка із закритим краном знов опускають за борт так, щоб у воді знаходився лише газовий конус сіть піднімають і її вміст зливають в загальну пробу.

### **3. Кількісна обробка проб фітопланктону**

#### **(осадочний метод, метод фільтрації, метод центрифугування)**

В даний час застосовують декілька способів концентрації фітопланктону: 1 – метод осадження; 2 – метод фільтрації; 3 – метод центрифугування.

**Осадковий метод.** Метод концентрації проби фітопланктону, що рекомендується, полягає в наступному: фіксовані проби відстоюють протягом 12—15 днів і більш (при об'ємі проби 1 л) в нерухомому стані, краще в затемненому місці, використовуючи для цієї мети скляну банку або циліндр. При меншому об'ємі проби час відстоювання може бути скорочене: для 200 мл – до 4 доб., для 100 мл – 48 ч, для 10 мл – 12 ч. За вказаний час переважна частина водоростей осідає на дно судини.

Після осадження планктону проби концентрують шляхом зливання по краплях середнього шару води при швидкості падіння рівня в пробі декілька меншою, ніж 3 см/ч, до об'єму 30—80 мл (з первинної проби об'ємом 0,5—1 л). Для цього використовують спеціально розроблений сифон В. Г. Богоровим.

**Метод фільтрації, або метод мембранних фільтрів.** Цей метод придатний для концентрації живого і зафіксованого фітопланктону. Проте кращі результати отримують при попередній консервації планктону одним з фіксаторів. Об'єм фільтрованої проби може варіювати залежно від щільності планктону – від 1 до 200 мл на 1 см<sup>2</sup> поверхні фільтру. Тому попередній перегляд неконцентрованого живого матеріалу проби повинен передувати процедурі фільтрування.

Фільтраційний метод концентрації фітопланктону особливо зручний при обробці проб з низьким змістом неорганічних солей і детриту, а також з малою щільністю організмів. Тому застосування фільтраційної техніки на практиці дає тим більше надійний результат, чим більш оли-готрофен водоймище і чим менше природна жорсткість води.

**Метод центрифугування.** Цей метод зазвичай застосовують для концентрації живого матеріалу проб, якщо початкова щільність природного фітопланктону достатньо низка і пряме мікроскопування вмісту вибірки утруднене. Після центрифугування в сконцентрованому матеріалі опиняється можливим облік жгутикових, в'їчастих і інших дрібних і ніжних форм.

Процедурна простота методу дозволяє рекомендувати його як стандартну операцію концентрації живого планктону у всіх випадках, коли є відповідна центрифуга. Для отримання оптимальної щільності зазвичай виявляється достатнім збільшити початкову щільність в сконцентрованому матеріалі в 10–50 разів. Цього досягають центрифугуванням 20–50 мл проби протягом 20–30 мін при 1000–1500 об/мін. Верхній шар води обережно видаляють сифоном (кінець якого затягнутий газом) до об'єму, що становить 1/10–1/50 від початкового. Осад, що складається з живих клітин, ресуспензують (круговим помішуванням) в об'ємі води, що залишився, і суспензію кліток проглядають в камері.

Сконцентровані і законсервовані проби забезпечують новою етикеткою, на яку переносять основні відомості з польового журналу. Отримані таким чином проби слід зберігати щільно закупореними в прохолодному, затемненому місці.

$$N = \frac{Чк \cdot Vск}{Vк},$$

де  $Чк$  – кількість водоростей (клітин) у пробі, шт;

$V$  – об'єм змиву води для концентрування проби, мл;

$Vск$  – об'єм сконцентрованої проби, мл;

$Vк$  – об'єм камери для обробки проби, мл.

#### **Приклад розрахунку.**

$V$  – об'єм змиву води для концентрування проби = 970 мл;

$Vск$  – об'єм сконцентрованої проби = 30 мл;

$Ч_k$  – кількість водоростей (клітин) у пробі = 547 шт.;

$V_k$  – об'єм камери для обробки проби = 0,05 мл.

Таким чином, у 30 мл сконцентрованої проби, або 1 л (970+30 мл) не сконцентрованої чисельність клітин складає:

$$N = \frac{547 \cdot 30}{0.05} = 328.2 \cdot 10^3 \text{ кл./л.}$$

**Таблиця початкових даних**

№ варіанта	$V$ (мл)	$V_{ск}$ (мл)	$V_k$ (мл)	$Ч_k$ (шт.)
1	975	25	0,05	547
2	950	50	0,1	628
3	965	35	0,05	984
4	980	20	0,1	1024
5	970	30	0,05	794
6	960	40	0,1	523
7	975	25	0,05	1378
8	950	50	0,05	1123
9	965	35	0,05	825
10	980	20	0,05	974
11	970	30	0,05	575
12	960	40	0,1	598
13	975	25	0,05	623
14	950	50	0,05	678
15	965	35	0,1	786
16	980	20	0,05	1024
17	970	30	0,05	794
18	960	40	0,1	523
19	980	20	0,05	1023
20	975	20	0,1	825
21	950	30	0,05	974
22	965	40	0,05	575
23	980	25	0,05	598
24	970	50	0,05	623
25	960	35	0,05	678
26	975	20	0,1	786
27	950	30	0,05	1024
28	965	40	0,05	794
29	980	20	0,1	523
30	970	20	0,05	1023

