ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістра»

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЙ ПРОМИСЕЛ ТА РИБНИЦТВО
THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FISHERIES AND FISH FARMING

Виконала: студентка 2 курсу заочної форми навчання
спеціальності 207 Водні біоресурси та аквакультура
Освітньо-професійна програма Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів
___Райлян Анастасія Анатоліївна _____
(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник ___д.г.н., проф. Тучковенко Ю.С. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент ___Гайдашенко І.М._____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
водних біоресурсів та аквакультури
№ ___ від ____.____. 2024 р.

Завідувачка кафедри
_____ БУРГАЗ Марина
(підпис) (прізвище,ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 7
протокол № __від ____.____.2024 р.

Оцінка_____/_____/_____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК
_____ _ГАЙДАШЕНКО Ірина
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

Анотація

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЙ ПРОМИСЕЛ ТА РИБНИЦТВО

Райлян А.А., магістр кафедри Водних біоресурсів та аквакультури

Кліматичні зміни стали однією з найважливіших глобальних проблем сучасності, що впливають на різні аспекти природного середовища та економічної діяльності.

Метою кваліфікаційної роботи магістра стало вивчення впливу кліматичних змін на рибний промисел та рибництво, аналіз наслідків цих змін для водних екосистем.

У кваліфікаційній роботі магістра досліджено вплив кліматичних змін на рибний промисел та рибництво, що є одними з найбільш чутливих галузей до змін клімату. Зростання середньої температури води, зміни рівня моря, а також інші кліматичні фактори мають значний вплив на екосистеми водойм, міграцію риб, а також на виробничі процеси в рибному господарстві.

Робота охоплює аналіз основних кліматичних змін, які впливають на рибний промисел, таких як зміщення ареалів рибних видів, зміни сезонних циклів нересту, зменшення біорізноманіття та зниження популяцій деяких видів риб. Окремо розглянуто вплив підвищення температури води на рибництво, зокрема, на виробництво риби в штучних водоймах, а також на розвиток хвороб риб, що посилюється під впливом змін клімату.

Висвітлено проблеми, які виникають через кліматичні зміни у рибному промислі, зокрема, зменшення врожайності риби, скорочення ресурсів для рибальства та посилення конкуренції між країнами за доступ до рибних запасів. Також в роботі розглядаються адаптаційні стратегії, які можуть допомогти знизити негативний вплив кліматичних змін на галузь, такі як впровадження сталих методів рибальства, розвиток аквакультури, а також зміна підходів до управління рибними ресурсами.

Кваліфікаційна робота магістра представлена на 66 сторінках і включає в себе 25 таблиць, 7 рисунків, 50 літературних джерела посилань.

Ключові слова: кліматичні зміни, рибний промисел, рибництво, аквакультура, біорізноманіття, адаптація, екосистема, сталий розвиток.

SUMMARY

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FISHERIES AND FISH FARMING

Rylian A.A., Master of the Water bioresources and aquaculture department

Climate change has become one of the most important global issues of our time, affecting various aspects of the natural environment and economic activity.

The purpose of the master's thesis was to study the impact of climate change on fisheries and fish farming, and to analyze the consequences of these changes for aquatic ecosystems.

The master's thesis examines the impact of climate change on fisheries and fish farming, which are among the most sensitive industries to climate change. Rising average water temperatures, sea level changes, and other climatic factors have a significant impact on aquatic ecosystems, fish migration, and production processes in the fisheries industry.

The paper includes an analysis of the main climate changes that affect fisheries, such as shifts in the ranges of fish species, changes in seasonal spawning cycles, reduced biodiversity, and declines in populations of some fish species. The impact of rising water temperatures on fish farming, in particular, on fish production in artificial reservoirs, as well as on the development of fish diseases, which is exacerbated by climate change, is also discussed.

The problems arising from climate change in fisheries are highlighted, including reduced fish yields, reduced resources for fisheries, and increased competition between countries for access to fish stocks. The paper also discusses adaptation strategies that can help reduce the negative impact of climate change on the industry, such as the introduction of sustainable fishing methods, the development of aquaculture, and changes in approaches to fisheries management.

The master's thesis is presented on 68 pages and includes 25 tables, 7 figures, 45 references.

Keywords: climate change, fishing, fish farming, aquaculture, biodiversity, adaptation, ecosystem, sustainable development.

ЗМІСТ

ВСТУП 3

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ 5

1.1 Загальні характеристики кліматичних змін: причини та наслідки 8

1.2 Вплив підвищення температури на водні екосистеми 10

1.3 Зміни гідрологічного режиму водойм 14

2 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЙ ПРОМИСЕЛ 17

2.1 Прогнозовані переваги ареалів існування промислової риби за різних сценаріїв зміни клімату 18

2.2 Підвищення ризиків для біорізноманіття та продуктивності рибного промислу 27

2.3 Зміна міграційних шляхів морських і прісноводних риб 37

3 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЦТВО 42

3.1 Зміни умов вирощування риб в аквакультурі 42

3.2 Ризики розвитку захворювань риб через кліматичні зміни 51

3.3 Адаптивні стратегії у рибництві для мінімізації впливу клімату 54

ВИСНОВКИ 59

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 62

ВСТУП

Кліматичні зміни стали однією з найважливіших глобальних проблем сучасності, що впливають на різні аспекти природного середовища та економічної діяльності. Особливе занепокоєння викликають наслідки цих змін для водних екосистем, які є основою для рибного промислу та рибництва. Підвищення температури води, зміна хімічного складу океанів, погіршення стану гідробіонтів і порушення харчових ланцюгів становлять серйозну загрозу для стабільності галузей, пов’язаних із видобутком та вирощуванням риби.

Зміни у популяціях рибних ресурсів, міграція видів до нових географічних зон, скорочення біорізноманіття та зниження продуктивності рибництва впливають не лише на екосистеми, а й на добробут населення, яке залежить від рибальства та аквакультури. У цьому контексті актуальним є дослідження впливу кліматичних змін на рибний промисел та рибництво для виявлення основних проблем і розробки адаптивних стратегій.

Кліматичні зміни мають суттєвий вплив на водні екосистеми, які забезпечують близько 20% глобального споживання білка. В умовах підвищення глобальної температури та зростання частоти екстремальних погодних явищ змінюється структура рибних ресурсів, скорочується вилов, зростає конкуренція за доступ до морських ресурсів. У багатьох країнах, включаючи Україну, наслідки змін клімату вже відчутні у вигляді скорочення рибних запасів у природних водоймах, деградації рибопромислових районів та зниження ефективності рибництва.

Метою кваліфікаційної роботи магістра стало вивчення впливу кліматичних змін на рибний промисел та рибництво, аналіз наслідків цих змін для водних екосистем.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Проаналізувати наукові джерела щодо основних проявів кліматичних змін і їхнього впливу на водні екосистеми.

2. Дослідити вплив потепління води, гіпоксії та окислення океанів на продуктивність рибного промислу.

3. Визначити зміни у популяціях риб, що є результатом кліматичних змін.

Об'єктом дослідження є вплив кліматичних змін на водні екосистеми, які забезпечують діяльність рибного промислу та рибництва.

Предметом дослідження є закономірності змін у продуктивності рибного промислу та рибництва під впливом кліматичних змін.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ

Кліматичні зміни є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. Їхній вплив охоплює всі компоненти біосфери, включаючи водні екосистеми, які відіграють важливу роль у регулюванні глобальних екологічних процесів. Зміни температури, гідрологічного режиму, рівня кисню та інших параметрів водойм суттєво впливають на стан водних організмів, їхнє біорізноманіття та продуктивність. Цей реферат розглядає теоретичні аспекти впливу кліматичних змін на водні екосистеми, акцентуючи увагу на фізико-хімічних, біологічних і екологічних процесах.

Кліматичні зміни — це довготривалі зрушення у кліматичних умовах Землі, викликані природними та антропогенними чинниками.

Основними причинами кліматичних змін є:

- збільшення концентрації парникових газів (CO_2, CH_4, N_2O);
- руйнування природних екосистем (вирубка лісів, осушення водно-болотних угідь);
- інтенсивне використання викопного палива;
- антропогенні зміни у землекористуванні.

До основних проявів кліматичних змін належать:

- підвищення середньої глобальної температури;
- танення льодовиків і полярних шапок;
- підвищення рівня Світового океану;
- зміна режиму опадів і частота екстремальних погодних явищ.

Ці зміни впливають на динаміку водних екосистем, змінюючи їхній фізико-хімічний стан та біологічну структуру.

Одним із ключових наслідків кліматичних змін є зростання середньої температури води, що суттєво впливає на водні екосистеми. Підвищення температури прискорює метаболічні процеси у водних організмів, але

водночас знижує розчинність кисню у воді, що може спричиняти гіпоксію. Крім того, високі температури сприяють інтенсивному розвитку шкідливих водоростей, особливо синьо-зелених, які викликають цвітіння води та порушують природний баланс екосистем.

Кліматичні зміни змінюють гідрологічний баланс, впливаючи на обсяги опадів і випаровування. Це має значні наслідки для водойм: вони можуть обміліти або, навпаки, затопитися, залежно від регіону та кліматичних умов. Такі зміни підривають стійкість екосистем, знижуючи їхню здатність протистояти паводкам чи посухам, що робить ці явища ще більш руйнівними.

Зростання концентрації CO_2 у атмосфері викликає підвищення кислотності океанічних вод. Це явище серйозно впливає на організми, які залежать від карбонатів, такі як корали, молюски та інші морські види з вапняковими скелетами. Зменшення концентрації карбонатів у воді ставить під загрозу ці екосистеми, які є важливими для біорізноманіття та екологічної рівноваги океанів.

Підвищення температури води та зміни у її рухливості впливають на процеси газообміну, знижуючи рівень розчиненого кисню. Це призводить до масової загибелі риб і безхребетних, особливо у прісноводних екосистемах. Такі зміни спричиняють втрату біорізноманіття, що негативно позначається на стійкості водних екосистем у глобальному масштабі.

Кліматичні зміни викликають зміщення ареалів багатьох водних видів. Холодолюбні види поступово відступають до полярних регіонів, тоді як теплолюбні активно розширюють свої території. Це призводить до порушення харчових ланцюгів і зниження чисельності місцевих популяцій, що негативно впливає на екологічну рівновагу.

Збільшення температури води створює сприятливі умови для поширення інвазійних видів. Ці види конкурують із місцевими, що погіршує екологічну ситуацію у водоймах. Інвазійні організми можуть витісняти аборигенні види, що дестабілізує існуючі екосистеми.

Кліматичні зміни значно знижують стійкість екосистем до екологічних стресів. Це проявляється у скороченні видового різноманіття, зокрема фітопланктону та зоопланктону, які є основою харчових ланцюгів. Зменшення чисельності ключових видів призводить до втрати біологічної рівноваги і ускладнює адаптацію екосистем до нових умов.

Зміни температурного режиму та кисневого балансу у водоймах сприяють поширенню патогенних мікроорганізмів. Це викликає масові епізоотії серед риб і молюсків, що негативно впливає на продуктивність і стабільність водних екосистем.

Зменшення чисельності ключових видів, таких як планктон, має серйозні наслідки для водних екосистем. Планктон є основою харчових ланцюгів, і його зникнення або скорочення може призвести до колапсу цих ланцюгів, негативно впливаючи на всі рівні організмів, від дрібних безхребетних до великих хижаків.

Кліматичні зміни порушують первинну продукцію у водоймах, оскільки водорості та фітопланктон чутливо реагують на зміну температури, освітлення та рівня поживних речовин. Такі порушення змінюють природний баланс екосистем, викликаючи як зменшення продуктивності, так і спалахи надмірного розмноження окремих видів, наприклад, шкідливих водоростей.

Водні екосистеми виконують низку важливих функцій, зокрема регулювання клімату, очищення води та забезпечення харчових ресурсів. Кліматичні зміни підривають їхню стабільність, що може призвести до суттєвих економічних збитків і зниження добробуту людства. Зменшення якості екосистемних послуг створює ризики для довкілля та суспільства загалом.

Кліматичні зміни мають значний вплив на фізико-хімічний і біологічний стан водних екосистем. Їхні наслідки включають зміни температурного режиму, зниження рівня кисню, втрату біорізноманіття та зниження екосистемної продуктивності. Для зменшення цих впливів необхідно розробляти адаптаційні стратегії, спрямовані на збереження

водних екосистем і пом’якшення наслідків змін клімату. Впровадження інноваційних рішень і міжнародна співпраця є ключовими кроками до забезпечення екологічної стабільності.

1.1 Загальні характеристики кліматичних змін: причини та наслідки

Кліматичні зміни – це глобальна проблема, яка вимагає термінових дій на міжнародному рівні. Боротися з нею можна шляхом зменшення викидів парникових газів, збереження природних екосистем, розвитку відновлюваної енергетики та адаптації до нових кліматичних умов. Ефективні дії сьогодні зменшать масштаб катастрофічних наслідків у майбутньому.

Причини зміни клімату. Зміна клімату завжди існувала протягом історії нашої планети. Але глобальне потепління, яке ми спостерігаємо протягом останніх 150 років, є аномальним, оскільки є результатом людської діяльності. Воно називається антропогенним парниковим ефектом і відбувається на додаток до природного парникового ефекту. З промисловою революцією людина раптово почала закачувати мільйони метричних тонн вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу, подвоївши кількість CO_2, присутнього в атмосфері, порівняно з мінімальними рівнями за останні 700 тисяч років (410-415 частин на мільйон порівняно з 200-180 частинами на мільйон). Це можна спостерігати щодня завдяки дослідженням таких обсерваторій, як обсерваторія в Мауна-Лоана Гавайському архіпелазі. Близько 15 років дані, отримані тисячами вчених з усього світу, аналізуються і систематизуються Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату Міжурядовою групою експертів зміни клімату (МГЕЗК), підтвердили, що глобальне потепління є наслідком антропогенного парникового ефекту, тобто спричинене діяльністю людини. Насправді, наукове обґрунтування зв'язку між рівнем вуглекислого газу та підвищенням температури було встановлено

ще в минулому столітті, завдяки роботі Нобелівського лауреата Сванте Арреніуса, а пізніше підтверджено американським вченим Девідом Кілінгом у 1960-х роках.

