



Co-funded by  
the European Union



National University of Water  
and Environmental  
Engineering

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою  
Кафедра водних біоресурсів

**05-03-186M**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з навчальної дисципліни «**Теорія динаміки популяції риб**»  
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Охорона, відтворення та  
раціональне використання гідробіоресурсів»  
спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура»  
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІАЗ  
Протокол № 5 від 19.11.2024 р.

Рівне – 2024

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «**Теорія динаміки популяції риб**» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів» спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Петрук А. М. – Рівне : НУВГП, 2024. – 30 с.

Укладач *Петрук Аліна Миколаївна, к.с.-г.н., доцент кафедри водних біоресурсів.*

Відповідальна за випуск: Полтавченко Т. В. – к.вет.н., доцент, завідувачка кафедри водних біоресурсів.

Керівник групи забезпечення спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура»

Сондак В. В.

**AFISHE** «Development of Aquaculture and Fisheries Education for Green Deal in Armenia and Ukraine: from Education to Ecology»  
<https://www.afishe.eu/>

*Матеріали опубліковані як частина проєкту ЄС, який фінансується за підтримки Європейської комісії. Ця публікація відображає погляди авторів і Європейська комісія не може нести відповідальності за використання будь-якої інформації, що тут міститься.*

© А. М. Петрук, 2024

© НУВГП, 2024

## ЗМІСТ

Передмова	3
Тема 1. Вступ до дисципліни "Теорія динаміки популяції риб" та історія її розвитку	4
Тема 2. Забезпеченість їжею та особливості харчових відносин риб	5
Тема 3. Закономірності плодючості, якості статевих продуктів та нересту риб	8
Тема 4. Структура популяції і закономірності її змін у риб	11
Тема 5. Закономірності коливання чисельності і біомаси риб	15
Тема 6. Закономірності загальної та природної смертності риб	17
Тема 7. Динаміка промислової смертності риб	18
Тема 8. Методи регулювання промислового і аматорського рибальства	20
Тема 9. Моделювання динаміки популяції риб	24
Тема 10. Методи і закономірності прогнозування вилову риб	26
Література	30

## Передмова

Навчальна дисципліна «Теорія динаміки популяції риб» вивчає зміни чисельності та структури популяцій риб у часі під впливом різних факторів. Це міждисциплінарна галузь науки, що поєднує біологічні, екологічні та математичні аспекти для моделювання та прогнозування поведінки популяцій риб.

Основними факторами, які визначають динаміку популяцій риб, є народжуваність, смертність, міграція, а також взаємодія з іншими видами (наприклад, хижаками чи конкуренція за ресурси).

*Основні концепції теорії включають:*

- *моделі росту популяції:* тут використовуються різні математичні моделі, такі як модель експоненціального росту або модель Лотки - Вольтерри або рівняння хижак – жертва

для опису змін чисельності популяцій у залежності від умов навколишнього середовища;

- *баланс між популяцією та середовищем*: це відображає взаємодію між чисельністю риб і обмеженими ресурсами середовища;

- *вплив людської діяльності*: наприклад, рибальство та зміни клімату можуть значно впливати на популяції риб, змінюючи їх чисельність і структуру.

Навчальна дисципліна «Теорія динаміка популяцій риб» є важливою для управління рибними ресурсами, збереження біорізноманіття та сталого використання природних ресурсів. Вивчення цієї динаміки допомагає у створенні ефективних стратегій управління та захисту рибних угідь, прогнозуванні змін екосистем та забезпеченні продовольчої безпеки.

## **Тема 1. Вступ до дисципліни "Теорія динаміки популяції риб" та історія її розвитку**

Теорія динаміки популяції риб є важливою складовою екології, біології та менеджменту водних екосистем. Вона вивчає закономірності змін чисельності рибних популяцій під впливом різних екологічних факторів, а також взаємодії між видами, природні та антропогенні впливи на їх чисельність. Це знання є основою для сталого управління рибними ресурсами, охорони біорізноманіття та забезпечення продовольчої безпеки.

Історія розвитку теорії динаміки популяції риб

✓ Ранні етапи розвитку:

рання наукова увага до популяцій риб була пов'язана з потребою в управлінні рибальськими угіддями, що виникла в середині XIX століття. У цей період почали виникати перші ідеї щодо того, як зміни в умовах середовища впливають на чисельність риб. Одним із перших вчених, який звернув увагу на ці питання, був англійський біолог Чарльз Дарвін, який запропонував концепцію природного добору як основи еволюційних процесів.

✓ Формування основних моделей:

на початку ХХ століття розвиток теорії динаміки популяції риб набув нових форм завдяки роботам вчених у галузі теорії популяцій. Поява основних математичних моделей, таких як модель Лотки - Вольтерри, що описує взаємодію хижаків і жертв, та модель Вольтерри для рибних популяцій, дозволила більш точно прогнозувати зміни чисельності популяцій. Рівняння запропонували незалежно Альфред Джеймс Лотка та Віто Вольтерра, в 1925 та 1926 роках, відповідно. Характерною особливістю рівнянь є те, що їхнім розв'язком є автоколивання (рис.1).

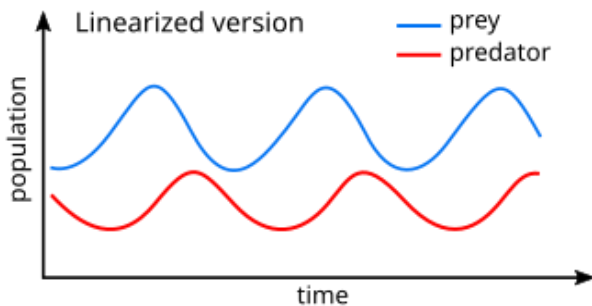


Рис. 1 Автоколивання численності хижаків (червона крива) та жертв (синя крива)

✓ Другу половину ХХ століття та етапи формування сучасних підходів. У середині ХХ століття розвиток теорії популяцій значно прискорився завдяки використанню комп'ютерних технологій для моделювання та обробки великих обсягів даних. Вчені почали активно застосовувати математичні моделі для управління рибальськими ресурсами, зокрема для розробки стратегій сталого використання популяцій риб.

✓ Сучасні напрямки досліджень. Сучасні дослідження з динаміки популяцій риб включають вивчення впливу кліматичних змін, забруднення вод, а також людської діяльності (рибальства, будівництва гідроспоруд) на чисельність риб. Вивчення генетичних аспектів популяцій, а також застосування методу ДНК - баркодингу для моніторингу видового складу популяцій дозволяють робити більш точні прогнози.