### 3. ПРОДУКЦІЙНО-ДЕСТРУКЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ВОДОЙМИЩАХ

#### Практична робота № 5.

#### 3.1 Тема: Участь водних організмів в процесах трансформації і деструкції органічних речовин у водоймищах.

В процесі дихання тварини розсіюють в навколишній простір енергію, кількість якої еквівалентна спожитому ними кисню або деструкції певної кількості органічних речовин. Таким чином, знаючи швидкість обміну речовин у окремих особин і їх кількість, можна оцінити роботу, мінералізації популяцій конкретних видів або співтовариств тварин

Швидкість споживання кисню тваринами — найбільш доступний показник швидкості обміну речовин (метаболізму) у них. Це особливо справедливо для гідробіонтів, оскільки вміст кисню у воді вимірюється порівняно простими методами, а результати, що одержують відрізняються достатньою точністю.

Розрахунок кількості розчиненого у воді кисню проводять за формулою:

$$O_2 = \frac{n \cdot 8 \cdot N \cdot 1000}{V},$$

де  $n$  – кількість гідросульфату, якій використано на титрування, мл;

8 – еквівалент кисню;

$N$  – нормальність гідросульфату;

1000 – коефіцієнт для перерахунку результатів на 1 л;

$V$  – кількість розчину, взятого на титрування, мл.

Якщо титрується не весь об'єм склянки, то формула перерахунку має вид:.

$$O_2 = \frac{n \cdot 8 \cdot N \cdot 1000}{(V_1 - V_2)},$$

де  $V_1$  – об'єм склянки, мл;

$V_2$  – об'єм реактивів для фіксації кисню, які були внесені у склянку, мл.

**Швидкість споживання кисню тваринами** — кількість кисню, спожитого однією особиною за одиницю часу (швидкість газообміну або швидкість обміну).

Швидкість обміну, віднесена до одиниці маси тіла тварини, називають **інтенсивністю обміну** або питомою швидкістю обміну.

Численними експериментальними дослідженнями для різних представників тваринного світу встановлена наявність статичної залежності між швидкістю або інтенсивністю обміну і масою тварин. Хеммінгсен, що для всіх багатоклітинних пойкилотермних тварин, не дивлячись на відмінності в їх будові, способі життя, місце існування і дуже великий діапазон індивідуальних мас — від  $1^5$  до  $10^5$  г, - тобто для тварин, що відрізняються по масі тіла на 10 порядків величини, залежності швидкості споживання кисню від їх маси може бути передано рівнянням:

$$Q = aW^k$$

де  $Q$  — швидкість споживання кисню (мг  $O_2$ /годину).

$a$  — споживання кисню організмом маса якого дорівнює одиниці (мг, г, кг, тощо);

$k$  — коефіцієнт, що показує як швидкості споживання кисню залежить від маси тварини;

$W$  — маса тіла (мг, г, кг, тощо).

### **Приклад розрахунку.**

Параметри ( $Q_1$ ,  $k$ ) рівняння залежності швидкості споживання кисню від маси тіла деяких гідробіонтів (при температурі  $20^\circ C$ )

**Таблиця початкових даних**

<b>№ варіанта</b>	<b>Гідробіонт</b>	<b><i>W</i> мг/л</b>	<b><i>k</i></b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Infusoria	0,107	0,750
2	Rotatoria	0,0767	0,750
3	Oligochaela	0,074	0,750
4	Crustacea	0,125	0,750
5	Bivalvia	0,066	0,750
6	Gastropoda	0,099	0,750
7	прісноводі	0,084	0,750
8	Chironomidae	0,038	0,750
9	Pisces	0,307	0,750
10	Infusoria	0,066	0,750
11	Rotatoria	0,099	0,750
12	Oligochaela	0,084	0,750
13	Crustacea	0,038	0,750
14	Bivalvia	0,307	0,750
15	Gastropoda	0,107	0,750
16	прісноводі	0,0767	0,750
17	Chironomidae	0,074	0,750
18	Pisces	0,125	0,750
19	Infusoria	0,074	0,750
20	Rotatoria	0,125	0,750
21	Oligochaela	0,066	0,750
22	Crustacea	0,0767	0,750
23	Bivalvia	0,074	0,750
24	Gastropoda	0,125	0,750
25	прісноводі	0,099	0,750
26	Chironomidae	0,084	0,750
27	Pisces	0,038	0,750
28	Infusoria	0,307	0,750
29	Rotatoria	0,066	0,750
30	Oligochaela	0,0767	0,750

Визначити трати організмів на енергетичний обмін та інтенсивність обміну в залежності від маси для організмів при різних значеннях коефіцієнту  $a$ .