Наслідки зміни клімату. За останнє століття середня температура на планеті зросла на 0,98 °C, і тенденція, яку ми спостерігаємо з 2000 року, вказує на те, що, якщо не вжити заходів, до 2030 року ймовірне подальше підвищення температури на 1,5°. Вплив глобального потепління вже очевидний: арктичний морський лід зменшується на 12,85% кожне десятиліття, тоді як прибережні припливи показують, що рівень моря підвищується щороку на 3,3 мм з 1870 року. Десятиліття 2009-2019 років було найспекотнішим за всю історію спостережень, а 2020 рік став другим найспекотнішим роком за всю історію, лише трохи відставши від рекордного 2016 року. "Сезони пожеж" стали довшими та інтенсивнішими, як, наприклад, в Австралії у 2019 році; з 1990 року частота екстремальних погодних явищ, таких як циклони та повені, також зросла, причому вони відбуваються навіть у нетипові моменти року порівняно з минулим і мають руйнівні рівні інтенсивності. Такі явища, як Ель-Ніньо, стали більш нерегулярними і спричиняють небезпечні посухи в регіонах, яким вже загрожує хронічна посуха, наприклад, у Східній Африці, тоді як Гольфстрім сповільнюється і цілком може змінити свій маршрут. Види рослин і тварин мігрують непередбачуваними шляхами з однієї екосистеми в іншу, завдаючи незмірної шкоди біорізноманіттю в усьому світі.

Визначення всього цього терміном "зміна клімату" є точним, але не дає повної картини того, що відбувається.

Діяльність людини, така як спалювання викопного палива та знищення тропічних лісів, має все більший вплив на клімат і температуру Землі. Це додає величезну кількість парникових газів до тих, що природно присутні в атмосфері, збільшуючи парниковий ефект і глобальне потепління. Найбільшої шкоди завдає, перш за все, споживання вугілля, нафти та газу, на які припадає більшість викидів парникових газів. У 2019 році, згідно зі звітом

McKinsey "Глобальна енергетична перспектива 2019", викопне паливо відповідало за 83% загальних викидів CO2, а виробництво електроенергії лише на вугільних електростанціях - 36%, хоча у 2020 році - через пандемію Covid-19 - викиди різко скоротилися (джерело: "Світовий енергетичний прогноз 2020"). За оцінками, нинішня тенденція викидів CO2 внаслідок спалювання вугілля є причиною приблизно третини підвищення середньорічної температури на 1°C порівняно з доіндустріальним рівнем, що робить його найбільшим джерелом викидів за всю історію людства. В абсолютному вираженні нафта є другим за величиною джерелом викидів, 12,54 мільярда тонн CO2 (86% від загального обсягу викидів вуглецю в 14,55 мільярда тонн) у 2019 році.

Знищення лісів також завдає істотної шкоди: дерева допомагають регулювати клімат, поглинаючи вуглекислий газ з атмосфери, тому якщо їх знищити, цей корисний ефект зменшується, а вуглець, що зберігається в цих деревах, викидається в атмосферу, посилюючи парниковий ефект.

Нарешті, зростання інтенсивного тваринництва та використання добрив, що містять озон, сприяють збільшенню викидів парникових газів.

Наука пропонує чіткі дані, прогнози та ретельно вивчені сценарії майбутнього. Зміна клімату нікого не чекає і не зупиниться сама по собі. Потрібні суттєві культурні зміни, справжня зміна парадигми. Вже існує широка згода щодо того, що потрібно зробити: тепер це потрібно перетворити на реальність.

1.2 Вплив підвищення температури на водні екосистеми

Підвищення температури, спричинене кліматичними змінами, має значний вплив на водні екосистеми, змінюючи їх фізичні, хімічні та біологічні характеристики. Ці зміни порушують екологічний баланс, впливають на видовий склад і знижують продуктивність водних систем.

Підвищення температури води має безпосередній вплив на життєдіяльність водних організмів, таких як риби, безхребетні та водорості. Зменшення розчинності кисню в теплішій воді призводить до гіпоксії, особливо у стоячих водоймах (табл. 1.1). Видові групи, які залежать від холодної води, наприклад, лосось і форель, змушені мігрувати до прохолодніших зон, або їхня чисельність скорочується.

Крім того, у водоймах порушується термальна стратифікація — розділення на теплі й холодні шари, що ускладнює циркуляцію поживних речовин і доступ до кисню в глибоких шарах. У високоширотних регіонах скорочується тривалість льодового покриву, або він повністю зникає, що позначається на екосистемах полярних регіонів. Танення льодовиків також впливає на солоність океанів і глобальні течії.

Таблиця 1.1 - Фізичні зміни в екосистемах

Тип змін	Прояви	Наслідки
Температура	Підвищення середніх температур, екстремальні теплові хвилі	Зменшення ареалів холодолюбних видів, міграція видів, тепловий стрес
Рівень моря	Підвищення рівня через танення льодовиків	Затоплення прибережних зон, втрата місць проживання тварин
Гідрологія	Зміни режиму опадів, тривалі посухи	Зниження водозабезпечення, деградація водно-болотних угідь
Танення льоду	Зменшення площі льодовикових шапок і морського льоду	Зменшення місць існування для полярних видів
Погодні явища	Посилення штормів, ураганів, затоплень	Руйнування екосистем, ерозія ґрунтів

У теплішій воді знижується рівень розчиненого кисню, що створює умови для утворення "мертвих зон". Організми, чутливі до низького рівня кисню, такі як молюски, не здатні виживати в таких умовах (табл. 1.2, 1.3).

Зміни температури сприяють підвищенню рівня поглинання океанами вуглекислого газу, що знижує pH води й викликає окислення. Це негативно позначається на коралових рифах і організмах із вапняковими скелетами, таких як молюски. Тепліша вода сприяє розмноженню токсичних синьо-зелених водоростей, що завдає шкоди водним організмам і знижує якість води для господарських потреб.

Таблиця 1.2 - Хімічні зміни в екосистемах

Тип змін	Прояви	Наслідки
Окиснення океанів	Поглинання CO_2 океанами, зниження pH води	Руйнування коралових рифів, зменшення біорізноманіття
Забруднення повітря	Зростання концентрації парникових газів	Порушення фотосинтезу, підвищення озонового стресу
Евтрофікація	Надлишок поживних речовин у водних екосистемах	Розмноження водоростей, зниження кисню, загибель риб
Кислотні дощі	Утворення кислот із SO_2 та NO_x	Кислотність ґрунтів, деградація рослинності
Хімічний склад ґрунтів	Накопичення солей, зміна мінерального складу	Зменшення родючості, погіршення умов для рослинності

Таблиця 1.3 - Сумісний вплив фізичних і хімічних змін

Зміни	Прояви	Наслідки
Зміна біогеохімічних циклів	Порушення кругообігу вуглецю, азоту, фосфору	Погіршення продуктивності екосистем, зростання парникового ефекту
Комбіновані стреси	Поєднання теплового, водного, хімічного стресу	Зменшення популяцій, вимирання видів

Підвищення температури води змінює біорізноманіття. Теплолюбні види витісняють холодноводні, що призводить до зменшення різноманітності в екосистемах. Втрата видів із ключовими екологічними функціями, такими як хижаки або фільтратори, порушує стабільність екосистем.

Риби та інші водні організми мігрують до холодніших регіонів або на більші глибини, що створює нерівномірність у розподілі видів. Це, своєю чергою, впливає на екосистеми, які залежать від цих організмів. Види, які потребують стабільно низьких температур для розмноження, такі як тріска або осетер, мають труднощі з нерестом. Підвищення температури негативно впливає на розвиток ікри й личинок, знижуючи їхні шанси на виживання.

Зміни в розподілі рибних популяцій ускладнюють традиційний рибний промисел. Наприклад, вилов тріски в Північній Атлантиці суттєво знизився через підвищення температури води. Деградація водних ресурсів, пов'язана із забрудненням токсичними водоростями та зниженням рівня кисню, робить воду непридатною для пиття й зрошення.

Крім того, потепління негативно позначається на туристичній галузі. Втрата коралових рифів через підвищення температури води зменшує привабливість таких регіонів, як Великий Бар'єрний риф.

Для збереження водних екосистем необхідні заходи щодо захисту біорізноманіття. Це включає створення заповідних зон і відновлення екосистем, таких як мангрові ліси та коралові рифи. Адаптація промисловості також є важливою. Рибний промисел повинен враховувати зміну популяцій видів і переходити на більш стійкі методи.

Розвиток аквакультури може компенсувати скорочення вилову риби та забезпечити продовольчу безпеку.

Отже, підвищення температури води спричиняє суттєві зміни у водних екосистемах, порушуючи їхній баланс і функціонування. Для подолання цих викликів потрібен комплексний підхід, який включає зменшення впливу парникових газів, збереження водних ресурсів і адаптацію до нових кліматичних умов.

1.3 Зміни гідрологічного режиму водойм

Гідрологічний режим Світового океану включає зміни температури, солоності, циркуляції водних мас і рівня моря.

Підвищення глобальної температури спричиняє нагрівання води у річках, озерах та океанах. Це впливає на термальний режим водойм, знижуючи кисневмісність води та створюючи несприятливі умови для холодолюбних видів риб і інших організмів. Зміни у стратифікації води впливають на циркуляцію поживних речовин і кисню, порушуючи екосистемні процеси.

Кліматичні зміни призводять до нерівномірного розподілу опадів, що впливає на обсяг і режим стоку в річках і озерах. У деяких регіонах спостерігається збільшення інтенсивності дощів і ризик повеней, тоді як інші регіони страждають від тривалих посух, які знижують рівень води у водоймах (табл. 1.4).

Також, у багатьох північних регіонах спостерігається скорочення тривалості льодового покриву водойм через потепління. Це змінює тепловий режим води, прискорює танення льодовиків і може призводити до підвищення рівня води, що впливає на прибережні екосистеми.

Таблиця 1.4 - Фізичні зміни гідрологічного режиму

Фактор	Прояви	Наслідки
Температура води	Підвищення середньої температури водойм	Зниження рівня кисню, несприятливі умови для холодолюбних видів
Льодовий покрив	Скорочення тривалості льодоставу	Зміна термального режиму, прискорене танення льодовиків
Рівень води	Коливання через нерівномірність опадів	Затоплення прибережних зон або обміління водойм
Режим стоку	Зміщення піків паводків	Порушення нересту риб, зменшення запасів води у посушливі періоди
Випаровування	Зростання через підвищення температури	Зниження водозапасів, особливо у малих водоймах

Порушення сезонного циклу паводків і низьких вод може мати серйозні наслідки для рослин і тварин, які адаптувалися до цих умов. Затримка або зміщення часу піків водного стоку впливає на нерест риб, ріст водної рослинності та екосистемні зв’язки (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Зміна режиму опадів і водного стоку

Фактор	Прояви	Наслідки
Рівномірність опадів	Зменшення в одних регіонах, збільшення в інших	Посухи або паводки
Інтенсивність дощів	Зростання кількості злив	Ерозиї берегів, порушення ґрунтових вод
Паводковий режим	Зміщення та нерегулярність	Руйнування природних зон збереження вод

Зростання температури і концентрації поживних речовин у воді сприяють розвитку водоростей. Це призводить до зниження рівня кисню, що шкодить водній фауні. Разом із зменшенням водообміну через кліматичні зміни це посилює ризик деградації водойм.

Глобальне потепління зменшує розчинність кисню у воді. Надмірний розвиток водоростей і забруднення органічними речовинами призводять до додаткового споживання кисню, особливо в процесі розкладу органічних решток.

Зниження рівня розчиненого кисню (гіпоксія) викликає масову загибель організмів, що залежать від аеробного дихання. Недостатність кисню уповільнює обмінні процеси, зменшує ріст водних організмів і загальну продуктивність водойм (табл. 1.6).

Внаслідок гіпоксії утворюються "мертві зони" – ділянки водойм, де рівень кисню критично низький. Такі зони стають непридатними для життя більшості водних організмів.

Таблиця 1.6 - Хімічні зміни гідрологічного режиму

Фактор	Прояви	Наслідки
Кисневий баланс	Зниження рівня кисню у теплих водах	Гіпоксія, загибель риби та інших організмів
Солі і мінерали	Збільшення концентрації через випаровування	Зменшення родючості води, погіршення умов для водної фауни
Нутрієнти	Накопичення азоту і фосфору	Евтрофікація, цвітіння водоростей, кисневий дефіцит
Кислотність	Зміна pH води через поглинання CO_2	Руйнування середовищ існування для риб та інших організмів

Такі зміни гідрологічного режиму створюють додаткові екологічні стреси, які порушують рівновагу у водоймах та зменшують їхню здатність підтримувати біорізноманіття і забезпечувати екосистемні послуги.

2 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЙ ПРОМИСЕЛ

Кліматичні зміни істотно впливають на рибний промисел у всьому світі, порушуючи екологічний баланс у морських та прісноводних екосистемах. Потепління вод, зміна океанічних течій, окислення океанів і танення льодовиків стають ключовими факторами, що впливають на чисельність, поширення та біологічні цикли рибних популяцій.

Підвищення температури води змушує рибні популяції мігрувати до полюсів або на глибші шари океану, де температурні умови є сприятливішими. Наприклад, види, які звикли до холодних вод (тріска, лосось), скорочують свій ареал через відсутність придатних умов.