Метод ДНК-баркодингу — це молекулярно-генетичний метод, який використовується для ідентифікації видів на основі специфічних послідовностей ДНК. Замість того, щоб покладатися на фізичні чи морфологічні ознаки, які можуть бути складними або змінними, ДНК-баркодинг використовує короткі ділянки геному, які мають унікальні послідовності для кожного виду, але схожі між особинами одного виду.

Основні етапи методу ДНК-баркодингу:

1. збір зразка: спочатку береться зразок організму (наприклад, частина рослини, тварини, гриба чи бактерії);
2. виділення ДНК: далі виділяється ДНК з цього зразка;
3. ампліфікація баркодної послідовності: за допомогою специфічних праймерів проводиться ампліфікація (копіювання) короткої ділянки ДНК, яка є характерною для певної групи організмів;

Найбільш поширеними маркерами є ген COI (цитохром-оксидаза I) у тварин, або рибулозо-1,5-бісфосфаткарбоксілаза/оксигеназа (rbcL) для рослин.

4. Секвенування: після ампліфікації послідовність ДНК визначається за допомогою методів секвенування.
  5. Порівняння з базами даних: отримана послідовність порівнюється з відомими базами даних для ідентифікації виду.
- ДНК-баркодинг має багато застосувань, зокрема для:
- ідентифікації видів, особливо для тих, які складно ідентифікувати за морфологічними ознаками.
  - вивчення біорізноманіття та екосистем;
  - визначення фальсифікацій продуктів харчування;
  - виявлення нових видів та вивчення еволюційних зв'язків.

Цей метод став важливим інструментом у багатьох наукових та практичних дослідженнях, зокрема в екології, біотехнології та медичній діагностиці.

Таким чином, теорія динаміки популяцій риб є важливою міждисциплінарною галуззю знань, яка інтегрує елементи екології, біології, математики та статистики, і має на меті забезпечити раціональне використання рибних ресурсів в умовах змінного середовища.

## Тема 2. Забезпеченість їжею та особливості харчових відносин риб

Забезпеченість їжею та особливості харчових відносин риб — це важливі аспекти екології водних екосистем, оскільки харчування риб є ключовим фактором для їхнього розвитку, поведінки та виживання. У риб харчові відносини можуть бути дуже різноманітними і залежать від виду, середовища проживання та доступності їжі.

### 1. Типи харчування риб.

Риби мають різні стратегії харчування, які залежать від їхнього виду та екологічної ніші:

- хижаки: більшість хижих риб харчується іншими водними організмами, такими як дрібні риби, безхребетні, а іноді й молюски або амфібії. Наприклад, щука, судак, окунь — це типові хижаки.
- травовідні риби: деякі види риб, наприклад, певні види коропових риб або риб родини златокрилових, харчуються рослинністю, водоростями або детритом.
- всеїдні риби: інші риби можуть мати змішане харчування, поїдаючи як рослинні, так і тваринні корми (наприклад, лососєві риби, які в молодому віці можуть бути інфузоріями та планктоном, а в дорослому — рибами й безхребетними).

### 2. Механізми здобуття їжі.

Риби мають різноманітні способи здобуття їжі, зокрема:

- фільтрація: багато риб (наприклад, пелагічні риби або деякі види акул) використовують фільтрацію води для захоплення дрібних організмів, таких як планктон.
- полювання та активне збирання їжі: хижі риби полюють на інших тварин за допомогою швидких рухів або за допомогою стратегій маскування і підкрадання.
- використання спеціальних органів: деякі риби використовують додаткові органи для полегшення пошуку їжі, наприклад, електричні органи у електричних риб.

### 3. Фактори, що впливають на харчові відносини риб.

- екологічні умови: температура води, її чистота, наявність їжі, рівень кисню та інші фактори визначають, які ресурси доступні

рибам. В умовах дефіциту їжі риби можуть змінювати свої звички і переходити на інші типи харчування;

- конкуренція: в межах однієї екосистеми риби часто вступають в конкуренцію за їжу. Це може призвести до змін у поведінці або морфології, наприклад, зміни форми тіла або вдосконалення способів ловлі;

- харчові ланцюги: риби займають різні рівні в харчових ланцюгах. Хижаки знаходяться на вищому рівні, споживаючи здобич, яку можуть бути спожиті іншими видами риб або іншими тваринами.

#### 4. Особливості харчових відносин у різних середовищах.

- прісноводні екосистеми: в річках, озерах та інших прісних водах різноманітність харчових відносин між рибами часто обумовлена сезонними змінами, наявністю водоростей і безхребетних організмів, а також рівнем трофічного стану води.

- морські екосистеми: морські риби можуть мати складніші харчові відносини через більш багатий видовий склад та інтенсивну конкуренцію за їжу. Тут велике значення мають організми планктону, а також різноманіття дрібних і великих хижих риб.

#### 5. Адаптації риб до харчових умов.

Риби мають численні адаптації до харчування:

- форма тіла та органів: деякі риби мають сплющене тіло для життя серед водоростей або у донних шарах, інші — видовжене тіло для полювання на швидко рухому здобич;

- зуби та щелепи: риби з хижим способом життя мають гострі зуби для розривання м'яса, тоді як трав'яїдні риби володіють зубами, які здатні обробляти рослинну їжу.

Таким чином, харчові відносини риб відзначаються великою різноманітністю, що дозволяє кожному виду займати свою екологічну нішу і успішно адаптуватися до умов навколишнього середовища.

### **Тема 3. Закономірності плодючості, якості статевих продуктів та нересту риб**

Біологічні закономірності вікової мінливості організму риб і співвідношення між віком і відтворювальною здатністю в



значній мірі визначають відмінності в поведінці самок і самців під час нересту, а також впливають на якості статевих продуктів і потомства в різному віці. Більшість фізіолого - біохімічних показників, за якими можна зробити висновок про якість особин для відтворення, відображають істотну мінливість вікових груп плідників. Статевозріла риба - це риба, що жодного разу не нерестилася, яка накопичила достатній запас живильних речовин (жиру), щоб забезпечити зростання і початок процесу відтворення. Як основні показники ступеня зрілості статевих залоз у самок коропа використовуються: - розмір ооцитів старшої генерації, місце розташування ядра в безпосередній близькості до оболонки. Міграція ядра до анімального полюса, де скупчується цитоплазма і розташовано мікропіле, свідчить про перехід ооцитів в період дозрівання. При дуже низьких або дуже високих температурах порушуються нормальні співвідношення між дозріванням ооцитів і їх овуляцією, тому що ооцити погано овулюють і ушкоджуються. Краще всього запліднилися і розвиваються яйця, овульовані і не затримані в порожнині тіла, і яйця, що легко сповзають з яєчника. Фахівцям рибництва необхідно знати яким закономірностям підпорядковується зміна якості статевих продуктів, так як вони міняються в залежності від умов середовища.