<b>№ варіант</b>	$a_1$	$a_2$	$a_3$	<b>№ варіант</b>	$a_1$	$a_2$	$a_3$
<b>1</b>	0,594	0,264	2,9	<b>16</b>	0,594	0,264	2,9
<b>2</b>	0,426	0,299	1,7	<b>17</b>	0,426	0,299	1,7
<b>3</b>	0,623	0,381	1,9	<b>18</b>	0,623	0,381	1,9
<b>4</b>	0,874	0,298	1,98	<b>19</b>	0,874	0,298	1,98
<b>5</b>	0,756	0,366	2,3	<b>20</b>	0,756	0,366	2,3
<b>6</b>	0,874	0,298	1,98	<b>21</b>	0,874	0,298	1,98
<b>7</b>	0,623	0,381	1,9	<b>22</b>	0,623	0,381	1,9
<b>8</b>	0,426	0,299	1,7	<b>23</b>	0,426	0,299	1,7
<b>9</b>	0,594	0,264	2,9	<b>24</b>	0,756	0,366	2,3
<b>10</b>	0,874	0,298	1,98	<b>25</b>	0,874	0,298	1,98
<b>11</b>	0,756	0,366	2,3	<b>26</b>	0,623	0,381	1,9
<b>12</b>	0,874	0,298	1,98	<b>27</b>	0,426	0,299	1,7
<b>13</b>	0,623	0,381	1,9	<b>28</b>	0,594	0,264	2,9
<b>14</b>	0,426	0,299	1,7	<b>29</b>	0,623	0,381	1,9
<b>15</b>	0,594	0,264	2,9	<b>30</b>	0,756	0,366	2,3

#### 4. ОСНОВНІ СПОСОБИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКЦІЇ ПОПУЛЯЦІЇ ВОДНИХ ТВАРИН

##### Практична робота № 6.

##### 4.1 Тема: Продукція гетеротрофних бактерій і простих планктону.

Способи розрахунку продукції популяцій враховують динаміку розмірно-вікового складу популяцій, а для багатоклітинних тварин, крім того, - особливості їх зростання і розвитку.

При розрахунку продукції популяції цих організмів враховують швидкість їх розмноження. Оскільки вони розмножуються простим діленням, в результаті якого з однієї материнської клітки утворюються дві дочірні, для визначення продукції популяції цих організмів необхідно уміти розраховувати час подвоєння чисельності їх клітин.

Інтенсивність розмноження бактерій планктону визначають за допомогою «прямого» методу, розробленого М. В. Івановим. Цей метод заснований на обліку змін чисельності (біомаси) бактерій за певний відрізок часу в двох ізольованих пробах води.

У одній пробі розмноження бактерій відбувається за відсутності зоопланктону, а в іншій — у присутності зоопланктону, тобто в ній відбувається розмноження бактерій і одночасне споживання їх тваринами планктону. Зоопланктон з першої проби віддаляється фільтруванням через газ № 49—70 або мембранний фільтр № 6. Зазвичай експеримент проводиться в склянках об'ємом 100 або 250 мл. На початку експерименту у воді цих склянок визначають початкову кількість бактерій, потім їх експонують у водоймищі протягом 12 або 24 годин на тому ж горизонті, на якому були відібрані проби води. У евтрофних південних водоймищах час експозиції скорочується до 8 годин.

Час подвоєння чисельності бактерій (швидкість генерації) розраховується по рівнянню

$$g = t \lg 2 / (\lg B_t - \lg B_0),$$

де  $g$  – час подвоєння чисельності бактерій (ч),

$t$  – тривалість експозиції (ч),

$B_0$  – початкова концентрація бактерій у фільтрованій воді (10<sup>6</sup> кл/мл),

$B_t$  – кінцева концентрація бактерій в тій самій пробі.



Необхідно враховувати не тільки чисельність, але і біомасу бактерій. Для цього вимірюється об'єм кліток до і після постановки досвіду. Біомаса  $B$  (мг/л) бактерій визначається як твір їх чисельності в одиниці об'єму води  $N$  (10<sup>6</sup> кл/мл), середнього об'єму бактерійних кліток  $V$  (мкм<sup>3</sup>) і щільності бактерій, яка приймається рівній одиниці:

$$B = NV.$$

Розрахунок добового приросту бактерійної маси в цілому рекомендується проводити за часом, необхідному для подвоєння біомаси бактерій, по приведеній вище формулі, в якій  $B_0$  і  $B_t$  є біомаси бактерій у фільтрованій воді.

Спосіб розрахунку продукції бактерій ( $P$ ) за швидкістю розмноження, розроблений Д. З. Гак, враховує час їх генерації:

$$P = B \& t$$

де  $B$  – середня біомаса бактерій;

$\&$  – константа зростання;

$t$  – час експозиції;

$B$  розраховується по початковій і кінцевій концентраціях бактерій за час / у не фільтрованих пробах води:  $B = (B_0 + B_t) / 2$ .