Ці зміни у розподілі видів створюють труднощі для рибалок, оскільки традиційні риболовні райони стають менш продуктивними, а освоєння нових зон вимагає додаткових витрат. У тропічних регіонах спостерігається значне зниження вилову через деградацію місцевих екосистем.

Деградація харчових ланцюгів через зменшення планктону, який є основою харчування для багатьох видів риб, безпосередньо впливає на продуктивність рибальства. Зниження чисельності риб спричиняє економічні втрати для регіонів, що залежать від рибного промислу.

Наприклад, у Північній Атлантиці популяція тріски значно знизилася через тепліші води, що вплинуло на традиційний рибний промисел у цьому регіоні.

Перерозподіл рибних запасів між країнами стає причиною міжнародних конфліктів за ресурси. Зони, які раніше не використовувалися для рибальства, через кліматичні зміни стають доступними, наприклад, у Північному Льодовитому океані. Це призводить до суперечок між прибережними державами за право на вилов у нових риболовних зонах.

2.1 Прогнозовані переваги ареалів існування промислової риби за різних сценаріїв зміни клімату

Проблеми промислових видів риб, пов'язані із загрозами зміни клімату, зумовлюють необхідність прогнозування змін у розподілі та вподобаннях видів щодо середовища існування за можливих сценаріїв розвитку подій у майбутньому.

Прогнозується, що в майбутньому морська екосистема зіткнеться з невідомим викликом зміни клімату. Реакція морських таксонів на зміни клімату через зміщення полюсів та глибини. За прогнозами, середня температура Світового океану зросте до 2 °C до кінця цього століття, що в залежності від різних сценаріїв концентрації парникових газів. Репрезентативні шляхи концентрації (РШК) представляють альтернативні шляхи концентрації парникових газів. У РШК початкове підвищення температури до 2020 року супроводжувалося подальшим зниженням. РШК 4.5 і РШК 6.0 відомі як два проміжні сценарії, і, нарешті, в РШК 8.5 прогнозується дуже помітне підвищення температури протягом усього двадцять першого століття. Викиди парникових газів відіграють головну роль у майбутніх змінах екологічних факторів океанів, таких як температура, вміст кисню та первинна продуктивність, що впливають на зміну розподілу видів та екосистем і опосередковано на фенологію та фізіологію деяких морських видів, забруднення морепродуктів, морське біорізноманіття та рибальство. Однак прогнозування масштабів таких впливів є складним завданням, оскільки реакція на зміну клімату залежить від виду, тому деякі види можуть адаптуватися до нових умов, а інші (наприклад, тропічна морська фауна) змінюють розподіл у пошуках більш придатних середовищ і для підтримки фізіологічного оптимуму.

Враховуючи стан запасів промислових риб та чутливість до зміни клімату необхідно визначити переваги біотопів та спрогнозувати зміни розподілу риб, а також їх надійність при майбутніх кліматичних сценаріях в

напрямку ефективного збереження видів та впровадження стратегій сталого управління рибальством. Зміна клімату вважається важливим викликом, який суттєво реорганізує майбутнє світового рибальства в довгостроковій перспективі і супроводжується потенційними економічними наслідками.

Будь-які невеликі зміни температури можуть вплинути на морські організми та пов'язані з ними морські рибні промисли. Очікується, що зміна клімату вплине на максимальний потенціал вилову (МПВ) через зміну видового складу, причому прогнозується збільшення МПВ у високоширотних регіонах і зменшення в тропіках.

Придатність ареалу мешкання та моделювання поширення видів є придатними інструментами для прогнозування переваг ареалу мешкання одного виду на основі спостережуваних взаємозв'язків між реєстрами трапляння видів та умовами навколишнього середовища. Ці моделі можуть передбачити можливий вплив ймовірних сценаріїв зміни клімату на розподіл морських видів шляхом визначення ключових змінних ареалу мешкання. Перевагами моделювання поширення видів є здатність створювати довгострокові, широкомасштабні та порівнянні майбутні прогнози для надійного управління та перспектив збереження.

Методика моделювання розподілу видів привертає багато уваги в останні роки для моделювання розподілу морських видів за майбутніми сценаріями. Алгоритми моделювання обирають найкращий екологічний предиктор, що визначає розподіл видів, призначаючи відносні внески шляхом зважування змінних протягом усього аналізу.

Алгоритм знаходить розподіл ймовірності максимальної ентропії, використовуючи екологічні коваріати в точках присутності видів і фонових точках, і, нарешті, прогнозує розподіл, використовуючи екологічні змінні в точках присутності видів. Цей метод моделювання добре працює при обробці даних лише про присутність і невеликих розмірів вибірки.

Оцінюють майбутній глобальний розподіл промислових риб за різними сценаріями глобального потепління (РШК 2.6, РШК 4.5, РШК Р 6.0 та РШК

8.5) на основі даних про біогеографічне поширення видів та набору з чотирьох екологічних змінних, включаючи середню глибину, температуру, солоність та швидкість течії, щоб спрогнозувати майбутній розподіл та вподобання промислових риб, зрозуміти, як екологічні змінні формують просторово- часові патерни промислових риб, та з'ясувати, яка змінна буде більш ефективною для прогнозування придатних середовищ існування промислових риб за різних сценаріїв зміни клімату. Використовують різні сценарії зміни клімату та глобальні дані про поширення промислових риб, щоб розглянути різні рівні впливу, пов'язані з різними регіонами, для отримання конкретних ступенів вразливості.

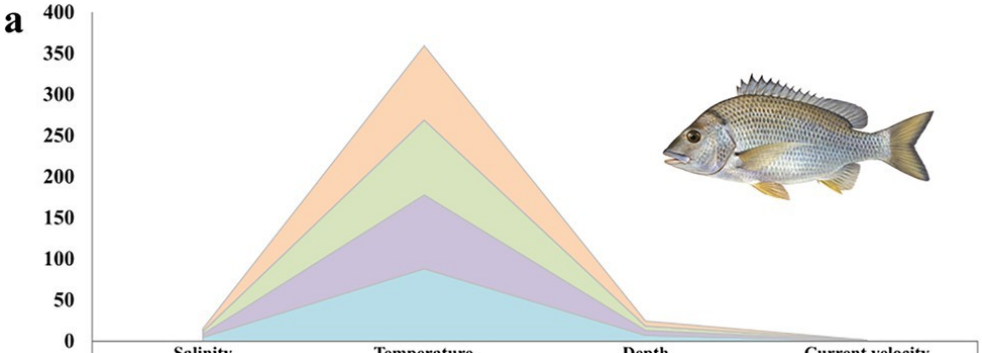
У таблиці 2.1 наведено результати майбутньої моделі за кожною РШК. Вищі ітерації виражають більшу збіжність моделі для кожного виду. Майбутня модель показує високу прогностичну здатність моделі передбачати фактичний розподіл промислових риб. Значення нижче мінімального порогу присутності (МРТ) вказують на непридатність ареалів мешкання для промислових риб.

Результати відносного внеску кожної змінної за чотирма РШК для трьох видів представлено на рис. 2.1. Ці значення показують відносну важливість екологічних предикторів, включаючи глибину, температуру, солоність та швидкість течії, у прогнозуванні майбутнього розподілу трьох видів за кожним РШК (рис. 2.1). Загалом, значення відносного внеску показали, що температура є найсильнішим екологічним предиктором, який показує майбутній розподіл промислових риб за чотирма РШК (рис. 2.1). Після температури глибина була другим домінуючим предиктором майбутнього розподілу риб *A. latus* та *P. kaakan* (рис. 2.1). Для *P. klunzingeri* солоність була найважливішою змінною після температури для прогнозування розподілу видів за майбутніми сценаріями (рис. 2.1).

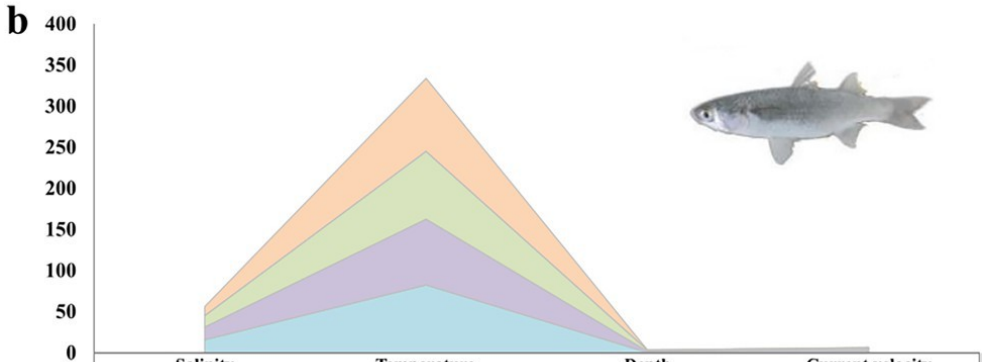
Таблиця 2.1 - Вихід maxEnt майбутнього моделювання при чотирьох RCP від RCP 2.6 до RCP 8.5 для кожного виду. SD Стандартне відхилення, MPT Мінімальний поріг присутності.

Види		Ітеграції	Навчальні вибірки	Тестові зразки	Тренування AUC ±	MPT
A. latus	РШК 2.6 ↓ РШК8.5	1000	145	48	0.9932 ± 0.0009	0.0002
		1000	145	48	0.9923 ± 0.0057	0.0001
		1000	145	48	0.9938 ± 0.0053	0.0002
		1000	145	48	0.9897 ± 0.0018	0.0001
P.klunzingeri	РШК2.6 ↓ РШК 8.5	960	75	25	0.9917 ± 0.033	0.0001
		860	75	25	0.9893 ± 0.0006	0.0003
		800	75	25	0.9818 ± 0.0028	0.0003
		900	75	25	0.993 ± 0.0093	0.0003
P. kaakan	РШК2.6 ↓ РШК2.6	740	349	116	0.9943 ± 0.0009	0.0004
		820	349	116	0.9941 ± 0.0005	0.0005
		1000	349	116	0.994 ± 0.0005	0.0014
		940	349	116	0.9944 ± 0.0013	0.0001

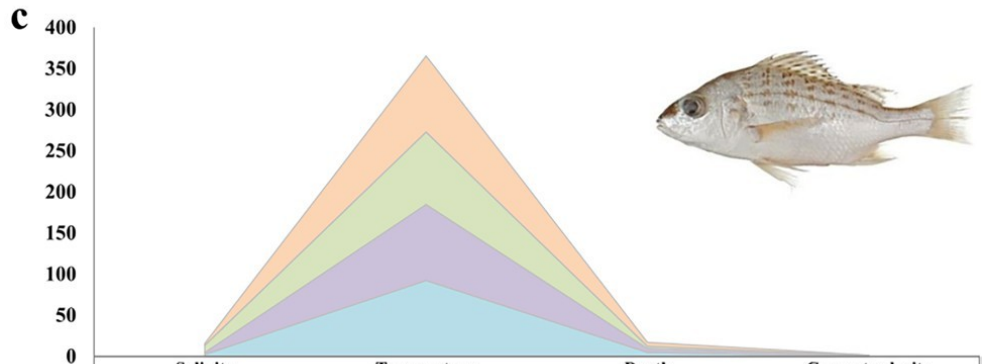
Результати AUC для трьох видів також вказують на важливу роль температури у прогнозуванні розподілу промислових видів риб за майбутніми сценаріями (рис. 2.1).



	Salinity	Temperature	Depth	Current velocity
RCP 8.5	3.35	90.47	6.14	0.02
RCP 6.0	3.29	90.96	5.21	0.51
RCP 4.5	3.68	89.72	5.92	0.66
RCP 2.6	4.74	88.13	7.12	0.0005



	Salinity	Temperature	Depth	Current velocity
RCP 8.5	10.94	88.75	0.06	0.22
RCP 6.0	13.87	82.43	1.55	2.13
RCP 4.5	15.47	80.07	1.33	3.11
RCP 2.6	15.93	82.61	0.53	0.91



	Salinity	Temperature	Depth	Current velocity
RCP 8.5	2.36	92.56	4.82	0.23
RCP 6.0	8.78	88.04	2.73	0.43
RCP 4.5	2.22	92.44	4.54	0.79
RCP 2.6	2.4	92.44	5.01	0.13

Рис. 2.1 - Відносна важливість екологічних змінних для прогнозування майбутнього розподілу трьох видів промислових риб, включаючи (a) *A. latus*, (b) *P. klunzingeri* та (c) *P. kaakan* за різних сценаріїв РШК.

У таблиці 2.2 наведено результати кривих відгуку в моделі. Згідно з таблицею 2.2, при зміні сценарію від РШК 2.6 до РШК 8.5, вид віддає перевагу солонішим, вищим температурам і глибшим водам.

Таблиця 2.2 - Вихідні криві відгуку, що показують, де існує найбільша ймовірність прогнозованої появи трьох видів промислових риб за чотирма сценаріями від RCP 2.6 до RCP 8.5.

Види		Екологічні предиктори			
		Швидкість	Солоність	Температура	Глибина
A. latus	РШК 2.6	1.23	33.36	26.17	37.75
	↓	0.001	39.18	27.75	8.12
	РШК 8.5	0.001	39.30	27.18	18.03
		1.18	39.85	28.32	60.53
P.klunzingeri	РШК 2.6	0.001	39.03	29.54	37.75
	↓	0.044	39.18	30.20	35.32
	РШК 8.5	0.27	39.30	30.50	44.20
		0.038	39.25	31.75	32.71
P. kaakan	РШК 2.6	0.08	34.59	25.21	37.75
	↓	0.001	34.15	27.01	8.12
	РШК 8.5	0.001	40.92	26.85	18.03
		0.092	40.63	27.03	60.53

Також були побудовані поліноміальні криві з п'ятьма порядками полінома, щоб показати нелінійну залежність між температурою і солоністю на широті 5° (рис. 2.2). Поліноміальні криві показали значну нелінійну залежність між температурою та солоністю у *P. klunzingeri* за всіх майбутніх сценаріїв (рис. 2.2). Найвища та найнижча кореляція між температурою та солоністю спостерігалася у *P. klunzingeri* та *P. kaakan* при РШК 2.6 та 8,5 сценаріїв відповідно (рис. 2.2).