Якщо замінити умови живлення, можна отримати ікру з великим запасом жовтка. Регулюючи режим нагулу можна регулювати вік статевого дозрівання і плодючість.

Плодючість - видове пристосування риб. Особливості повторного розвитку статевих залоз. Закономірності розподілу жиру в організмі риб під час дозрівання гонад. Вплив повторного нересту на якість ікри. Розвиток статевих залоз - процес поєднання зовнішнього і внутрішнього, залежний від попереднього стану організму і від умов, в яких знаходився організм при дозріванні статевих залоз. Розвиток статевих залоз безперервно пов'язаний із загальним обміном речовин. Регулюючи обмін можна регулювати і хід розвитку статевих залоз.

Повторний нерест майже завжди відображається на якості статевих продуктів. У риб з різним типом ікрометання

виявлений період резорбційних процесів, що протікає одночасно з періодом трофоплазматичного зростання.

Плодючість у тварин є важливим біологічним процесом, який визначається низкою факторів — генетичних, фізіологічних, екологічних та соціальних. Однак існують певні закономірності, що впливають на кількість і якість статевих продуктів — сперми у самців і яйцеклітин у самок.

Фактори, що впливають на плодючість:

- а) генетичні: наявність специфічних генів, що відповідають за регуляцію репродуктивної функції, визначають якості статевих продуктів. У різних видів існують різні стратегії розмноження, що також залежать від генетичних програм.
- б) вікові зміни суттєво впливають на плодючість риб.
- в) фізіологічний стан організму: наявність хронічних захворювань, гормональні порушення, стреси та фізичні навантаження можуть суттєво впливати на репродуктивну функцію.
- г) харчування та спосіб життя: неправильне харчування, відсутність фізичної активності, можуть негативно вплинути на якість статевих продуктів. Наприклад, дефіцит вітамінів, мінералів та антиоксидантів знижує якість сперми і яйцеклітин.
- д) екологічні умови: забруднення оточуючого середовища, радіація, хімічні речовини можуть впливати на репродуктивну здатність.

Істотним моментом, що визначає динаміку популяції, є вилов. У певних межах він може бути компенсований регуляторними механізмами популяції, і поки його інтенсивність не перевищує меж смертності, до яких популяція пристосована, вилов може бути елементом середовища популяції й вона буде продовжувати існувати.

Існує прямий зв'язок між плідністю батьківського стада й чисельністю потомства у риб, однак він часто порушується через мінливість умов розмноження, розвитку й росту поколінь. У риб з малою плідністю кореляція між кількістю відкладених ікринок і поповненням зазвичай більша, ніж у риб з великою плідністю. За плідністю, мінливістю і якістю запасу жовтка в

ікри можна судити про стан нерестової популяції, хоча складати прогноз не можливо.

Популяція будь-якого виду може регулювати інтенсивність відтворення зміною плідності. Велике значення має якість статевих продуктів (як ікри, так і сперми), що залежить від середовища перебування плідників риб. Середовище впливає на репродуктивні показники риб і чисельність потомства. Пряма кореляції між плідністю і якістю ікринок не дотримується, якщо риби не готові до відтворення. Існує видова специфічність кількості особин (в %), які відтворені окремим стадом риб і дожили до статевозрілого стану (коефіцієнт промислового повернення). Це значить, що існує певний зв'язок між плідністю виду й величиною його виживання. Коефіцієнт промислового повернення показує, скільки необхідно мати вихідного матеріалу (ікри, личинок і т.д.), щоб промисел одержав одну дорослу особину. У багатьох риб із 1000 народжених личинок у промисел вступить одна доросла особина.

Знання та розуміння закономірностей плодючості та якості статевих продуктів є важливим як для науковців, так і для здобувачів вищої освіти. Забезпечення оптимальних умов для репродуктивного здоров'я дозволяє зберегти або поліпшити якість статевих продуктів, а отже, підвищити шанси на здорове потомство.

#### **Тема 4. Структура популяції і закономірності її змін у риб**

Популяція риб є групою особин одного виду, що проживають на певній території і мають спільний генофонд. Структура популяції риб визначається рядом факторів, зокрема віковою, статевою, генетичною і просторовою структурами. Кожна з цих складових впливає на динаміку популяції і її здатність до відтворення та адаптації до змін навколишнього середовища.

Виділяють такі типи розмірно-вікової структури популяції риб:

- маловікова популяція, що рано дозріває. Це риби з коротким життєвим циклом, ранньою статевою зрілістю. Для них

характерна невелика кількість вікових груп, вони здатні швидко відновлювати чисельність популяції, пристосовані до життя в умовах сильного коливання смертності (хамса, шпроти та ін.) (табл.1).

Таблиця 1

Розмірно-вікова структура популяції риб	
I тип	II тип
Риби з коротким життєвим циклом:	Риби з довгим життєвим циклом:
- мала кількість вікових груп; - рання статева зрілість (1-й та 2-й роки); - щорічний нерест; - порційність ікрметання (нересту); - поповнення різко переважає залишок	велика кількість вікових груп; - статева зрілість у більш пізньому віці (від 3-9 до 18-20); - нерест проходить не щорічно; - нерест одноразовий (одночасний); - поповнення займає невелику частку

- багатовікова популяція, що пізно дозріває. Це риби з довгим життєвим циклом, пізнім статевим дозріванням. Для них характерна велика кількість вікових груп, вони пристосовані до життя в умовах стабільної кормової бази за незначних коливань смертності, повільно відновлюють популяцію у випадку загибелі її значної частини (осетрові, соми, великі акули та ін.).

Популяція складається зі статевонезрілих і статевозрілих особин.

Монастирський Г. М., аналізуючи статевозрілу частину популяції (нерестову), виділив три типи її структури (за Комаровою Г. В., 2006 р.):

1. Нерестова популяція складається тільки з поповнення (риби, що вперше нерестяться), риб, що нерестяться повторно (залишок), у популяції немає (сніток, горбуша та ін.).