За визначенням, константа зростання

$$\& = \ln 2 \cdot g = 0.693 / g \cdot \text{годин}^{-1} \quad \text{або} \quad 16,63 / g \cdot \text{доб}^{-1}.$$

Продукція популяції інфузорії за одиницю часу ( $P$ ) розраховується по формулі:

$$P = C_W N W$$

де  $N$  – середня чисельність популяції,

$W$  – середня маса особини в популяції,

$C_W = \& = \ln 2 \cdot g$  – питома швидкість розмноження або константа зростання.

Звідси

$$P = l / g \ln 2 N W.$$

У зв'язку з складністю отримання початкових даних для розрахунку продукції інфузорій по приведених рівняннях продукція цих тварин надійніше визначається за допомогою фізіологічного методу.

## Практична робота № 7.

### 4.2 Тема: Продукція популяцій багатоклітинних тварин

Продукція популяцій таких тваринних звичайно розраховується трьома способами. У основі перших двох лежить розрахунок продукції когорти, який веде свій початок від класичних досліджень Бойсен-Йенсена.

*Спосіб Бойсен-Йенсена* дає можливість визначення інтегральної продукції за тривалі відрізки часу. Бойсен-Йенсен розраховував продукцію популяцій масових видів донних тварин (головним чином дрібних двостулкових моллюсків і поліхет – кормових об'єктів камбали і вугра) в двох бухтах Лімфьорда (Данія). Біомаса на початку і кінці року, а також нове поповнення враховувалися їм безпосередньо по дночерпательних пробах. Продукція ( $P$ ) популяції за рік була сумою приросту особин старших поколінь, врахованих на початку року, і приросту знов народжених особин. Продукція популяції за період часу ( $t_1, t_2$ ) розраховується як

$$P = (B_2 - B_1) + Ve \quad (7.1)$$

де  $B_2 - B_1$  – різниця між кінцевою і початковою біомасами за період часу ( $t_1, t_2$ ).

Таким періодом для тварин з великою тривалістю життя (крупні моллюски, риби і т. п.) може служити рік, для тварин, тривалість життя яких близька до року (наприклад, озерний бокопів), – місяць. Біомаса особин, елімінованих за той же період  $Ve$ , визначається по зменшенню чисельності за цей період і середній масі елімінованих особин. Приймають, що зменшення чисельності за період ( $t_1, t_2$ ) лінійне і що середня маса елімінованих особин рівна середній масі особин в популяції за той же період:

$$Ve = W(N_1 - N_2) = 1/2(W_2 + W_1)(N_1 - N_2).$$

Приріст біомаси за період ( $t_1 \cdot t_2$ ) визначається як:

$$B_2 - B_x = N_2 W_2 - N_1 W_1$$

Тоді з урахуванням всього сказаного вище рівняння (8.1), можна привести до вигляду:

$$P = V_2(W_0 - W_i)(N_i - N_2) = (W_2 - W_i)N$$

Найпростіше за допомогою цього способу розраховується продукція моноциклічних видів з тривалим періодом життя і коротким періодом нересту. Продукцію памолоді, що народилася в рік дослідження, і продукцію решти вікових класів розраховують окремо і підсумовують.

Як приклад розглянемо розрахунок продукції популяції молюсків *Adacna vitrea*, що входять до складу північнокаспійського бентосу, який був виконаний. Ф. Осадчих і Е. А. Яблонською.

Масове осідання памолоді адакни відбувається в червні і в подальші місяці продовжується з меншою інтенсивністю. Одночасно відбувається зменшення чисельності молюсків торішньої генерації. Вже в липні в результаті інтенсивного зростання особини молодого покоління, народжені в даному році, змішуються із залишком найбільш дрібних особин торішньої генерації, що приводить до збільшення чисельності всіх розмірних груп молюсків. Продукція популяції визначалася за способом Бойсен-Йенсена:

$$P = (B_2 - B) + Be$$

де  $B$  – біомаса спаду популяції за травень–жовтень,

$B_2$  – біомаса популяції в жовтні,

$Be$  – біомаса популяції в квітні.

Розрахунок спаду за місяць проводився по рівнянню

$$N_1 - (N_2 - N_0) = En$$

де  $En$  – спад чисельності за місяць;

$N_1$  – загальна чисельність популяції в даному місяці;

$N_2$  – загальна чисельність популяції через місяць;

$N_0$  – чисельність памолоді, що знов народилася, протягом місяця.

Так, в травні популяція складалася з крупних молюсків покоління попереднього року, чисельність їх складала 120 тис. екз/га. У червні чисельність зросла до 2640 тис, при цьому памолодь покоління даного року складала 2595,1 тис. екз/га. Залишок молюсків покоління попереднього року в червні склав 44,9 тис. екз/га. Таким чином, спад молюсків покоління попереднього року з червня по жовтень досяг 75,1 тис. екз/га.