Температурні варіації майбутніх сценаріїв вздовж широт вказують на те, що температура відіграє значну роль у прогнозуванні появи видів, а також у формуванні патерну географічних записів промислових риб (рис. 2.2b).

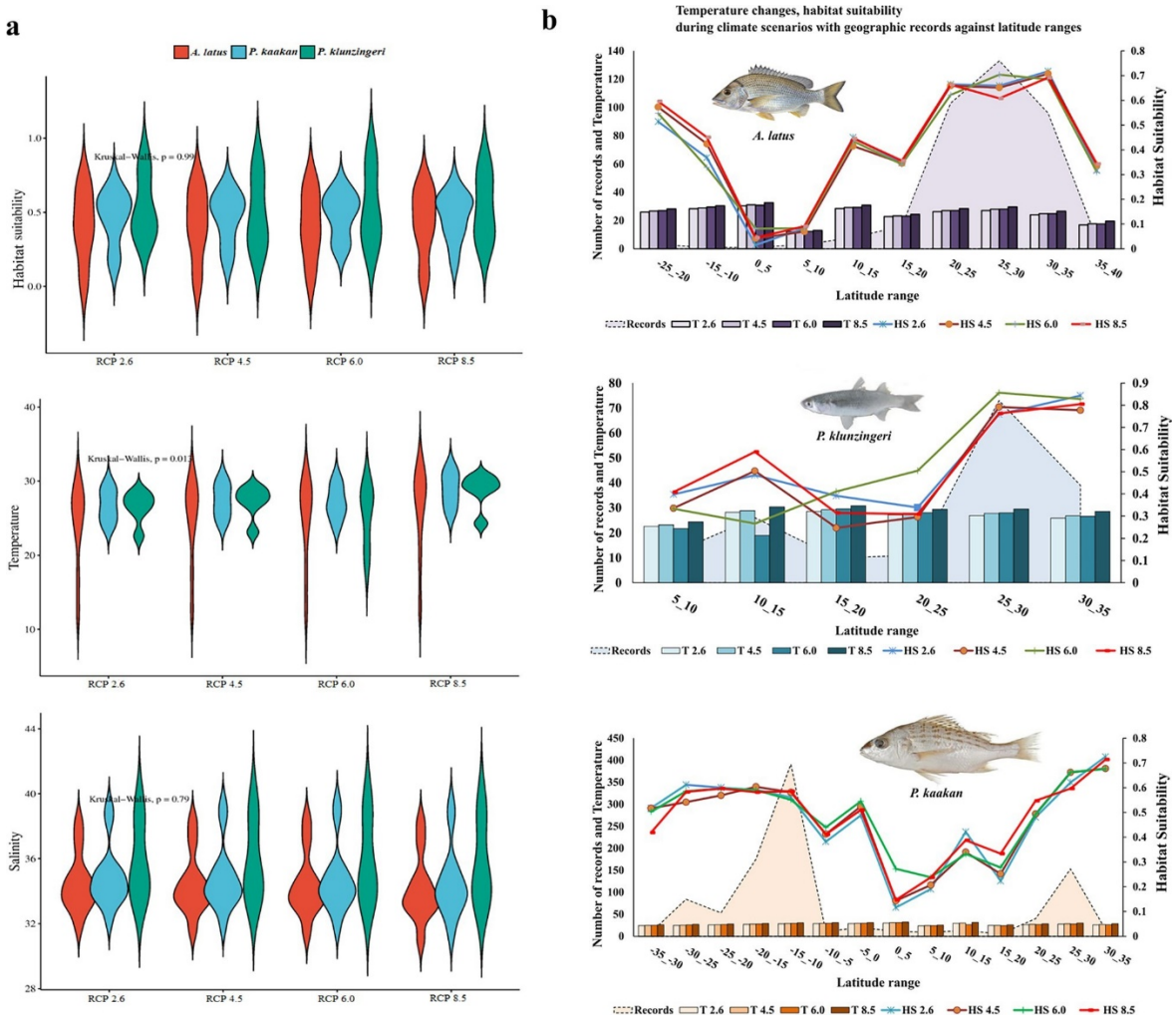


Рис. 2.2 - (а) Скрипкові діаграми, що показують діапазони варіацій придатності ареалу мешкання, температури та солоності за чотирма РШК для трьох видів, та (б) спостережувані дані про промислову рибу та температуру (перша вісь), а також придатність ареалу мешкання (друга вісь) у порівнянні з 5° широтними діапазонами за майбутніми сценаріями зміни клімату.

Просторовий розподіл придатності ареалу мешкання показав, що можна виділити три райони з високою придатністю (наприкладі північного

заходу Перської затоки, півдня Китайського моря та заходу Філіппінського моря) за чотирма показниками РШК (рис. 2.2 a). Протяжність цих районів починає зменшуватися від РШК 2.6 до RCP 8,5 (рис. 2.2 a). В Перській затоці спостерігається тенденція до збільшення розміру високопридатних ареалів до РШК 8,5 (рис. 2.2 b). Дуже низький діапазон середовищ з високою придатністю спостерігається в Ормузькій протоці і на захід від Перської затоки, а найбільша площа ділянок з високою придатністю належить до РШК 6.0 (рис. 2.2 b).

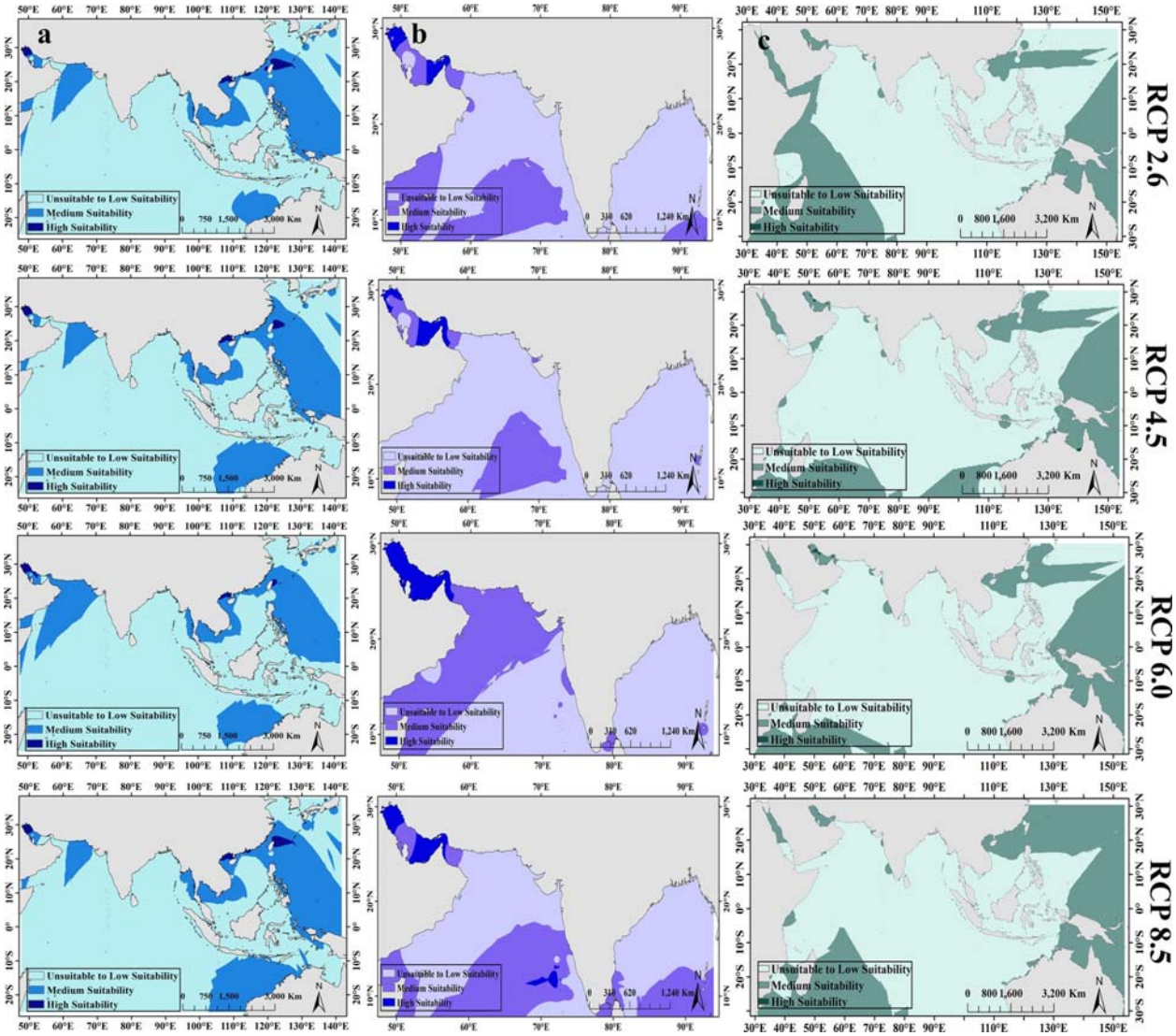


Рис. 2.3 - Просторовий розподіл придатності оселищ у прогнозах, створених для майбутніх моделей для трьох видів (a) *A. latus*, (b) *P. klunzingeri* та (c) *P. kaakan* за сценаріями РШК.

Зміни клімату, ймовірно, вплинуть на промислових риб через зміну переваг у середовищі існування. модель майбутнього для всіх кліматичних сценаріїв передбачила, що потенційні зони переваг промислових риб розташовані на глибинах нижче 70 м. Також спостерігалася низька мінливість оптимальних температур і солоності між сценаріями. Схоже, що екологічні оптимуми промислових риб є видоспецифічними, тому придатність ареалів мешкання буде знижуватися вище або нижче цього діапазону взаємодії з навколишнім середовищем. Прогнози припускають, що температура, ймовірно, відіграє головну роль у формуванні та мінливості розподілу промислових риб за майбутніми сценаріями. Підвищення температури впливає на багато аспектів біології та екології організмів. Місцеві умови, ймовірно, визначатимуть остаточний напрямок наслідків підвищення температури для морських організмів. Вподобання щодо середовища проживання досліджуваних видів у даній моделі були переважно субтропічними областями.

За майбутніми сценаріями спостерігали скорочення придатних біотопів у районах для досліджуваних риб. Огляд попередніх звітів показав, що тропічні та субтропічні зони найбільше постраждають від підвищення температури, тому що спостерігається негативний вплив на фізіологію риб падіння до 40% потенціалу вилову в морському рибальстві, зменшення вилову риби і скорочення періодів риболовлі. Крім того, переважна глибина залягання видів може показувати їх чутливість до зміни клімату. Досліджувані риби можуть мати вищу чутливість до підвищення температури, оскільки придонні види фізіологічно адаптувалися до постійних температур під поверхневими шарами і навіть невеликі зміни температури в майбутньому можуть мати негативний вплив на цих риб.

Після температури солоність є найсильнішим екологічним предиктором поширення риб, це непрямий вплив солоності на поширення сардини, хоча солоність також може бути кліматичним фактором, що спричиняє зміну екологічних оптимумів. Сильний зв'язок між температурою

та солоністю вказує на роль солоності у розподілі виду, ймовірно, через її вплив на температуру. Спостерігалися низькі варіації швидкості течії між різними сценаріями для промислових креветок і риби, та європейської сардини. Більше того, огляд швидкості течії та глибини показав більшу залежність трьох видів від глибших та більш турбулентних вод до РШК 8,5 до 2100 року. Різке потепління може вплинути на стабільні глибинні регіони менше, ніж на поверхневі води, так що види, ймовірно, успішно адаптуються до умов цих регіонів у майбутньому.

Спостерігаються специфічні реакції промислових риб на потепління океану. Деякі риби показують вищу чутливість до зміни клімату зі зміною розподілу до полюсів, інші ж перемістилися до прилеглих ареалів. Досліджувані види риб, які є високоспоживаними промисловими рибами, мають високі регіональні показники експлуатації, що призводить до надмірного вилову запасів. Надмірний вилов може посилити загрози зміни клімату для запасів морських видів. Пропонується зменшити інтенсивність рибальства у найбільш придатних для досліджуваних промислових видів риб біотопах, де очікується виникнення "гарячих точок" рибальства. Більше того, дрібномасштабне рибальство може зіткнутися з найбільшим впливом глобального потепління (особливо для видів з високим рівнем змін у розподілі та рухомими популяціями).

2.2 Підвищення ризиків для біорізноманіття та продуктивності рибного промислу

Зміни клімату мають істотний вплив на біорізноманіття океанів та продуктивність рибного промислу. Ці зміни включають потепління океанів, окислення вод, зменшення рівня кисню, підвищення рівня моря та

порушення екологічного балансу. Нижче розглянуто основні аспекти цього впливу.

Вплив змін клімату на біорізноманіття проявляється в ряді факторів. Так, підвищення температури океанічних вод створює значні виклики для морських екосистем. Морські види змушені мігрувати в холодніші регіони, де умови більш сприятливі для їх існування. Наприклад, холодноводні види, такі як тріска чи лосось, стикаються з поступовим скороченням свого ареалу, адже вони не можуть адаптуватися до вищих температур. Це призводить до змін у структурі екосистем та порушення екологічного балансу.

Збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері спричиняє підвищене поглинання CO_2 океанами, що призводить до зниження рівня pH води (рис. 2.4, 2.5). Це явище, відоме як окислення океанів, особливо небезпечне для коралових рифів.