2. Нерестова популяція складається з поповнення і залишку (риби, що повторно нерестяться), але величина

залишку менше величини поповнення (сьомга, каспійські оселедці та ін.).

3. Нерестова популяція складається з поповнення й залишку, але залишок більше поповнення. Це популяції із тривалим життєвим циклом (осетрові, лящ, сазан, тріска та ін.) (табл.2).

Таблиця 2

<b>Нерестова (статева) структура популяцій риб:</b>		
<b>(P – поповнення популяції; D – залишок популяції; R – нерестова популяція)</b>		
<b>I тип</b>	<b>II тип</b>	<b>III тип</b>
<b>D = 0</b> <b>R = P</b>	<b>D &gt; 0</b> <b>R &gt; D</b> <b>R + D = P</b>	<b>D &gt; 0</b> <b>R &lt; D</b> <b>R + D = P</b>
- у популяції лише поповнення; - риби дозрівають в одному віці або в різні роки.	- у популяції є поповнення і залишок; - поповнення більше за залишок.	- у популяції є поповнення і залишок; - поповнення менше за залишок.

Ці типи нерестових популяцій досить умовні й іноді та сама популяція може відноситись до різних типів.

Структура популяції (тривалість життя, час настання статевої зрілості, середній вік і т.д.) може бути різним у різних місцевих популяцій одного і того самого виду (атлантичний оселедець). Віковий склад популяції змінюється в результаті взаємодії поповнення й смертності. Зміна співвідношення убик збільшення поповнення призводить до омолодження популяції. Також віковий склад нерестової популяції визначається віком статевого дозрівання поповнення.

Особини, що дозріли раніше, звичайно менш довговічні. На віковий склад популяцій впливає вилов й урожайність поколінь окремих років. Якщо вилов носить селективний характер і промисел вибирає старші вікові групи, то це призводить до омолодження популяції, якщо інтенсивно

вилловлюється молодь – збільшується середній вік риб у нерестовій популяції.

Генетична структура популяції.

Генетична структура популяції риб характеризує різноманіття генетичних варіантів всередині популяції. Вона визначається за допомогою таких показників, як гетерозиготність та частоти алелів. Генетичне різноманіття має важливе значення для виживаності популяції, оскільки воно дозволяє адаптуватися до змін навколишнього середовища і захищатися від хвороб.

Просторова структура популяції.

Просторова структура популяції визначається розподілом особин на певній території. Вона може бути рівномірною, груповою або випадковою. У риб важливим аспектом є міграція, яка може змінювати просторову структуру популяції, а також її чисельність та здоров'я. Міграція риб часто пов'язана з відтворенням, харчовими ресурсами чи сезонними змінами середовища.

Динаміка популяції риб залежить від багатьох факторів, насамперед від умов навколишнього середовища, доступності корму, ворогів, а також антропогенного впливу.

Основні закономірності змін популяцій включають:

- логістичний ріст – коли чисельність популяції спочатку зростає швидко, але потім темп росту зменшується і стабілізується на рівні, який може підтримувати середовище.

- коливання чисельності – чисельність популяції може змінюватися циклічно, залежно від сезонних чи довгострокових факторів (наприклад, температури води, доступу до корму).

- інтеграція з екосистемою – популяція риб є частиною більш широкої екосистеми, і її зміни можуть бути результатом змін в інших компонентах цієї системи, таких як водні рослини або хижаки.

Структура популяції риб є складною і змінюється під впливом різноманітних факторів. Вивчення цих закономірностей є важливим для розуміння процесів відтворення, екології та збереження видів. Забезпечення сталого стану популяцій риб вимагає врахування всіх цих аспектів, що

дозволяє ефективно управляти їхніми популяціями та зберігати біорізноманіття.

## Тема 5. Закономірності коливання чисельності і біомаси риб

*Чисельність риб* – це кількість особин цього виду на одиницю площі (об'єму) або його частини (шт./м<sup>2</sup> ; шт./м<sup>3</sup> ).  
*Абсолютна чисельність риб* – це сумарна чисельність риб у водоймі, виражена тим чи іншим способом.

*Відносна чисельність риб* – чисельність виражена в умовних (непрямих) показниках (вилов на одиницю площі, на промислове зусилля, індекси врожайності тощо).

*Промислова чисельність риб* – допустима кількість особин риб одного виду, яку може освоїти промисел і вилучення якої не зумовить підрив чисельності популяції. Кількісною оцінкою ефективності відтворення риб є її *урожайність*. Визначається чисельністю життестійкої молоді риб на одиницю площі або в одиниці об'єму на стандартних станціях спостережень.

*Біомаса риб* – це сукупна маса особин виду, групи видів, чи угруповання організмів, яку виражають в одиницях маси сухої або сирої речовини, віднесеної до одиниці площі чи об'єму (г/м<sup>2</sup> ; кг/м<sup>3</sup> ). Сумарну масу усіх риб у водоймі ще називають *іхтіомасою*. Промисловий запас, виражений в одиницях маси, отримав назву *іхтіомаси промислового запасу*. Щорічно відбувається *приріст іхтіомаси риб* – збільшення загальної біомаси (покоління або промислового запасу) за рахунок росту риб.

Прирости іхтіомаси бувають абсолютними (річний, місячний, добовий) і відносними.

Оскільки в риб коливання чисельності і біомаси популяції перебувають у залежності (часто прямій) зі змінами забезпеченості їжею, то природно, що кліматичні коливання, пов'язані із сонячною активністю й іншими причинами, які мають періодичність, відбиваються на рибах.

Чисельність популяції змінюється щорічно, розрізняється як частота коливань чисельності популяції, так і

амплітуда. Так, горбуша має дворічну періодичність піку чисельності, атлантичний лосось – десятилітню.

Основними пристосуваннями популяції до регулювання чисельності за поліпшення умов живлення є:

- 1) прискорення росту;
- 2) більш раннє настання статевої зрілості;
- 3) збільшення плідності в однорозмірних групах;
- 4) підвищення життєстійкості молоді;
- 5) зменшення поїдання молоді хижими рибами.

При недостатчі корму має місце зворотнє явище

Періодичні коливання чисельності й біомаси популяцій пов'язані із загальними кліматичними причинами й проявляються через зміни кормової бази, умов нересту, зимівлі і т.д.