За даними про чисельність розмірних груп і середню масу молюсків різної довжини розраховувалися біомаса всієї популяції, середня маса особини в популяції і середня маса молюсків будь-яких розмірних груп.

Так, для покоління даного року за травень і червень було набуто наступного значення:

## Практична робота № 8.

### 4.3 Тема: Способи наближеної оцінки продукції популяцій тварин.

Продукція популяції може бути приблизно розрахована по відомих значеннях питомій продукції ( $C_i$ ) і середнім за досліджуваний час значенням біомаси тваринного конкретного вигляду:

$$P = C_b B; \quad P = C_b(t) dt.$$

Питома продукція знаходиться в зворотній залежності від тривалості життя тварин.

Дані про питому продукцію зручно використовувати для порівняльних цілей. Нагадаємо, що питома продукція залежить від умов зовнішнього середовища, зокрема від температури. Це необхідно враховувати при розрахунках продукції популяцій різних тварин в конкретні моменти часу і визначенні на їх основі інтегральної продукції за тривалі періоди часу, протягом яких умови зовнішнього середовища можуть істотно змінюватися.

Наближена оцінка продукції може бути одержана за допомогою так званого *фізіологічного методу*. Розрахунок продукції за допомогою цього методу можливий в тих випадках, коли відомі витрати тварин на обмін ( $R$ ) а їх співвідношення з продукцією, передається коефіцієнтом використання асимілюючої їжі на зростання ( $K_2$ ):  $K_2 = P/(P + R)$ , звідки  $P = R[K_2/(K_2 - 1)]$ .

Було показано, що у водних безхребетних тварин витрати на обмін і продукція за вегетаційний сезон або рік знаходяться між собою в наступній залежності:

$$R = (2.879 \pm 0.046) P$$

звідки  $P = R/(2.879 \pm 0.046)$  кДж/м<sup>2</sup>.

Ця свідчить про те, що енергетичний еквівалент продукції популяції в середньому складає близько 1/3 енергії, яка розсіюється тваринами в процесі обміну. З приведеної рівності легко розрахувати, що середнє значення  $K_2 = 0,26$  і у 99 % випадків знаходиться в межах від 0,22 до 0,30. Таким чином, якщо відомі витрати на обмін і коефіцієнт  $K_2$ , то можна оцінити середню за сезон продукцію популяцій тварин.

## 5. ОСНОВНІ БІОЛОГІЧНІ ІНДЕКСИ, ЯКІ ОПИСУЮТЬ БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА ВИДОВЕ БАГАТСТВО

### Практична робота № 9.

#### 5.1 Тема: Індокси видового багатства та різноманіття.

**Індекс видового багатства** (Сімпсона, який показує «концентрацію» домінування, оскільки його величина тим більше, чим сильніше домінування одного або небагатьох видів).

##### 1. Індекс Сімпсона ( $d$ )

$$d = S - 1/\lg N \text{ (також } S/N \text{ і } S \text{ на } 100 \text{ особин)},$$

де  $S$  – число видів,  
 $N$  – число особин.

##### 2. Індекс Сімпсона ( $c$ )

$$c = F(ni/N)^2 \text{ індекс домінування}$$
$$1 - F(ni/N)^2 \text{ і } 1/G(ni/N)^2 \text{ індекси різноманітності.}$$

де  $ni$  – оцінка значущості кожного виду (чисельність, біомаса і т.д.),  
 $N$  – сума оцінок значущості.

З двох узагальнених індексів індекс Сімпсона надає звичайним видам великої ваги, оскільки при зведенні в квадрат малих відносин  $ni/N$  виходять дуже малі величини.

Найбільш застосовний в гідробіології **індекс Шеннона ( $H$ )**, який надає значимості рідкісним видам.

$$H = -\sum Ni/N \lg 2 Ni/N$$

де  $Ni$  – чисельність кожного  $i$ -того виду;  
 $N$  – загальна чисельність всіх видів в співтоваристві.

Цей індекс підсумовує великий об'єм інформації про чисельність і склад організмів. У відмінності від інших індексів різноманітності, індекс Шеннона у меншій мірі залежить від величини вибірки і добре відображає різноманітність штучних мікрокосмів.

У гідробіології індекс Шеннона був введений Маргалефом і став широко застосовуватися при оцінці ступеню забруднення водоймищ. Коли надходження енергії ззовні велике, наприклад при забрудненні або

евтрофікації водоймищ, рівень різноманітності співтовариств водних організмів знижується, структура співтовариства спрощується і тоді вони вже складаються з видів з широкими екологічними спектрами.

Під впливом забруднень, що надходять, в угруповання донних тварин, наприклад, відбувається скорочення трофічних зв'язків. Це виражається в різкому зменшенні кількості або повному зникненні хижих тварин і тварин-фільтратів (губок, молюсків), що приводить до зменшення значення індексу різноманітності.