Рис. 2.4 - зростання вмісту CO2 в атмосфері на планеті

Таке стрімке зростання вмісту CO2 в атмосфері сталося на планеті вперше за сотні тисяч років.

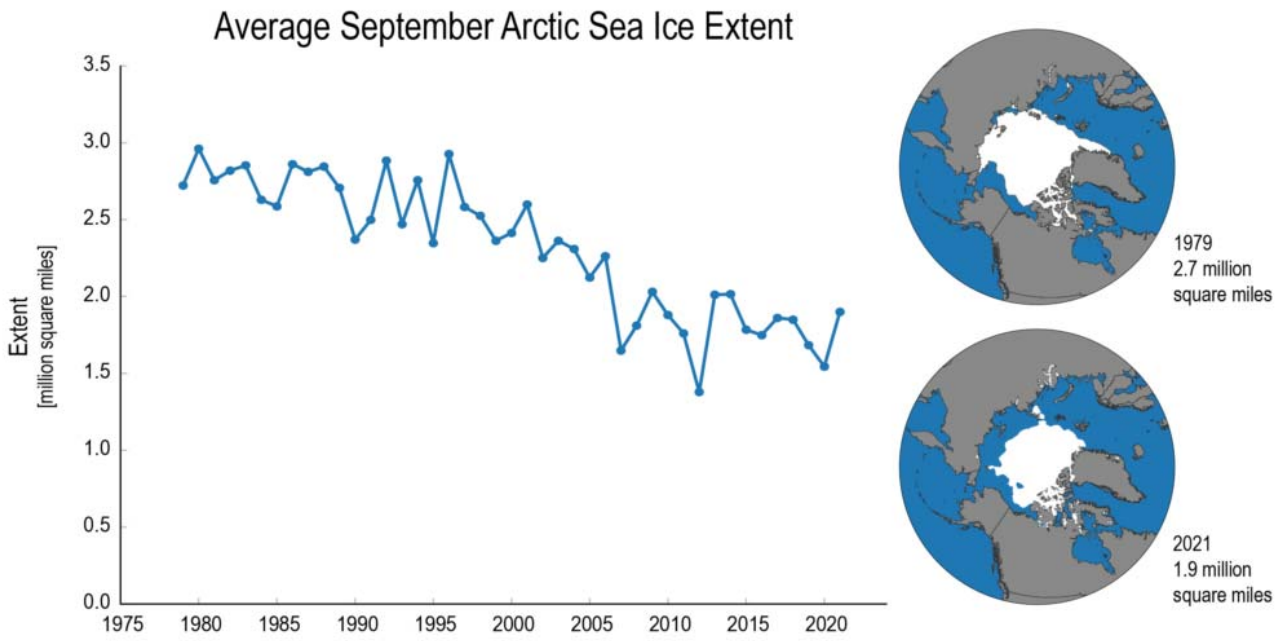


Рис. 2.5 - Вмісту CO_2 в атмосфері

Руйнування рифів позбавляє сотні видів риб середовища для харчування та нересту, що суттєво знижує їх чисельність і стійкість екосистем.

Підвищення температури океанів зменшує здатність води утримувати кисень, що спричиняє появу "мертвих зон". У цих зонах через низький рівень кисню зникають види, які не можуть адаптуватися до нових умов. Гіпоксія впливає на весь харчовий ланцюг, починаючи з планктону та закінчуючи великими хижими рибами (табл. 2.3).

Кліматичні зміни впливають на глобальні океанічні течії, які відіграють ключову роль у підтримці харчових ланцюгів. Наприклад, зміна маршрутів течій впливає на міграцію таких комерційно важливих видів, як тунець та сардини, що ускладнює їх вилов у традиційних регіонах.

Таблиця 2.3 - Основні ризики для біорізноманіття в результаті змін клімату

Ризик	Причини	Наслідки для біорізноманіття	Приклади регіонів, що постраждали
Підвищення температури води	Глобальне потепління	Зміна ареалів видів, зникнення холодноводних екосистем	Північна Атлантика, Арктика
Окислення океанів	Поглинання CO_2 океанами	Руйнування коралових рифів, зменшення видового різноманіття	Великий Бар'єрний риф, Тихий океан
Зменшення рівня кисню	Евтрофікація, підвищення температури води	Гіпоксія, загибель видів	Узбережжя Мексиканської затоки, Балтійське море
Зміна океанських течій	Зміна кліматичних моделей	Зсув місць нересту, порушення харчових ланцюгів	Північна Атлантика, узбережжя Антарктиди
Підвищення рівня моря	Танення льодовиків, термічне розширення вод	Затоплення прибережних екосистем, втрата середовищ існування	Дельта Меконгу, Бангладеш

Підвищення рівня моря призводить до затоплення прибережних зон, які є важливими нерестовими місцями для багатьох видів риб. Це ускладнює

відтворення популяцій, зменшує їх чисельність і впливає на біорізноманіття регіонів.

Продуктивність рибного промислу також зазнає змін в результаті змін клімату. Через потепління океанів рибні популяції мігрують до полюсів або на більші глибини, де умови залишаються сприятливими. Це створює проблеми для рибалок, оскільки традиційні місця лову стають менш продуктивними. Наприклад, популяції тріски в Північній Атлантиці суттєво зменшилися через потепління вод (табл. 2.4 -2.5).

Таблиця 2.4 - Основні ризики для продуктивності рибного промислу

Ризик	Причини	Наслідки для рибного промислу	Найбільш вразливі галузі
Зміна ареалів риб	Підвищення температури води	Зміщення продуктивних зон, скорочення доступу до ресурсів	Промисел тріски, скумбрії
Зменшення продуктивності	Зміна харчових ланцюгів	Зменшення вилову через зниження чисельності популяцій	Рибальство в тропічних регіонах
Океанічні шторми	Підвищення частоти та інтенсивності	Руйнування рибальських засобів, втрата інфраструктури	Узбережжя тропічних зон
Зниження запасів риби	Перелов, деградація середовищ існування	Погіршення екологічної стійкості промислу	Регіони з інтенсивним рибальством
Конфлікти через ресурси	Перерозподіл рибних ресурсів між країнами	Напруження міждержавних відносин	Південно-Східна Азія, Арктичний регіон

Зміни в екосистемах, зокрема деградація харчових ланцюгів через зменшення планктону, значно знижують продуктивність рибного промислу.

Особливо гостро ця проблема проявляється в тропічних регіонах, де спостерігається суттєве скорочення обсягів вилову через порушення екологічної рівноваги.

Переміщення рибних запасів до інших регіонів створює передумови для міжнародних конфліктів за доступ до ресурсів. Наприклад, у Арктичному регіоні країни змагаються за контроль над новими рибальськими зонами, які стають доступними внаслідок танення льодовиків (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 - Основні регіони, що постраждали від змін клімату (біорізноманіття та рибальство)

Регіон	Вплив на біорізноманіття	Вплив на рибний промисел	Конкретні проблеми
Арктика	Зменшення крижаних екосистем	Зміщення ареалів видів риби	Зникнення арктичного оселедця
Тропіки	Руйнування коралових рифів	Зниження продуктивності рибальства	Втрата біорізноманіття коралових зон
Північна Атлантика	Зміщення холодноводних видів	Зменшення запасів тріски	Зміна температури води
Індійський океан	Зменшення доступу до рибних ресурсів	Перерозподіл запасів тунця	Висока залежність від дрібного рибальства
Тихий океан	Окислення вод, загибель коралів	Перерозподіл видів риб	Руйнування середовища нересту

Кліматичні зміни збільшують частоту та інтенсивність ураганів і штормів, що руйнують риболовні судна, мережі та інфраструктуру (рис. 2.6). Це не лише підвищує витрати на відновлення, але й робить рибальство значно небезпечнішим, знижуючи економічну стійкість галузі.

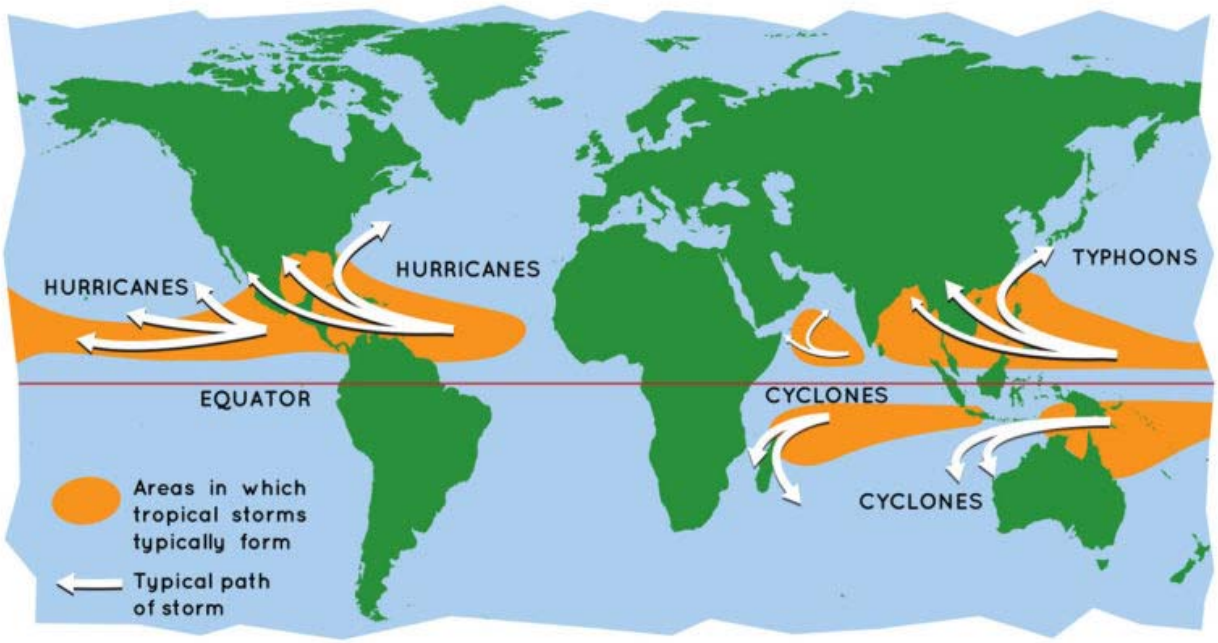


Рис. 2.6 – Карта-схема штормів у світовому океані

Шторми формуються у теплих водах екватора. Зазвичай це тропіки, де температура поверхні океану більша ніж 26°C. Тепла вода перетворюється на пару та разом із теплим повітрям підіймається вгору. В атмосфері пара починає охолоджуватися та утворює штормові хмари, які під дією вітру починають активно обертатися, підживлюючись теплом та водою з поверхні океану. Досягнувши швидкості вітру 119 км/год, шторм перетворюється на “ураган”. Він починає втрачати свою силу та вологу, коли потрапляє на суходіл, та випадає у вигляді зливи, спричиняючи повінь. Тому чим вища температура Світового Океану, тим швидше з нього випаровується вода, частіше утворюються урагани та зростає їх потужність. Відповідно, більше шкоди катаклізми завдають людству, забираючи життя, здоров’я, оселі тощо.

Зміни клімату суттєво впливають на різні види риб, порушуючи їх середовище існування, біологічні цикли, міграційні маршрути та популяції (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 - Вплив зміни клімату на окремі види риби

Вид риби	Вплив змін клімату	Прогноз для популяції	Регіони, що постраждали
Тріска	Зменшення доступу до місць нересту	Скорочення популяції	Північна Атлантика, Балтійське море
Лосось	Зміна температури нерестових річок	Зниження чисельності, зміщення ареалів	Аляска, Скандинавські країни
Креветки	Втрата середовищ існування	Зниження продуктивності	Південно-Східна Азія, Індійський океан
Тунець	Зміщення запасів через підвищення температури	Зменшення доступу до ресурсів	Екваторіальні зони Тихого океану
Камбала	Зниження рівня кисню в прибережних водах	Втрата місць проживання	Узбережжя Північної Європи

Розглянемо вплив на деякі ключові види:

1. Тріска (Gadus morhua)

Тріска є холодноводним видом, оптимальні умови для її існування — температури від 2 до 8°C. Потепління вод Північної Атлантики змушує цей вид мігрувати на північ. Це скорочує зони лову в регіонах, таких як Північне море. Потепління вод може порушувати нерест, оскільки для успішного розмноження потрібна стабільно низька температура. Зміни в доступності

кормового планктону в тепліших водах обмежують харчові ресурси для молоді тріски.

2. Лосось (Salmo salar)

Лосось залежить від холодноводних річок для нересту. Потепління річок через кліматичні зміни зменшує придатність цих водойм. Зменшення кількості опадів у багатьох регіонах знижує рівень води у річках, що ускладнює міграцію до місць нересту. Вища температура води знижує рівень кисню, що негативно впливає на виживаність молоді лосося.

3. Тунець (Thunnus spp.) Кліматичні зміни впливають на океанічні течії, що змінює міграційні маршрути тунця. Це ускладнює прогнозування місць його скупчення для рибалок. Тунець є теплолюбним видом, але надмірне підвищення температури може вивести регіони його проживання за межі оптимального діапазону. Переміщення кормових видів, таких як анчоуси та сардини, впливає на харчування тунця.

4. Осетер (Acipenseridae)

Підвищення температури у внутрішніх водоймах порушує нерестовий цикл осетрів, які віддають перевагу прохолодній воді. Підвищення рівня моря затоплює прибережні зони, що є важливими місцями для молоді осетрів. Поглинання CO_2 внутрішніми водоймами погіршує якість води, що впливає на розвиток осетрових яєць і личинок.

5. Коралова риба (Pomacentridae та інші)

Окислення океанів і підвищення температури води призводять до руйнування коралових рифів, які є життєво важливими для коралових риб. Руйнування середовища проживання скорочує кількість місць для укриття та харчування, що зменшує популяції. Підвищення температури впливає на тривалість та успішність розмноження риб, які залежать від коралових екосистем.