*Флуктуації* – коливання чисельності поколінь риб різних років народження. Популяціям риб характерні коливання (флуктуації) чисельності й біомаси, які значно розрізняються в різних видів. У деяких видів урожайне покоління може бути в багато разів чисельнішим неврожайного (тріска, оселедець та ін.). В оселедця, тріски, сардин, анчоусів ці коливання відбуваються з амплітудою в 50-100 разів, а в камбали, палтусів – коливання незначні. Сильніше флуктуації виражені в риб, що мають невеликий запас жовтка в ікрі й личинки яких після викльову мають потребу в забезпеченості їжею. Флуктуації носять пристосувальний характер для видів риб.

*Флуктуації* – пристосування, що виробилися в риб, які живуть в умовах різких змін забезпеченості їжею, у тому числі великої лабільності кормового ареалу. Хороший обмін речовин, нагромадження жирів у тілі плідників призводять до появи більшої ікри.

Отже, флуктуації – це пристосування виду до змін забезпеченості їжею. Риби, які пристосовані до флуктуацій, звичайно мають великий ареал. Коли чисельність риб у популяції скорочується, то вони не освоюють свій нагульний ареал.



## Тема 6. Закономірності загальної та природної смертності риб

Динаміка популяції – це процес взаємодії трьох взаємозалежних процесів: народження, росту й смертності особин.

Смертність популяції найтіснішим чином пов'язана з розмноженням і ростом особин. Розмноження компенсує смертність, ріст регулює інтенсивність як смертності, так і розмноження.

Риби з коротким життєвим циклом, що рано дозрівають, пристосовані до відносно стабільної величини смертності, починаючи з малькового періоду.

*Загальну смертність риб поділяють:*

- 1) природну смертність (від старості, впливу абіотичних і біотичних умов – кормова база, хижаки, паразити, хвороби);
- 2) промислову смертність (від вилову).

*Причини загальної смертності.*

Кожний вид характеризується певним максимальним граничним віком. Від старості помирає лише дуже невеликий відсоток особин. Основна частина популяції гине від інших причин, але ця смертність компенсується плідністю особин.

*У риб встановлені такі основні причини смертності:*

- від старості, включаючи після-нерестову смертність;
- від хижаків, паразитів, хвороб; під впливом абіотичних умов;
- від порушення забезпеченості їжею; у результаті вилову.

За зміни умов життя відбуваються зміни темпу відтворення та інтенсивності смертності риб. Усі покоління риб взаємодіють між собою, а з іншого боку, перебувають у системі тріотрофа:

- взаємодіють із кормовими організмами;
- взаємодіють із хижаками, що поїдають це покоління;
- взаємодіють із факторами середовища.

До дії факторів водного середовища популяція риб пристосована. Але можуть бути фактори (випадкові), до яких популяція не може пристосуватись.

Під їх дією відбувається:

- зменшення чисельності популяції;
- збільшення смертності;
- зникнення популяції чи окремого покоління риб.

Ці причини взаємозалежні, і такий підрозділ до деякої міри штучний.

*Під величиною загальної смертності* звичайно розуміють різницю чисельності стада або тієї чи іншої його вікової групи на початку і в кінці певного відрізка часу. Відповідно, *величина природної (промислової) смертності* – це початкова чисельність стада мінус кількість загиблих від природних причин (або виловлених) риб за певний відрізок часу. Для кожного виду специфічна не тільки загальна величина смертності, але і її розподіл за окремими віковими групами і етапами розвитку. У риб максимальна смертність припадає на статевонезрілих особин.

*Смертність риб від старості* є видовою пристосувальною властивістю. У межах популяції граничний вік може трохи змінюватись у зв'язку зі зміною забезпеченості їжею. Якщо їжі багато, то риби раніше дозрівають і менше живуть. Загальний хід смертності специфічний для виду. У далекосхідних лососів гинуть переважно самці.

*Смертність від хижаків в популяції.* Всі види риб піддаються впливу хижаків: одні – більшою мірою й на всіх етапах онтогенезу (анчоуси, оселедці, бички), інші – менше, головним чином на ранніх етапах розвитку. На більш пізніх етапах розвитку вплив хижаків у них слабшає й практично зникає. До останньої групи відносяться соми, осетрові, вусачі, жовтощоки та ін. Третя група – це види, у яких смерть від хижаків на ранніх етапах онтогенезу невелика. До цієї групи належать тільки деякі акули й скати.

## **Тема 7. Динаміка промислової смертності риб**

*Промислова смертність риб.* Вилов риби й інших морепродуктів неухильно росте. Якщо на початку ХХ ст. він становив 10 млн т, то зараз перевищує 100 млн т. Однієї із причин росту світового видобутку риби можна вважати

підвищення уловистості знарядь і ефективності способів лову. *Уловистістю* називається здатність знарядь лову вловлювати рибу або нерибні об'єкти. Уловистість залежить від знаряддя лову, об'єкта лову, умов промислу.

*Під абсолютною уловистістю* розуміють відношення кількості добутої риби до кількості, що знаходилась у зоні облову знаряддям, що відціджує, або відношення кількості риби, що потрапила в мережі або пастку, до кількості риби, що пройшла через площу, зайняту знаряддям лову.

*Під відносною уловистістю* розуміють відношення кількості риби, добутої даним знаряддям, до кількості риби, добутої за той же період в аналогічних умовах подібним за величиною знаряддям, але іншої конструкції або зробленим з тих же матеріалів.

Уловистість знарядь і ефективність способів лову залежать як від конструкції знаряддя й техніки лову, так і від пристосувальних властивостей самої популяції риб.

*Уловистість знаряддя лову* – це результат його взаємодії з популяцією риби й умовами лову.

*Уловистість знаряддя лову залежить від таких факторів:*

- 1) конструкція, матеріал знаряддя й спосіб лову;
- 2) непомітність знаряддя лову для риби;
- 3) гідрометеорологічна обстановка в районі лову.

### **Методи визначення смертності риб.**

Застосування методів прямого визначення загальної смертності відбувається в досить рідких випадках, коли є можливість повного облову водойми рік за рік і облік всіх змін, що відбуваються в популяції.

Частіше для оцінювання загальної смертності застосовують інші дві групи методів:

- 1) аналіз вікового складу популяції;
- 2) масове мічення й облік повернення міток.