Різноманітність співтовариств донних тварин певним чином пов'язано із співвідношенням хижих і нехижих тварин. Роль хижих тварин в донних співтовариствах може оцінюватися відношенням асимільованої ними енергії ( $A_p$ ) до раціону нехижих тварин ( $C_f$ ), яке показує яка частка енергії на вході системи використовується усередині неї. Різноманітність співтовариства залишається на достатньо високому рівні і не міняється до тих пір, поки, відношення  $A_p/C_f$  не стає менше 2-3 %. При менших значеннях цього співвідношення індекс різноманітності різко зменшується. (Характерний для забруднених вод).

Наголошується те, що частка хижих тварин більше в різноманітніших співтовариствах. Хижаки більш чутливі до нестабільності середовища і погіршення умов проживання.

У водоймищах не схильних до забруднень, в співтовариствах донних і планктонних тварин серед домінуючих видів переважають стенобіонтні, а в умовах забруднення – еврибіонтні. Різноманітність різко зменшується якщо співвідношення стено – до еврибіонтних видів менше 60%.

Досліджуючи функціональні характеристики співтовариств водних тварин були встановлені закономірності загально біологічного значення:

- залежність швидкості обміну від маси тварин;
- співвідношення між біомасою і продукцією в популяціях тваринних різних видів;
- співвідношення між продукцією і витратами на обмін в популяціях і співтовариствах тварин.

## 6. БАЛАНСОВА МОДЕЛЬ РОСТУ ТВАРИН

### Практична робота № 10.

#### 6.1 Тема: Вираження за допомогою математичних формул росту тварин для пояснення теорії росту.

Виражаючи зростання тварин за допомогою математичних формул, дослідники намагаються вирішити одне з двох основних завдань.

Перша (простіша) – опис зростання і кількісний вираз процесу. Математичний опис зростання дозволяє легко обчислити і порівняти швидкість і питому швидкість росту тварин будь-якого віку за різних умов живлення і температури.

Друге завдання – пояснення основних рис зростання тварин для розробки теорії зростання. Для цього треба показати кількісні відносини між процесами, що проходять в організмі тварини, представити процес зростання як результат взаємодії ряду функцій живого організму. При рішенні другої задачі використовують для опис зростання рівняння, але не довільно вибрані, а основні закономірності зростання, що відображають, і вхідним в них параметрам додається певний біологічний сенс.

(Один з підходів) Тут зростання представляють як один з елементів матеріального балансу організму: швидкість вважається різницею між швидкістю надходження речовини (енергії) в організм і швидкістю всякого роду витрат в процесі життєдіяльності. Ці рівняння називаються балансовими рівняннями зростання. Одним з прикладів є рівняння Л.Берталанфі, де швидкість анаболізму ( $a_1wb_1$ ) вважається пропорційною обміну.

Надалі для поліпшення вхідних в рівняння величин, на основі енергетичного балансу Г.Г. Вінберга

$$\frac{dw}{dt} = A - R \quad (1)$$

Згідно якому приріст рівний різниці між їжею, що асимілює, і витратами на обмін. Витрати знаходяться в параболічній залежності від маси особини:

$$R = a_2wb_2 \quad (2)$$

Звідси

$$\frac{dw}{dt} = A - a_2wb_2 \quad (3)$$

Якщо відношення  $\frac{dw}{dt}$  до  $R$  постійно в ході зростання, то автоматично отримуємо рівняння параболічного зростання.

$$\frac{dw}{dt} = vR = va_2w^{b_2} \quad (4)$$

При цьому враховується, що

$$v = \frac{K_2}{1 - K_2}$$

де  $K_2$  – чиста ефективність зростання, яку Вінберг визначає у вигляді:

$$K_2 = \frac{dw}{dt} \frac{1}{\frac{dw}{dt} + R} \quad (5)$$

При цьому підході у разі затухаючого зростання, прийнято, що в онтогенезі значення  $K_2$  може знижуватися – тоді підбирають таку функцію  $K_2 = f(w)$  яка приведе до рівняння Бергаланфі:

$$\frac{dw}{dt} = a_1w^{2/3} - a_2w^2 \quad (6)$$

Оскільки застосовність рівняння (6) для опису затухаючого зростання доведена, а  $K_2$  при такому типі дійсно зменшується в ході онтогенезу.

Теоретична слабкість цієї моделі полягає в тому, що функція  $K_2 = f(w)$  підбирається довільно.

Також рівняння (1)  $\frac{dw}{dt} = A - R$  не слід брати за основу при моделюванні зростання, оскільки швидкість споживання їжі і засвоюваність залежать від багатьох чинників.

Повертаючись до позиції, що  $A = f(w)$  є статечною і має той же вигляд, що і залежність витрат на обмін від маси, використовуючи рівняння:

$$\frac{dw}{dt} = a_1w^{b_1} - a_2w^{b_2}$$

можна надати конкретному змісту параметрам і відмовитися від умови  $b_2 = 1$ .