6. Анчоус (Engraulis spp.)

Анчоуси дуже чутливі до змін температури води. Потепління океанів змушує їх переміщуватися в більш прохолодні регіони. Планктон, основний

ресурс харчування анчоусів, може зникати або переміщуватися в інші зони через зміни клімату. Зміщення анчоусів впливає на традиційні промислові райони, наприклад, узбережжя Перу та Чилі.

Отже, зміни клімату призводять до скорочення чисельності популяцій через втрату середовищ існування, недостатність харчових ресурсів та порушення життєвих циклів. Багато видів не встигають адаптуватися до швидких змін, що ставить їх під загрозу вимирання. Регіони, які традиційно були основними місцями промислу, стають менш продуктивними, що змінює глобальні рибальські практики.

Ці явища вимагають від науковців, рибалок і урядів запровадження стратегій для збереження видів та адаптації промислу до нових умов.

Зміни клімату створюють серйозні економічні та соціальні виклики для регіонів, які залежать від рибного промислу. Скорочення рибних ресурсів призводить до втрати доходів для місцевого населення та змушує рибалок шукати інші джерела заробітку. Це часто спричиняє міграцію населення в інші регіони або галузі, посилюючи соціальну нестабільність (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 - Прогнозовані соціально-економічні наслідки для рибальства

Наслідок	Опис	Регіони, де наслідки найсильніші	Зачеплені групи населення
Втрата робочих місць	Зниження продуктивності промислу	Острови Тихого океану, тропічна Африка	Місцеві рибалки, дрібні фермери
Підвищення цін на рибу	Зменшення доступу до ресурсів	Глобально	Споживачі, переробна промисловість

Наслідок	Опис	Регіони, де наслідки найсильніші	Зачеплені групи населення
Міграція населення	Втрата джерел існування	Прибережні зони Африки та Азії	Рибальські спільноти
Посилення конкуренції	Ресурсні конфлікти між країнами	Арктика, Південно-Китайське море	Національні та міжнародні рибні флоти

Крім того, зменшення доступності риби на світових ринках підвищує її вартість, що впливає на споживачів, особливо у країнах, де риба є основним джерелом білка. Економічні втрати також зачіпають інфраструктуру, яка залежить від рибальства, включаючи порти, підприємства з переробки риби та транспортні мережі.

Зміни клімату мають серйозні наслідки для морських екосистем та рибного промислу. Збереження біорізноманіття та стійкість рибальства вимагають комплексного підходу, що включає міжнародну співпрацю, управління ресурсами та впровадження новітніх технологій.

2.3 Зміна міграційних шляхів морських і прісноводних риб

Кліматичні зміни суттєво впливають на екосистеми водойм, зокрема на міграційні шляхи морських і прісноводних риб. Підвищення температури води, зміна режиму течій, коливання рівня води та якість середовища змушують риб адаптуватися до нових умов, що призводить до змін традиційних міграційних маршрутів.

Із 1970 року чисельність видів мігруючих прісноводних риб скоротилася більш ніж на 80%. Спад кількості особин мігруючої риби

фіксують в усіх регіонах світу, найбільше – в Південній Америці та Карибському басейні. Про це свідчать останні розрахунки Індексу живої планети – індикатора стану глобального біологічного різноманіття

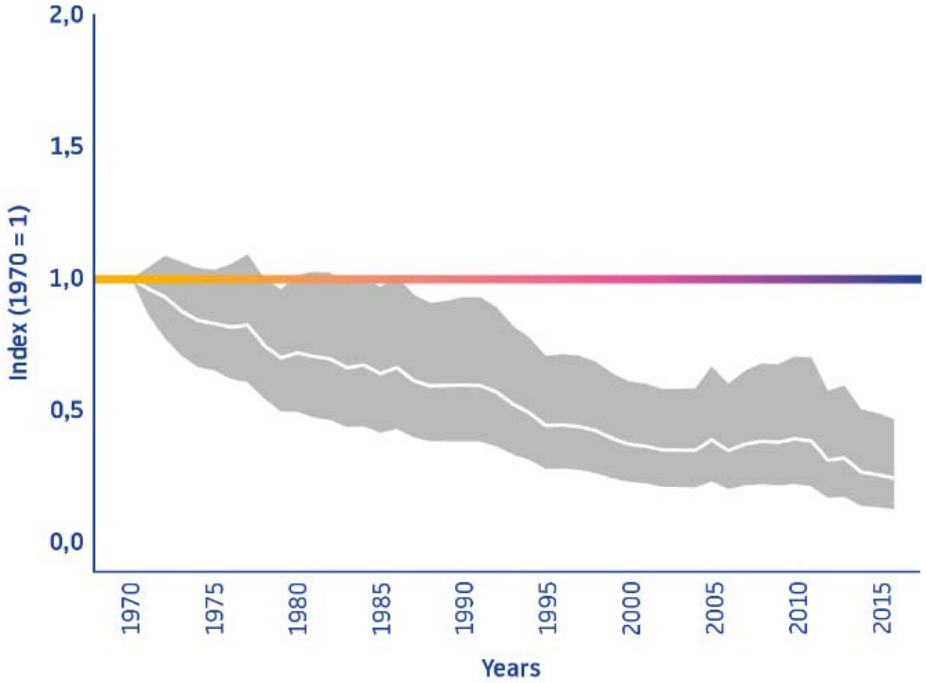


Рис. 2.7 - Середня зміна чисельності популяцій між 1970 та 2016

Середня зміна чисельності популяцій -76% між 1970 та 2016 роками серед 1 406 моніторингових популяцій 247 видів риб. Біла лінія показує значення індексу, а затінені області представляють 95% довірчий інтервал (-88% до -53%).

Найбільше скорочення популяції зафіксувати в Південній Америці та Карибському басейні, де чисельність зменшилася на 91%. Трохи краща, але не менш критична ситуація в Європі, – там риби поменшало на 75%.

Інформація щодо різниці в популяціях Африки відсутня, оскільки дослідники не мали достатньо даних для того, щоб провести розрахунки.

Мігруючі риби займають центральне місце в культурах багатьох корінних народів, вони живлять мільйони людей по всьому світу та підтримують величезну мережу видів та екосистем.

Мігруючі прісноводні риби частково або повністю залежать від прісноводних систем: деякі види народжуються в морі та мігрують назад у прісну воду або навпаки.

Прісноводна риба входить до раціону мільйонів людей у всьому світі. Також чимало людей заробляють на рибному промислі.

Міграцію видів блокують перепони, які не дають річкам протікати вільно, зокрема, дамби та інші бар'єри.

Крім штучних перепон для міграції, на популяцію прісноводної риби негативно впливають забруднення міськими та промисловими стічними водами, а також стікання з доріг і сільського господарства.

Зміна клімату також впливає на середовище існування видів, а також кількість прісної води.Також однією із загроз виживанню риби є стихійне рибальство.

Згідно з даними Міжнародного союзу охорони природи, чверть видів прісноводних риб перебуває під загрозою зникнення.

До причин зміни міграційних шляхів відносяться:

1. Підвищення температури води

Температура є ключовим фактором, що впливає на фізіологію риб і визначає їх місця нересту, харчування та зимівлі. Риби переміщуються у бік прохолодніших регіонів (наприклад, на північ для морських видів).

2. Зміна течій і гідрологічного режиму

Кліматичні зміни викликають перебудову океанічних і річкових течій, які впливають на шляхи міграції. Наприклад, ослаблення Гольфстріму сприяє змінам у міграції тунця та лосося.

3. Зменшення рівня розчиненого кисню

Тепла вода містить менше кисню, що змушує риб шукати більш сприятливі місця. У прісноводних водоймах це може призводити до концентрації риб у верхніх шарах води або міграції в гірські струмки.

4. Зміна рівня води

Танення льодовиків і зміна режиму опадів призводять до змін рівня води у річках і водоймах, що ускладнює або навіть блокує доступ до традиційних нерестовищ.

5. Кислотність і солоність води

Підвищення рівня CO_2 у воді змінює кислотність, а танення льодовиків змінює солоність морської води. Ці зміни змушують риб адаптуватися або змінювати ареали.

Приклади змін міграційних шляхів приведені в табл. 2.8

Таблиця 2.8 - Зміни міграційних шляхів

Риба	Традиційний ареал	Новий ареал або зміни	Причина
Лосось	Північна Атлантика	Зміщення на північ	Підвищення температури води
Сардина	Середземне море	Просування до Північного моря	Зміна океанічних течій
Тунець	Тропічні зони	Поява в помірних широтах	Потепління води
Осетер	Дельти великих річок	Зменшення популяції через зміну рівня води	Греблі, посухи
Короп	Річки та озера помірної зони	Масова міграція у гірські струмки	Зниження рівня кисню

Наслідки зміни міграційних шляхів різні. Так, міграція риб у нові регіони призводить до появи нових хижаків або конкуренції за ресурси, що порушує природний баланс, як приклад вторгнення тропічних видів у помірні широти. Риби, які не можуть адаптуватися до нових умов та можуть опинитися під загрозою зникнення. Переміщення цінних промислових видів,

таких як тріска чи оселедець, змінює регіони їхнього вилову, створюючи економічний дисбаланс. Річкові та озерні ферми можуть страждати через міграцію риб до інших середовищ. Зменшення доступу до традиційних видів риб може вплинути на раціон місцевих спільнот. Зміна рибальських зон може викликати конфлікти між країнами або громадами.

Зміни клімату значно впливають на міграційні шляхи риб, створюючи нові виклики для екології, економіки та суспільства. Для збереження популяцій риб і сталого використання водних ресурсів необхідні комплексні адаптивні заходи, що включають моніторинг, відновлення середовищ та міжнародну співпрацю.

3 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА РИБНИЦТВО

3.1 Зміни умов вирощування риб в аквакультурі

Аквакультура є важливою складовою сучасного рибного господарства, забезпечуючи стабільні обсяги виробництва риби для харчової промисловості. Успіх цього сектору залежить від контролю умов вирощування, оскільки риба чутлива до різних екологічних факторів, таких як температура, якість води, доступ до кисню, та інші. У зв'язку зі змінами клімату, збільшенням попиту на рибу та технологічним прогресом, умови вирощування риби зазнали значних змін.

Температура води є одним із ключових екологічних факторів, які впливають на фізіологічні процеси, ріст і розвиток риб. Кожен вид риби має свій оптимальний температурний діапазон, за якого його метаболізм, апетит і продуктивність перебувають на найвищому рівні. Відхилення від цього діапазону може призводити до негативних наслідків, включаючи стрес, уповільнення росту або навіть загибель.

Риби можна умовно розділити на дві групи за їх температурними потребами:

1. Стінотермні види (наприклад, форель): ці риби потребують стабільної низької температури води (10–16°C).
2. Евритермні види (наприклад, короп і тілапія): здатні адаптуватися до широкого діапазону температур (від 15 до 30°C).

Прикладом є тілапія, яка демонструє найшвидший ріст за температури 25–30°C, тоді як для форелі оптимум становить 12–15°C.

Оптимальна температура сприяє активному метаболізму, збільшенню апетиту та ефективному засвоєнню корму. Це забезпечує швидкий ріст та високу продуктивність риби. А от температурний стрес виникає за межами комфортного діапазону. За високих температур знижується рівень

розчиненого у воді кисню, що ускладнює дихання. Низькі температури, своєю чергою, уповільнюють обмін речовин і знижують активність риби (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Оптимальні температурні режими для росту аквакультурних видів

Вид риби/ гідробіонта	Наукова назва	Оптимальна температура (°C)	Максимальний ріст (°C)	Примітки
Короп	*Cyprinus carpio*	23–28	25–30	Знижений ріст при <20°C.
Форель райдужна	*Oncorhynchus mykiss*	12–18	15–17	При >20°C зростає стрес і ризик захворювань.
Тиляпія	*Oreochromis niloticus*	25–30	28–32	Температури <15°C смертельні.
Сом канальний	*Ictalurus punctatus*	27–30	28–31	Оптимальні умови при високій кисневій насиченості.
Білага	*Huso huso*	18–22	20–23	Знижена активність кормоспоживання при <15°C.

Температура впливає не лише на ріст, а й на статеве дозрівання, нерест і розвиток ікри. Так, наприклад у коропа нерест починається за температури 18–24°C. Надмірно високі або низькі температури знижують якість ікри та мальків (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Вплив температури на розмноження аквакультурних видів

Вид риби/гідробіонта	Температурний діапазон для нересту (°C)	Мінімальна температура для розмноження (°C)	Примітки
Короп	18–26	18	Нерест активний у теплих

Вид риби/гідробіонта	Температурний діапазон для нересту (°C)	Мінімальна температура для розмноження (°C)	Примітки
			водоймах.
Форель райдужна	9–13	7	Нерест відбувається у прохолодних водах.
Тиляпія	24–30	20	Висока температура сприяє інтенсивному нересту.
Осетер руський	*Acipenser gueldenstaedtii*	12–15	10
Лосось атлантичний	*Salmo salar*	6–10	4

Серед негативних наслідків екстремальних температур слід відзначити:

– Високі температури (>30°C) - вони викликають стрес, знижують імунітет і збільшують сприйнятливість до хвороб, призводять до зниження продуктивності та якості продукції.

– Низькі температури (<5°C) - уповільнюють обмін речовин, зупиняють ріст і можуть призводити до загибелі риби (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Вплив екстремальних температур на фізіологічні процеси аквакультурних видів

Температурний діапазон (°C)	Вплив на ріст і розмноження	Приклади видів
<5	Уповільнення метаболізму, можливий летальний ефект.	Лососеві, осетрові
5–15	Стабільний ріст і розвиток холодноводних видів.	Форель, лосось
15–25	Найкращий діапазон для більшості помірноводних видів.	Короп, сом
25–30	Піковий ріст тепловодних видів, проте	Тиляпія,

Температурний діапазон (°C)	Вплив на ріст і розмноження	Приклади видів
	можливий тепловий стрес.	канальний сом
>30	Порушення обміну речовин, підвищення смертності.	Короп, сом, осетрові

Стосовно адаптація до змін температури, то для мінімізації впливу температурних коливань в аквакультурі застосовують

1. Системи рециркуляції води (RAS), що дозволяють підтримувати стабільну температуру.