Обидва методи є досить приблизними. Найбільш точний спосіб полягає в зіставленні чисельності покоління певного року народження в уловах неселективними знаряддями лову за роки, рівні тривалості життя покоління. Беручи середній улов

покоління на одиницю промислового зусилля за 100% і, віднімаючи з нього улов цього покоління за наступний рік, виражений у%, до улову попереднього року, ми одержуємо смертність за рік.

Для визначення загальної смертності користуються аналізом вікового складу, приймаючи, що права частина кривої вікового складу улову відціджуючих знарядь лову, відображає для старших вікових груп їх співвідношення у популяції. До того ж робиться припущення, що початкова величина поколінь щороку однакова (однак існують флуктуації).

Принцип визначення смертності методом мічення полягає у такому: величина смертності в популяції за певний відрізок часу відповідає зниженню в уловах кількості помічених риб за цей проміжок.

## **Тема 8. Методи регулювання промислового і аматорського рибальства**

Функціонування гідроекосистем має наступні особливості (порівняно з наземними):

1. Продуктивність великих відкритих океанічних районів мала й порівнянна з пустельними й напівпустельними наземними зонами. Найбільш продуктивні води шельфу значно поступаються багатьом наземним екосистемам

2. Максимальні значення біопродуктивності, а саме рибопродуктивності, складають понад 7000 кг/км<sup>2</sup> (тихоокеанське узбережжя Південної Америки та Азовське море), а мінімальні – 3000 кг/км<sup>2</sup> (шельф північно-східної Атлантики, острови Ньюфаундленд, узбережжя Марокко, Алжиру, Гвінейської затоки, Південної Африки, Північно-Західної Пацифіки та ін.), тоді як на суші ці показники значно вищі.

3. Впродовж року в деяких районах океану фітопланктон може давати до 400 генерацій і більше, тоді як на суші продукційні процеси протікають значно повільніше.

4. У той же час у водних екосистемах відбуваються великі втрати на дихання. Так, в озерах Флориди втрати на

дихання становлять 57%, у Саргасовому морі – 53%, тоді як в наземних екосистемах (на полях люцерни) – лише 12,5 відсотка.

5. Стабільність спільноти росте зі збільшенням кількості ланок харчового ланцюга. Висока стабільність спільноти дає можливість існувати за меншої питомої кількості енергії, що надходить у систему, тобто за більшої обмеженості харчових ресурсів.

6. Загальна кількість трофічних рівнів у Світовому океані може досягати семи, причому чотири верхніх цілком формуються нектонними тваринами. Під час переходу з кожного трофічного рівня на наступний губиться в середньому 90% енергії. В оліготрофних трофічних або глибоководних спільнотах кількість трофічних рівнів велика, у районах же з високим рівнем первинної продукції харчові ланцюги спільнот дуже короткі.

7. Продуктивність Світового океану дозволяє виловлювати не менш 100-120 млн т гідробіонтів, включаючи і рибу. Частина цієї біомаси риб, що утворюється у водоймах (рибопродуктивність), виловлюється в результаті рибальства (промислу) у вигляді рибної продукції.

*Рибопродуктивність* – це сумарна кількість біомаси риб, що утворюється за певний період на певній площі водойм (кг/га).

*Рибопродуктивність* за визначенням може бути *природною* (біологічною), *потенційною* (розрахунковою), *промисловою* (фактичною) та *загальною*.

*Природна рибопродуктивність* – це величина щорічного приросту риби на одиницю водної площі за рахунок природної кормової бази (кг/га). В межах України вона складає 140-240 кг/га. Зокрема, в зоні Полісся рибопродуктивність приблизно дорівнює 140 кг/га, в зоні Лісостепу – 200 кг/га і в зоні Степу – 240 кг/га.

*Потенційна рибопродуктивність (можлива)* – це та частина продукції, яка може бути використана рибами на приріст їх біомаси з одиниці площі за певний проміжок часу (кг/га). Вона буває різною і залежить від рівня розвитку основних груп кормових організмів в тих чи інших водоймах.

Для України встановлено три класи розрахункової потенційної рибопродуктивності:

- I клас – висока,
- II клас – середня,
- III клас – низька.

*Промислова рибопродуктивність* – це величина щорічного улову риби на одиницю відповідної площі водойми (кг/га). Вона може бути досить різною, враховуючи значні коливання промислових уловів риби за роками, а також залежить від типу природних водойм, чисельності і біомаси риб тощо.

Промислова рибопродуктивність внутрішніх водойм (водосховищ) має 5 класів (за Ісаєвим О.І. та ін., 1989 р.):

- 1) I клас – дуже високопродуктивні, з промисловою рибопродуктивністю більше 60 кг/га;
- 2) II клас – високопродуктивні, з промисловою рибопродуктивністю 30-60 кг/га;
- 3) III клас – середньопродуктивні, з промисловою рибопродуктивністю 15-30 кг/га;
- 4) IV клас – малопродуктивні, з промисловою рибопродуктивністю 7- 15 кг/га;
- 5) V клас – дуже малопродуктивні, з промисловою рибопродуктивністю 2-7 кг/га.

Промислова рибопродуктивність водосховищ дніпровського каскаду:

- Київське водосховище (площа 922 км<sup>2</sup>) – 15,4 кг/га;
- Кременчуцьке водосховище (площа 2250 км<sup>2</sup>) – 38,3 кг/га;
- Дніпродзержинське водосховище (площа 467 км<sup>2</sup>) – 33,2 кг/га;
- Запорізьке водосховище (площа 410 км<sup>2</sup>) – 16,3 кг/га;
- Каховське водосховище (площа 2155 км<sup>2</sup>) – 40,5 кг/га;
- у середньому – 33,7 кг/га.

Для озер встановлено 7 класів промислової рибопродуктивності:

дуже низька (2,5-10,0 кг/га),  
низька (10,0-20,0 кг/га),  
помірна (20,0-30,0 кг/га),  
середня (30,0-50,0 кг/га),  
підвищена (50,0-80,0 кг/га),  
висока (80,0-100,0 кг/га),  
дуже висока – більше 100,0 кг/га.

*Загальна рибопродуктивність* – визначається як різниця між виловленою восени рибопродукцією і масою посадженого навесні рибопосадкового матеріалу із розрахунку на одиницю площі водойми (кг/га):

$$P_{\text{заг.}} = (M_2 - M_1) / S ,$$

де  $P_{\text{заг.}}$  – загальна рибопродуктивність, кг/га;

$M_2$  – рибопродукція виловлена восени, кг;

$M_1$  – маса рибопосадкового матеріалу посадженого весною, кг/га;

$S$  – площа водойми, га.