Фактично швидкість споживання їжі пов'язана з масою тіла рівнянням  $I = a_3w^{b_1}$  яке і використовується в моделюванні зростання (Заїка). Цей



підхід в даний час є єдиним способом визначення кривої зростання і швидкості росту.

Допустившись, що в ході зростання зберігається якийсь середній рівень засвоюваності їжі, отримаємо (7)

$A = UI = Ua_3 w^{b_1}$  де  $U$  – коефіцієнт засвоюваності ( $U < 1$ ), позначивши  $Ua_3$  через  $a_1$  по рівняннях (1) і (7) отримаємо рівняння ідентичне Бергаланфі, але з іншим тлумаченням вхідного в нього параметра і значенням ступеня при  $w$ .

$$\frac{dw}{dt} = a_1 w^{b_1} - a_2 w^{b_2} \quad (8).$$

Отже, визначимо, що лягло в основу рівняння (8):

1. Балансова рівність (рівняння - 1)

$$\frac{dw}{dt} = A - R.$$

2. Рівняння зв'язує витрати на обмін з масою особини (рівняння - 2)

$$R = a_2 w^{b_2}.$$

3. Рівняння, що пов'язує раціон з масою особини

$$I = a_3 w^{b_1}.$$

4. Допущення про постійність коефіцієнта засвоюваності їжі в ході зростання тварини.

*Якщо  $a_2 w^{b_2}$  показує тільки витрати на обмін, то рівняння (8) відображає продукцію особини, а не зростання.*

Оскільки нас цікавить опис процесу наростання маси особини, тобто, коли  $\frac{dw}{dt} \geq 0$  ми приймаємо умови по якому  $a_1 w^{b_1} \geq a_2 w^{b_2}$ .

1. коли  $b_1 = b_2$ . Фізичний сенс має тільки при  $a > a_2$ . Тоді з (8) отримуємо рівняння параболічного зростання.

$$a_1 w^{b_1} \geq a_2 w^{b_2} \quad (9).$$

На графіці лінії  $A$  і  $R$  паралельні.

2.  $b_1 > b_2$ . На графіці лінії  $A$  і  $R$  присікаються при значеннях біомаси  $w$ , які можна знайти із співвідношення

$$w = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{1}{b_2 - b_1}} \quad (10)$$

І сходячи з маси особини  $w_0$  не може бути менше ніж  $w$  у рівнянні (10), наприклад при  $a_1 < a_2$  обов'язково  $w_0 > 1$ . При цьому відношення приросту до витрат може бути виражене у вигляді

$$v = \frac{a_1}{a_2} w^{b_1 - b_2} - 1 \quad (11)$$

Тобто відношення приросту до витрат при такому типі зростання не завжди постійно.

3.  $b_1 < b_2$ . В цьому випадку зростання  $S$  – подібне, причому по рівнянню 10 визначається маса дефінітива  $wt$ .

## 7. ОСНОВНІ СХЕМИ РОЗРАХУНКУ ПРОДУКЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ

### Практична робота № 11.

#### 7.1 Тема: Продукція з позицій динаміки біомаси та чисельності популяцій.

Вивчення продуктивності у вузькому сенсі зводиться до розрахунку продукційних показників по комплексу початкових даних або прямому їх вимірюванню. Перш за все можна розмежувати розрахунки продукції по «входу» і по «виходу» системи. Основні їх відмінності полягають в тому, що тільки при розрахунках по «входу» використовується величина еліминированной біомаси.

При розрахунках по «виходу» особливе положення займає розрахунок продукції як різниця між асиміляцією і витратами, оскільки в решті випадків в основу розрахунків покладені дані по зростанню біомаси популяції.

Основні типи або схеми розрахунку:

1. Продукція оцінюється як зміна наявної біомаси плюс елімінована біомаса. Рівняння Бойсен-Иенсена  $P_t = b_2 - b_1 + b_e$ .

Для розрахунку продукції по цій схемі необхідні наступні початкові дані: **1)** початкова біомаса; **2)** кінцева біомаса; **3)** біомаса, елімінована за розрахунковий період.

2. Г.Кларк і ін. Запропонував оцінювати продукцію по різниці між швидкістю асиміляції їжі популяцією і швидкістю витрат на обмін. Цей спосіб майже не використовується оскільки важко визначити швидкість сумарної асиміляції їжі в популяції, але він має важливе значення в при теоретичному аналізі продукційного процесу в системах різної складності, від особини до біомаси.
3. Розрахунки засновані на використанні даних по зростанню особин і віковій структурі популяції. Продукція розраховується по рівнянню  $P = p_1 + p_2$ .

Для розрахунку продукції по цій схемі необхідні наступні початкові дані: **1)** приріст маси особин різного віку, **2)** вікова структура популяції, **3)** маса потомства, **4)** середня біомаса популяції.