2. Моніторинг температури за допомогою сенсорів і автоматизованих систем контролю.

3. Генетичну селекцію - тобто виведення видів, стійких до широкого діапазону температур.

Отже, температура є вирішальним фактором для забезпечення оптимальних умов вирощування риби. Контроль температури сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню ризиків стресу та втрат, а також забезпечує стабільний ріст і розвиток аквакультурних видів. Впровадження сучасних технологій дозволяє фермерським господарствам ефективно реагувати на виклики, пов’язані зі змінами клімату та навколишнього середовища.

У зв'язку зі змінами клімату температура водойм може змінюватися, що впливає на умови вирощування. Для подолання цих викликів використовуються рециркуляційні аквакультурні системи (RAS), які дозволяють підтримувати стабільну температуру води.

Якість води є, також, одним із ключових факторів, що визначають успіх аквакультури. Стан водного середовища безпосередньо впливає на здоров’я, ріст, розмноження та продуктивність риби. Незадовільна якість води може спричинити стрес, захворювання та втрати поголів’я. Тому

контроль параметрів води є пріоритетним завданням у будь-якому аквакультурному господарстві.

Серед параметрів якості води слід виділити основні, а саме:

1. Температура. Оптимальна температура залежить від виду риби. Наприклад, для теплолюбних видів, таких як тілапія, ідеальною є температура 25–30°C, тоді як для холодолюбних, наприклад форелі, — 10–16°C. Зміни температури можуть призводити до стресу, змін у метаболізмі та зниження імунітету.

2. Рівень кисню (DO, dissolved oxygen). Достатній рівень розчиненого кисню (5–8 мг/л) необхідний для забезпечення нормального дихання риб. Низький рівень кисню (<3 мг/л) викликає задуху, знижує активність риби і може призвести до загибелі.

3. pH (кислотність води) Більшість видів риб комфортно почуваються в діапазоні pH 6,5–8,5. Відхилення від цих меж викликає порушення обмінних процесів, що може негативно вплинути на ріст і репродуктивну здатність.

4. Аммоній та нітрати. Аммоній (NH_3/NH_4^+) - у високих концентраціях токсичний для риби. Безпечний рівень — менше 0,02 мг/л. Нітрати (NO_3) помірно токсичні, але при концентраціях понад 50 мг/л можуть викликати стрес. Регулярна фільтрація і біофільтри допомагають контролювати ці речовини.

5. Забруднення та токсини. Присутність важких металів (ртуть, кадмій), пестицидів або органічних забруднювачів є загрозою для здоров’я риби. Для боротьби з такими ризиками використовуються механічні та хімічні методи очищення води.

Якість води є фундаментом успішного вирощування риби в аквакультурі. Завдяки впровадженню сучасних технологій моніторингу, фільтрації та аерації, фермери можуть забезпечити оптимальні умови для розвитку риб. Контроль якості води є не лише економічною необхідністю, але й важливим кроком до екологічно стійкого ведення аквакультури.

Раціональне використання кормів є ключовим фактором у забезпеченні високої продуктивності аквакультури. Правильний вибір кормів, їх якість, складання раціону і методи годування значною мірою впливають на ріст риби, її здоров’я та економічну ефективність виробництва (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Основні джерела кормових компонентів для рибництва та їх характеристики

Тип кормового ресурсу	Приклади	Основні поживні компоненти	Переваги	Недоліки
Рибне борошно	Анчоус, тріска	Високий вміст протеїну, амінокислот	Висока засвоюваність, поживна цінність	Висока вартість, екологічний вплив від вилову
Риб’ячий жир	Тріска, оселедець	Омега-3 жирні кислоти	Сприяє росту та здоров'ю риб	Дефіцитний ресурс, залежність від вилову
Рослинні білки	Соя, горох, ріпак	Протеїни, вуглеводи	Доступність, нижча вартість	Відсутність деяких амінокислот, антиживильні фактори
Мікроводорості	Спіруліна, хлорела	Протеїни, антиоксиданти, омега-3	Екологічність, висока поживна цінність	Висока вартість виробництва
Інсектицидний білок	Муха чорна львінка	Амінокислоти, жири	Екологічність, зменшення відходів	Недостатня нормативна база, потреба у дослідженнях
Мікробний протеїн	Дріжджі, міцеліальні гриби	Білок, вітаміни	Стійкість до змін, доступність	Низька доступність деяких амінокислот

Серед типів кормів в аквакультурі виділяють:

1. Природні корми - це організми, які природно розвиваються у водоймі: фітопланктон, зоопланктон, дрібні безхребетні. Їх роль особливо важлива на початкових етапах життя риби, наприклад, для личинок.

2. Комбікорми (штучні корми) - це основний тип кормів у промисловій аквакультурі. Вони складаються зі збалансованих інгредієнтів: протеїнів, жирів, вуглеводів, вітамінів і мікроелементів.

3. Екструзійні корми – це високоякісні гранульовані корми, які відзначаються високою поживною цінністю. Вони забезпечують повільне розчинення у воді, що мінімізує втрати і забруднення водойми.

4. Функціональні корми - це корми, що містять добавки для покращення імунітету, сприяння стресостійкості та підвищення адаптивності риби.

Сучасне рибництво активно шукає альтернативи традиційним кормовим ресурсам для зниження екологічного навантаження, зменшення витрат і підвищення стійкості аквакультури. Порівняння ефективності традиційних кормів (на основі рибного борошна і риб'ячого жиру) та альтернативних (рослинних, комах, водоростей тощо) наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Порівняння ефективності використання традиційних та альтернативних кормових ресурсів для рибництва

Показник	Рибне борошно	Рослинні білки	Мікроводорості	Інсектицидний білок	Мікробний протеїн
Вміст білка (%)	65–72	35–45	50–60	40–60	50–55
Засвоюваність білка (%)	85–95	70–80	85–90	80–90	80–85
Вміст омега-3 жирних кислот (%)	5–8	0.5–1	2–4	1–2	0.5–1
Вартість (за кг)	Висока	Низька	Середня	Середня	Середня
Екологічний вплив	Високий	Низький	Низький	Низький	Низький

Всі корми повинні відповідати вимоги до якості кормів, а саме бути збалансованими, корм повинен залишатися стабільним у воді протягом певного часу, щоб зберігати поживні властивості, та у кормі повинна бути відсутність токсинів та шкідливих речовин. Низька якість кормів може спричинити захворювання, уповільнення росту та навіть загибель риби.

Вплив кормів на продуктивність риби є значним. Від відмічається у швидкості росту - раціон зі збалансованим вмістом поживних речовин сприяє швидкому набору ваги. Наприклад, у тілапії чи сома використання високоякісного корму дозволяє зменшити час досягнення товарної маси (табл. 3.6).

Оптимальні корми мають низький FCR (1–1,5) (Коефіцієнт конверсії корму (FCR) – це показник відношення кількості корму до приросту ваги риби), що забезпечує економічну вигоду.

Таблиця 3.6 - Вплив нових кормових компонентів на показники росту та здоров'я риб

Кормовий компонент	Вплив на ріст	Вплив на імунітет	Примітки
Рибне борошно	Високий приріст ваги	Підтримка здоров'я	Стандартний компонент у більшості кормів
Рослинні білки	Стабільний приріст при балансуванні амінокислот	Зниження стійкості до хвороб	Вимагає додавання метіоніну та лізину
Мікроводорості	Прискорений ріст і покращення кольору риб	Підвищення антиоксидантного захисту	Додаткове джерело омега-3
Інсектицидний білок	Високий приріст, схожий на рибне борошно	Підтримка імунітету	Перспективне джерело екологічного білка
Мікробний протеїн	Стабільний приріст при додаванні добавок	Помірне підвищення стійкості	Дослідження тривають для підтвердження ефективності

Так, дефіцит мікроелементів чи амінокислот у кормах може призвести до порушень обміну речовин, зниження імунітету та чутливості до хвороб, а добавки у кормах, наприклад, пробіотики, сприяють здоров'ю травної системи. Живлення риби впливає на смак, текстуру та поживну цінність кінцевої продукції. Наприклад, високий вміст омега-3 жирних кислот у кормах підвищує цінність м'яса.

Використання високоякісних кормів і правильна годівля - основа ефективного розвитку аквакультури. Збалансоване живлення сприяє швидкому росту, зниженню витрат і забезпеченню здоров'я риби. Інноваційні підходи до створення кормів та автоматизація процесів годування дозволяють зробити аквакультуру більш продуктивною, економічною та екологічно стійкою.

Зміни умов вирощування в аквакультурі супроводжуються активним впровадженням цифрових технологій таких як - моніторинг параметрів води - тобто сенсори дозволяють контролювати температуру, pH, рівень кисню в режимі реального часу, а також автоматизація процесів - використання роботизованих систем годування, очищення води та регуляції температури значно знижує ручну працю та підвищує продуктивність.

Для адаптації риби до змін навколишнього середовища важливу роль відіграє генетична селекція, що проводить виведення нових порід, стійких до широкого діапазону температур і умов води. Забезпечує зменшення чутливості до хвороб через генетичну модифікацію або селекцію.

Зміни умов вирощування риб в аквакультурі є необхідністю у відповідь на виклики сучасного світу. Використання технологій моніторингу, автоматизації, генетичної селекції та стійких практик сприяє підвищенню продуктивності галузі, забезпеченню її екологічності та адаптації до глобальних змін. Завдяки цим заходам аквакультура продовжує розвиватися як один із провідних напрямів забезпечення продовольчої безпеки людства.

3.2 Ризики розвитку захворювань риб через кліматичні зміни

Кліматичні зміни впливають на всі аспекти екосистем, зокрема й на аквакультуру. Зміна температури води, частота екстремальних погодних явищ, підвищення рівня моря та інші наслідки кліматичних змін створюють сприятливі умови для розвитку захворювань у риб. Це становить загрозу для стабільності галузі та продовольчої безпеки.

Так, кліматичні фактори, що впливають на здоров'я риби.

Підвищення температури води призводить до прискорення метаболізму паразитів і патогенів. Вищі температури сприяють швидшому розмноженню бактерій, вірусів та паразитів. Наприклад, бактерії *Vibrio* активніше розмножуються у воді з температурою понад 25°C.

Також відбувається зниження імунітету риби. Температурний стрес послаблює захисні механізми організму, роблячи рибу більш уразливою до інфекцій (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 - Кліматичні фактори та їхній вплив на здоров'я риб

Фактор	Вплив на рибу	Приклади ризиків
Підвищення температури води	Зростання активності патогенів, зниження імунітету риб	Швидке розмноження бактерій *Vibrio*
Зменшення розчиненого кисню	Гіпоксія, стрес, зниження здатності до боротьби з інфекціями	Масовий мор риби через нестачу кисню
Кислотність води (pH)	Порушення фізіології риб, підвищення вразливості до хвороб	Поширення грибкових інфекцій
Екстремальні погодні явища	Переміщення патогенів, зміна екосистем	Спалахи інфекцій у результаті штормів
Цвітіння води	Виділення токсинів, пошкодження органів	Токсини ціанобактерій призводять до отруєння риби

Зменшення рівня розчиненого кисню, а саме тепліша вода містить менше кисню, що призводить до стресу у риб, особливо у видів, які чутливі до його концентрації (наприклад, форель). Гіпоксія знижує здатність організму риб протистояти інфекціям.

Підкислення океану через поглинання вуглекислого газу змінює фізіологічні процеси у риб, зокрема баланс іонів, що може впливати на їхню сприйнятливість до патогенів. Підвищення солоності води у прибережних регіонах через змішування з морською водою впливає на склад і розповсюдження патогенних організмів.

Штормові явища сприяють поширенню хвороб через переміщення забрудненої води та змішування водойм, а засухи знижують рівень води у водоймах, збільшуючи концентрацію забруднювачів і патогенів.

Через кліматичні зміни відбувається розвиток захворювань у риб. Так, бактеріальні інфекції, наприклад, стрептококоз, викликаний *Streptococcus iniae*, стає частішим у теплолюбних риб за підвищених температур (табл.3.8).

Віруси, такі як вірус інфекційного некрозу підшлункової залози (IPNV), стають активнішими в умовах температурного стресу.

Наприклад, паразит *Ichthyophthirius multifiliis* швидше розмножується в теплій воді, спричиняючи хворобу "білих цяток".

Гриби, такі як *Saprolegnia*, активно розвиваються в теплих і забруднених водоймах, вражаючи ікру, личинок і дорослих риб.

Таблиця 3.8 - Типи захворювань, спричинених кліматичними змінами

Тип захворювання	Збудник	Сприятливі умови	Приклади риб
Бактеріальні інфекції	*Vibrio*, *Aeromonas*, *Streptococcus*	Підвищена температура, низький кисень	Тілапія, форель
Вірусні інфекції	IPNV, VHSV	Стрес через зміну	Лососеві,

Тип захворювання	Збудник	Сприятливі умови	Приклади риб
		температури	морські види
Паразитарні інфекції	*Ichthyophthirius multifiliis*	Тепла вода, забруднення	Короп, сом
Грибкові захворювання	*Saprolegnia*	Висока вологість, забруднена вода	Личинки риб, ікра
Токсичні ураження	Ціанотоксини	Цвітіння води, підвищена температура	Річкова риба, озерні види

Підвищення температури води сприяє масовому розмноженню ціанобактерій, які виділяють токсини. Ці токсини викликають ураження печінки, нервової системи та інших органів риб.