Особливо впливає на рибопродуктивність природна рухливість риб.

У рухливих риб високий рівень рибопродуктивності досягається за рахунок інтенсифікації споживання корму та активного метаболізму.

У малорухливих риб – за рахунок підвищення ефективності споживання корму на конструктивні процеси (ріст).

Іншими словами, рухливі види риб утворюють продукцію екстенсивно, освоюючи все більші ареали, а малорухливі – інтенсивно, максимально використовуючи спожиті корми на конструктивні процеси.

Отже, рухливі види риб характеризуються високим споживанням речовини і енергії, високим рівнем активного обміну і високою рухливою активністю, освоєнням широких ареалів, високою ефективністю використання їжі на метаболізм та високою екстенсивністю продукування.

Малорухливі види риб характеризуються низьким споживанням речовини і енергії, низьким рівнем активного

обміну і низькою рухливою активністю, освоєнням вузьких екологічних ніш, високою ефективністю використання їжі на продукцію та високою інтенсивністю продукування.

Для рибогосподарських цілей в Україні можна використати не менше 13,5 тис. га водойм-охолоджувачів енергетичних об'єктів. Незважаючи на відносно невисокий рівень розвитку природної кормової бази у багатьох водоймах-охолоджувачах (у середньому 5,0-8,8 г/л біомаса фітопланктону і 1,2-1,3 г/м<sup>3</sup> біомаса зоопланктону), у разі посадки на вирощування майже 1 млн екземплярів рибопосадкового матеріалу можна отримати біля 4,7 тис. тонн рибної продукції. Лише вселення у водойми-охолоджувачі 3,6 млн екземплярів рослиноїдних видів риб дасть можливість підвищити їх рибопродуктивність до 2,5 ц/га і додатково отримати 3,4 тис. т товарної рибної продукції. Значним резервом поповнення рибних запасів у водоймах є упорядкування аматорського і спортивного рибальства. Відомо, що до цього часу співвідношення між промисловим і так званим любительським виловом риб водойм становить приблизно 1:1, що не сприяє раціональному використанню і збереженню їх рибних ресурсів.

### **Тема 9. Моделювання динаміки популяції риб**

Моделювання динаміки популяції риб є важливим інструментом для розуміння процесів, які впливають на чисельність популяцій у водних екосистемах. Такі моделі можуть бути використані для прогнозування майбутніх змін у популяції, оцінки впливу зовнішніх факторів, таких як риболовля, зміни середовища та інші екологічні впливи.

Існує кілька основних підходів до моделювання динаміки популяцій:

- *моделі на основі рівнянь Лотки-Вольтерри*

Ці моделі зазвичай описують взаємодії між видами (наприклад, між хижаками і жертвами). Для рибної популяції можна використовувати спрощену модель Лотки-Вольтерри, яка зображує зміну чисельності популяції риб на основі народжуваності, смертності та взаємодії з іншими видами.



- моделі логістичного росту (моделі Логістичного зростання)

Ці моделі описують популяцію, що зростає з обмеженням ресурсів середовища. Основне рівняння виглядає

$$dN/dt=rN(1-N/K)$$

де: - (N) — чисельність популяції,

- (r) — темп росту популяції,

- (K) — максимальна ємність середовища (максимальна чисельність, яку може підтримати середовище).

Це простий і популярний підхід для моделювання популяцій, де враховуються природні обмеження середовища, такі як ресурси та конкуренція.

### 3. Моделі на основі стратегії життєвого циклу (life-history models)

Ці моделі зосереджені на певних аспектах життєвого циклу риб, таких як репродуктивні стратегії, вік статевої зрілості, тривалість життя, кількість нащадків тощо. Вони дозволяють вивчати, як ці фактори впливають на загальний темп росту популяції.

### 4. Структурні моделі популяцій (вікові та статеві структури)

Ці моделі враховують різні вікові та статеві групи в популяції риб, дозволяючи більш точно моделювати їхню динаміку. Вони можуть описувати процеси, такі як народжуваність, смертність, міграція, а також взаємодії між різними віковими або статевими групами риб.

### 5. Моделі на основі агентів

Вони використовують підхід моделювання кожного індивідуума або групи індивідуумів як "агента", що взаємодіє з іншими агентами та середовищем. Це дозволяє моделювати складніші процеси, такі як поведінка риб, міграція, хижацтво або конкурентні взаємодії між видами.

### 6. Моделі з урахуванням впливу рибальства

Зазвичай використовуються для моделювання впливу людської діяльності, зокрема риболовства, на чисельність

популяції риб. Такі моделі можуть включати параметри, що враховують вилов риби, мінливість вилову в залежності від сезону або інших факторів, а також економічні аспекти рибного господарства.

### 7. Моделі кліматичних змін

Ці моделі враховують вплив кліматичних змін на середовище існування риб, такі як температура води, рівень кисню, кислотність та інші екологічні фактори. Моделювання таких змін допомагає прогнозувати, як зміни клімату можуть вплинути на чисельність популяцій певних видів риб.

Моделювання динаміки популяції риб є складним, багатофакторним процесом, який вимагає інтеграції різних екологічних, фізичних і біологічних даних. Вибір моделі залежить від цілей дослідження та доступних даних, але основні напрямки включають використання логістичних моделей зростання, моделей, що враховують риболовство та екологічні впливи, а також складніші моделі, що описують взаємодії між різними видами та індивідуумами.

## Тема 10. Методи і закономірності прогнозування вилову риб

Прогноз вилову риби із різноманітних водойм базується, насамперед, на запасах риб, які необхідно встановити. У разі встановлення запасів риб підраховують загальний запас, що включає чисельність усіх розмірно-вікових груп й біологічних категорій, а також *промисловий запас* – частину загального запасу, що використовується промислом. Крім того, є ще нерестовий запас, що враховує чисельність всіх плідників популяції.

Завдяки вивченню запасів можливе раціональне планування уловів, визначення величини капіталовкладень у рибну промисловість і розробка заходів, спрямованих на збереження й збільшення запасів промислових риб.

З великої кількості факторів, що впливають на стан запасів риб, слід виділили головні, які є в основу оцінювання стану запасів і прогнозування можливого вилову риб:

1) *урожайність молоді риб.*

Необхідно встановити рівень урожайності молоді риб. Доцільно вести облік молоді риб, що скочується, для встановлення її підсумкової величини;

2) *швидкість росту риб*, вона залежить від багатьох причин – стану кормової бази, кількості споживачів їжі, факторів зовнішнього середовища і т.д.