4. У основі лежать дані про динаміку чисельності популяції, з особинами яким приписується середня біомаса. Така продукція визначається за швидкістю розмноження. початкові дані: 1) швидкість розмноження, 2) середня чисельність популяції, 3) середня маса особини.

До третього (3) типу схем відноситься «фізіологічний спосіб» розрахунку продукції. Він заснований на використанні наступних початкових даних: **1)** біомаса популяції, **2)** вікова структура популяції, **3)** залежність інтенсивності обміну від маси, **4)** калорійність тварин, **5)**  $K_2$  – відображає співвідношення приросту до їжі, що асимілює, при  $t = 1$ .

Цей метод заснований на встановленій Г.Г. Вінбергом зв'язку між зростанням і обміном у тварин.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називається первинною продукцією?
2. У чому полягає суть поняття первинної продукції?
3. Які показники первинної продукції планктону вважаються найважливішими?
4. У чому полягає поняття валової та чистої первинної продукції планктону?
5. Що собою уявляють автотрофні процеси в океані?
6. Які існують основні реакції фотосинтезу?
7. У чому полягає суть кисневої модифікації методу визначення первинної продукції?
8. У чому полягає суть радіовуглецевої модифікації методу визначення первинної продукції?
9. Які найважливіші характеристики первинної продукції одержані за допомогою обох методів?
10. У чому полягає суть визначення первинної продукції за вмістом хлорофілу в планктоні?
11. Що означає асиміляційне число?
12. У чому полягає суть швидкості фотосинтезу, та її залежність від первинної продукції?
13. Визначення яких параметрів передбачене обов'язковою програмою гідробіологічних досліджень;
14. Спостереження за якими показниками передбачає повна програма досліджень;
15. Як впливає освітленість та прозорість води на швидкість утворення первинної продукції;
16. Як температурні умови впливають на швидкість утворення первинної продукції;
17. Які рослини відносяться до макрофітів.
18. Способи визначення продукції макрофітів.
19. Дослідження фотосинтезу макрофітів.
20. Продукція макрофітів в водоймах різного типу, в залежності від їх географічного розташування.
21. Що таке перифітон;
22. Які типи перифітоні розрізняються в водоймах;
23. Методи визначення продукції перифітону;
24. Продукція перифітону у різних водоймах;
25. Що таке швидкість і інтенсивність енергетичного обміну пойкилотермних тварин.
26. Яке рівняння описує залежність рівня енергетичного обміну від маси тварин.

27. Характеристика рівню енергетичного обміну у тварин різних систематичних груп.
28. Як порівняти рівень енергетичного обмін у тварин, якщо значення коефіцієнту  $k$  у відповідних рівняннях відрізняються.
29. Провести практичні розрахунки рівню енергетичного обміну.
30. Що таке температурний коефіцієнт.
31. Продукція популяції гетеротрофів;
32. Соматична продукція і генеративна продукція;
33. Потенційна продукція і продукція особини.
34. «Прямий» методу визначення інтенсивність розмноження бактерій планктону;
35. Визначення біомаси бактеріопланктону;
36. Спосіб розрахунку продукції бактерій ( $P$ ) за швидкістю розмноження;
37. Розрахунок продукції багатоклітинних тварин методом Бойсен-Йенсена;
38. Способи наближеної оцінки продукції популяцій тварин за допомогою фізіологічного методу.

## ЛІТЕРАТУРА

### *Основна*

1. Винберг Г.Г. Энергетический обмен и пищевые потребности рыб.– Минск. 1956.– 256 с.
2. Методы определения продукции водных животных.– Минск. – 1968.– 245 с.
3. Общие основы изучения водных экосистем.– Л.: Наука.– 1979 – 273 с.
4. Грезе В.Н., Федорина А.И., Чмыр В.Д. Продукция основных компонентов зоопланктонной пищи для планктоноядных рыб в Черном море.– Киев.: Наукова думка.– 1973.– 245 с.
5. Заика В.Е. Удельная продукция водных беспозвоночных.– Киев.: Наукова думка.– 1972.– 148 с.

### *Додаткова*

1. Шульман Г.Е., Урденко С.Ю. Продуктивность рыб Черного моря. – Киев.: Наукова думка.– 1989.– 183 с.
2. Практикум по экологической физиологии рыб. – М. Пищепромиздат.–1989.–165 с.
3. Заика В.Е. Сравнительная продуктивность гидробионтов.– Киев.: Наукова думка.– 1983.– 206 с.

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК  
ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ  
«БІОЛОГІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ  
І МЕТОДИ ЇЇ ОЦІНКИ»

Укладачі: старший викладач Тучковенко О.А.,  
асистент Крюкова М.І.

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_.2009. Формат 60x84 / 16. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_  
Тираж 50 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Надруковано з готового оригінал – макета

Одеський державний екологічний університет  
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15  
Друкарня видавництва “Екологія”  
65045, м. Одеса, вул. Базарна, 106.  
Тел.: (0482) 33 – 07 – 17, 37 – 07 – 95, 37 – 14 – 25