Спостереження за швидкістю росту дають можливість визначити час вступу популяції у промислове стадо;

3) *віковий склад нерестової популяції риб*.

Багаторічні щорічні спостереження дають можливість вивчати появу в промислі й зникнення з нього поколінь чисельності, а отже, і прогнозувати збільшення або зменшення запасу і рівня вилову даного виду;

4) *величини поповнення й смертності риб*.

Повторність приходу риб на нерест можна встановити за нерестовими марками. Знаючи величину залишку популяції, можна визначити загальну смертність (суму природної й промислової смертності). Звичайно збирають статистичні дані про улови за декілька років – це і є дані про промислову смертність.

*Принципи побудови прогнозу вилову риби.*

*Прогноз вилову риби* – це передбачення подальшого ходу динаміки чисельності їх стада і біомаси. Він заснований на знанні закономірностей, яким підкоряється розвиток динаміки чисельності і біомаси риб, хід яких передбачається, тобто для побудови прогнозу вилову риб необхідна наявність теорії. Чим ближче теоретичні подання до дійсності, тим надійніше прогноз вилову.

Всі сучасні методи прогнозу можна об'єднати в 3 наступні групи:

1) прогноз вилову риби, заснований на аналізі статистики їх уловів, на даних про вирішальне значення вилову в динаміці стада і про постійну величину поповнення, що відповідає промисловій смертності;

2) прогноз вилову риби, заснований на даних про наявність корелятивного зв'язку між ходом гідрологічних явищ і динамікою чисельності стада;

3) прогноз вилову риби, заснований на обліку потужності окремих поколінь, що входять у нерестове стадо, і на аналізі співвідношення поповнення й залишку. Це умовно, але загалом відбиває основні підходи до прогнозування змін чисельності й можливих умовів.

*Прогноз на основі аналізу гідрологічних умов водойм.* Періодичні коливання умовів часто бувають тісно зв'язані зі зміною тих або інших факторів абіотичного середовища (температура рівня води у водоймах, величини стоку річок та ін.). Так званий фоновий прогноз складається з використанням декількох гідрологічних показників, що дозволяє в багатьох випадках (коли встановлені корелятивні зв'язки з аналізованими елементами середовища) одержати досить задовільне орієнтування в процесах, що протікають у водоймі, і умовах життя промислових риб. Незважаючи на відхилення загальна тенденція зберігається.

*Біологічні принципи побудови прогнозу вилову риб.* Довгостроковий промисловий прогноз ставить своїм завданням давати рибній промисловості відомості про якісну й кількісну характеристику сировинної бази як на найближчий рік, так і на перспективу.

*До довгострокового прогнозу входять:*

- 1) максимально допустима величина вилову кожного виду риб;
- 2) розмірний і віковий склад нерестового стада;
- 3) статеві структури нерестового стада;
- 4) якісна характеристика (маса, жирність, вгодованість) риб кожної вікової групи.

*Довгостроковий прогноз* поділяють на *оперативний*, розроблений на наступний рік, і *перспективний*.

Можливий вилов може бути визначений рівним торішньому за наявності наступних умов:

- 1) якщо темп росту особин близький до середнього максимального, за якого забезпечується максимальна продуктивність популяції й мінливість росту в межах кожної вікової групи незначна;

2) якщо вік статевої зрілості звичайно не вищий за середнє значення для цієї популяції, значна частина особин дозріває в мінімальному віці статевої зрілості, що властиво цій популяції, віковий ряд уперше риб, що вперше дозрівають, дуже розтягнутий;

3) якщо улови як загальні, так і на промислове зусилля залишаються з року у рік відносно стабільними за постійної інтенсивності рибальства;

4) якщо кормова база, встановлена до початку періоду нагулу, близька до такої за минулі роки.

Улов має бути знижений, а в деяких випадках необхідно ввести тимчасову заборону промислу, якщо:

1) темп росту високий і не змінюється у зв'язку зі змінами чисельності стада риб;

2) статева зрілість рання й віковий ряд короткий;

3) улови як загальні, так і на промислове зусилля, падають;

4) кормова база висока.

Можливе підвищення величини вилову порівняно з виловом за попередні роки, якщо:

1) темп росту риб вповільнюється;

2) вік статевого дозрівання зрушується в бік більш старших вікових груп і віковий ряд дозрівання довгий (розтягується);

3) улови стабільні або зростають (як загальні, так і на промислове зусилля);

4) кормова база до початку сезону нагулу близька до такої за попередні роки, але під час сезону нагулу інтенсивно виїдається.

Треба враховувати взаємний вплив поколінь риб на ріст, тому що від росту залежить прогноз строку вступу поповнення в нерестове стадо. Паралельно з розробкою біологічного прогнозу варто складати прогноз за гідрологічними умовами, тобто так званий *фоновий прогноз*. Його завдання полягає в тому, щоб:

1) дати характеристику умовам життя популяції на найближчі роки;

2) виявити ті фактори або градієнти факторів, які можуть викликати масову загибель риб, головним чином молоді, або різко змінити умови життя популяції;

3) на основі зіставлення гідрометеорологічних явищ і динаміки уловів виявити загальну тенденцію в динаміці чисельності й біомаси популяції риб.

Слід пам'ятати, що у разі складання прогнозу, вилов риби необхідно проводити поквартально. Перший квартал – не більше 25% усього річного вилову, другий квартал – для усіх видів риб заборонений нерестовий період. У третьому кварталі слід виловлювати до 55% риби, а в четвертому – 20%.

#### Література:

1. Годівля риб : підручник / Шерман І. М., Гринжевський М. В., Желтов Ю. О. та ін. К. : Вища освіта, 2001. 269 с.

2. Гринжевський М. В. Аквакультура України (організаційно-економічні аспекти). К. : Вільна Україна, 1998. 364 с.

3. Шерман І. М., Пилипенко Ю. В., Шевченко П. Г. Іхтіологія : підручник. Херсон : ОЛДІ - плюс, 2022. 670 с.

4. Шекк П. В., Захарова М. В. Моделювання динаміки стада риб : конспект лекцій. Одеса : «ТЕС», 2009. 164 с.

5. Хрущ Л. З. Практикум з моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів : методичні рекомендації до проведення практичних занять. Івано-Франківськ : Вид-во Прикарп. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2012. 64 с.