Тривала дія підвищених температур або гіпоксії спричиняє хронічний стрес, який погіршує загальний стан риб і сприяє розвитку хвороб.

Значними є економічні наслідки захворювань риб. Відбувається зниження продуктивності. Хвороби знижують швидкість росту риб, погіршують конверсію кормів і якість продукції. Необхідність використання антибіотиків, вакцин та інших засобів для лікування і профілактики, що підвищує витрати (табл. 3.9). Спалахи захворювань можуть призводити до заборони експорту продукції або зниження довіри споживачів.

Таблиця 3.9 - Наслідки захворювань для аквакультури

Наслідок	Причини	Вплив
Зниження продуктивності	Хвороби уповільнюють ріст, знижують конверсію корму	Менший вихід продукції
Економічні втрати	Витрати на ліки, профілактику, втрати поголів'я	Зростання витрат виробництва

Наслідок	Причини	Вплив
Погіршення якості продукції	Інфекції знижують смакові характеристики і харчову цінність	Зниження попиту
Втрата біорізноманіття	Масова загибель через епідемії	Зменшення популяції місцевих видів
Заборона експорту	Небезпечна продукція через залишки антибіотиків	Втрата ринків

Серед стратегії мінімізації ризиків слід відзначити використання сучасних систем для контролю температури, розчиненого кисню, pH та інших параметрів води, запобігання перенесенню патогенів через контроль за якістю води, кормів і здоров'ям посадкового матеріалу та використання карантинних зон для нових партій риб.

Кліматичні зміни створюють нові виклики для аквакультури, зокрема сприяючи поширенню захворювань риб. Для збереження здоров'я риб і стабільності виробництва важливо впроваджувати комплексні підходи до управління ризиками: моніторинг, профілактика, генетична селекція та екологічно сталий підхід до вирощування. Забезпечення адаптивності галузі до кліматичних змін є необхідною умовою для її довгострокового розвитку.

3.3 Адаптивні стратегії у рибництві для мінімізації впливу клімату

Кліматичні зміни створюють значні виклики для рибництва, включаючи підвищення температури води, зниження розчиненого кисню, зміни кислотності та частіші екстремальні погодні явища. Для забезпечення сталого розвитку аквакультури важливо впроваджувати адаптивні стратегії, спрямовані на мінімізацію негативного впливу клімату.

До ключових напрямів адаптивних стратегій відносяться:

1. Моніторинг і управління параметрами водного середовища

Системи моніторингу включає використання сенсорів і автоматизованих систем для контролю температури, розчиненого кисню, pH, солоності та інших параметрів. Наприклад, установка датчиків для постійного контролю параметрів води.

Аерація і оксигенація води – тобто застосування технологій для підвищення рівня кисню, особливо в теплі періоди, використання аераторів для уникнення гіпоксії.

2. Зміна видового складу

Розведення стійких видів – тобто вибір видів риб, які добре адаптуються до змін температури та інших кліматичних факторів. Наприклад, перехід від форелі до тілапії в тепліших регіонах.

Використання генетичної селекції - розробка штамів риб, стійких до стресових умов і хвороб.

3. Модернізація виробничих систем

Рециркуляційні аквакультурні системи (RAS) - використання замкнених систем, які дозволяють контролювати умови середовища незалежно від зовнішніх факторів, серед переваг відзначається захист від екстремальних температур, контроль над якістю води.

Інтегровані багатотрофічні аквакультури (IMTA) - тобто комбінація вирощування риб, молюсків і водоростей для зниження екологічного навантаження. Як приклад, вирощування лососів разом із мідіями та ламінарією.

4. Зменшення екологічного впливу

Ефективне управління кормами - використання високоякісних кормів, що забезпечують швидкий ріст риб і мінімальні залишки.

Утилізація відходів - використання органічних залишків у якості добрив або для виробництва енергії.

5. Профілактика захворювань

Створення карантинних зон, дезінфекція обладнання та запобігання контакту з дикою рибою. Використання вакцин і пробіотиків для підвищення імунітету риб.

6. Інституційна підтримка та дослідження

Вивчення впливу клімату на рибництво та розробка нових технологій. Організація тренінгів і семінарів з адаптивного управління аквакультурою.

7. Енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії

Використання альтернативних джерел енергії для роботи систем аерації та фільтрації. Оптимізація роботи обладнання для зниження споживання енергії.

Таблиця 3.10 - Основні адаптивні стратегії для рибництва в умовах зміни клімату

Адаптивна стратегія	Опис	Приклади реалізації	Переваги	Недоліки
Регулювання температури води	Контроль температури в ставках або рециркуляційних системах	Використання охолоджувачів, обігрівачів	Забезпечення стабільного середовища для росту	Висока вартість обладнання і енерговитратність
Переміщення аквакультурних ферм	Переміщення ферм у зони з оптимальними кліматичними умовами	Переміщення з мілководних прибережних зон на глибші ділянки	Мінімізація впливу екстремальних погодних умов	Логістичні труднощі, висока вартість транспортування
Зміна видового складу	Перехід на види, стійкі до підвищених температур і менш чутливі до стресу	Вирощування тиляпії, сомів, які витримують теплі води	Підвищення стійкості до зміни клімату	Може вимагати зміни технології і управління
Вдосконаленн	Використання	Застосування	Підвищення	Збільшення

Адаптивна стратегія	Опис	Приклади реалізації	Переваги	Недоліки
я систем годування	адаптивних кормів і стратегій годування	кормів з підвищеним вмістом антиоксидантів	стійкості риби до стресів	витрат на корми
Інтегрована аквакультура	Сумісне вирощування кількох видів, що доповнюють одне одного	Вирощування риби разом із водоростями або молюсками	Зниження забруднення води, зменшення відходів	Потребує оптимального планування і управління

Таблиця 3.11 - Технологічні рішення для адаптації рибництва до зміни клімату

Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
Рециркуляційні аквакультурні системи (RAS)	Замкнені системи з очищенням і повторним використанням води	Мінімізація залежності від зовнішніх факторів	Висока початкова вартість та енергоспоживання
Сенсори для моніторингу води	Пристрої для контролю температури, кисню, pH тощо	Забезпечення постійного контролю параметрів	Потребують обслуговування і регулярної калібровки
Біофільтри	Устаткування для біологічного очищення води	Підтримання чистоти води	Потребують регулярного обслуговування
Системи аерації	Системи для забезпечення оптимального рівня кисню	Поліпшення росту і зниження смертності риб	Збільшення енергозатрат
Інноваційні корми	Корма, адаптовані до стресових умов	Підвищення імунітету і витривалості	Висока вартість, потреба у випробуваннях

Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
		риб	

Адаптивні стратегії є ключовим елементом для забезпечення стійкого розвитку аквакультури в умовах кліматичних змін. Їх впровадження вимагає інтеграції сучасних технологій, наукових знань і міжнародної співпраці. Системний підхід до вирішення проблем кліматичного впливу дозволить забезпечити як економічну стабільність, так і збереження екологічного балансу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра на тему «Вплив кліматичних змін на рибний промисел та рибництво» висвітлено актуальність і складність проблеми, з якою стикаються водні екосистеми, риболовецькі галузі та аквакультурні системи в умовах змін клімату.

Основні результати дослідження наступні:

1. Установлено, що глобальне потепління спричиняє значне підвищення температури води у морських і прісноводних екосистемах. Це впливає на фізіологічні процеси риб (зокрема, ріст, розмноження, метаболізм), а також змінює географічні ареали їх проживання. У північних широтах спостерігається зростання чисельності теплолюбних видів, тоді як холодноводні види змушені мігрувати або зникають. Підвищення концентрації CO_2 у воді сприяє зниженню pH, що негативно позначається на розвитку молоді риб, коралів і організмів, які є важливими компонентами харчових ланцюгів. Глобальні кліматичні зміни впливають на океанські течії, апвелінги, а також зменшують концентрацію розчиненого кисню, що обмежує життєдіяльність риб у деяких регіонах.

2. Кліматичні зміни накладають значний вплив на рибний промисел

Аналіз свідчить, що багато промислових видів (наприклад, тріска, сардина, скумбрія) мігрують у північні широти або змінюють свої нерестові маршрути у відповідь на потепління вод. Це призводить до нерівномірного розподілу ресурсів між регіонами та зменшення доступності традиційних уловів. У деяких регіонах, таких як Середземне море, спостерігається зниження запасів через деградацію середовища.

Втрата традиційних зон вилову збільшує витрати рибалок на адаптацію, включаючи зміну маршрутів, модернізацію флотів і пошук нових рибних ресурсів.

Прибережні громади, які залежать від рибальства як основного джерела доходу, стикаються з загрозою економічної нестабільності. Особливо це стосується регіонів, де рибальство є головним сектором економіки.

3. Вплив кліматичних змін на рибництво (аквакультуру) також дуже значний. Для аквакультурних видів підвищення температури води створює тепловий стрес, що негативно впливає на ріст, репродуктивну здатність та імунітет риб. Це знижує продуктивність рибництва.

У тепліших умовах спостерігається активізація багатьох патогенів і паразитів, що викликає масову захворюваність у аквакультурі. Посухи, затоплення та коливання рівня солоності через кліматичні аномалії ускладнюють підтримання оптимальних умов для вирощування риб у аквакультурі. У деяких регіонах, зокрема у Південній та Південно-Східній Азії, кліматичні зміни підвищують ризики для виробництва, яке є важливим джерелом продовольства.

4. Щодо екологічних наслідків, то слід відмітити, що через зміну клімату зникають чутливі види риб, що викликає порушення екологічного балансу та харчових ланцюгів. Руйнування коралових рифів, зміна гідрологічних режимів у річках та закислення води знижують якість місць нересту і відтворення рибних популяцій. Потепління сприяє поширенню інвазивних видів, які витісняють локальні популяції та створюють конкуренцію за ресурси.

5. Серед рекомендацйї щодо адаптації, слід відмітити стратегічне управління ресурсами (розробка глобальних і регіональних стратегій управління рибними запасами з урахуванням кліматичних змін та встановлення гнучких квот і зонального регулювання вилову), модернізація рибництва (впровадження технологій, які покращують стійкість аквакультурних систем до змін клімату, таких як системи рециркуляції води та автоматизація управління параметрами середовища), захист біорізноманіття (розширення мережі охоронних зон, збереження нерестових місць і попередження інвазій), міжнародне співробітництво (створення

міжнародних угод для координації промислу та розподілу ресурсів між країнами), тощо.

Так, кліматичні зміни становлять серйозний виклик для сталого розвитку рибальства і рибництва, але водночас відкривають нові можливості для адаптації. Реалізація запропонованих заходів дозволить зменшити негативні наслідки кліматичних змін, забезпечити раціональне використання водних ресурсів і зберегти біорізноманіття для майбутніх поколінь.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Грета, С. (2018). "Кліматичні зміни та їх вплив на водні ресурси". — К.: Наукова думка.
2. Гудженко, В. М., та ін. (2016). "Екологічні наслідки зміни клімату для водних екосистем України". — Київ: Академперіодика.
3. Шмідт, В. В. (2017). "Водні екосистеми в умовах кліматичних змін: теоретичний аспект". — Журнал екології, 45(3), 34-46.
4. Сідоров, С. П. (2020). "Теоретичні основи впливу кліматичних змін на екологічні процеси у водних екосистемах". — Екологія та природокористування, 29(2), 78-85.
5. Smith, J. R., & Stewart, R. J. (2019). "Climate change and freshwater ecosystems: A global synthesis". *Environmental Research Letters*, 14(9), 091002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3316
6. Kundzewicz, Z. W., & Matczak, P. (2020). "Impacts of climate change on freshwater ecosystems: Modeling and future trends". *Water Resources*, 46(3), 296-307.
7. Бабенко, І. В. (2021). "Моделювання впливу кліматичних змін на гідрологічні режими водних екосистем". — Вода і екологія, 5(1), 102-115.
8. Василенко, А. І., та ін. (2022). "Кліматичні зміни та їх вплив на біорізноманіття водних екосистем". — Природні ресурси, 33(1), 112-124.
9. O'Neill, B. C., et al. (2017). "The future of freshwater ecosystems in a changing climate". *Global Environmental Change*, 45, 12-25. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002
10. Нікітенко, О. В. (2019). "Вплив кліматичних змін на біологічні процеси у водних екосистемах". — Наукові записки з екології, 48(3), 55-65.

11. Грета, С. (2018). *Кліматичні зміни та їх вплив на водні ресурси*. Київ: Наукова думка.
12. Ліпінська, Н. В. (2017). *Екологія водних екосистем в умовах змін клімату*. Львів: Видавництво Наукової думки.
13. Шмідт, В. В. (2016). *Теоретичні основи екології водних екосистем*. Київ: Академперіодика.
14. Савченко, В. М. (2020). *Водні екосистеми та зміни клімату: вплив на біорізноманіття*. Харків: Видавництво СумДУ.
15. Сидоренко, О. І., & Яцков, М. М. (2020). "Вплив кліматичних змін на водні екосистеми: теоретичні засади". *Екологія та природокористування*, 28(1), 34-44.
16. Шпільов, М. Ю., & Петренко, Л. В. (2018). "Кліматичні зміни та їх вплив на гідрологічні режими водних екосистем". *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*, 8(2), 56-66.
17. Василенко, О. П., & Мельник, К. В. (2017). "Зміни клімату та їх наслідки для біотичних компонентів водних екосистем". *Журнал екології та охорони природи*, 23(3), 45-52.
18. Павленко, І. В., & Левченко, В. М. (2019). "Теоретичні аспекти впливу змін клімату на гідробіологічні процеси". *Водні ресурси*, 45(5), 93-103.
19. Poff, N. L., & Matthews, J. H. (2019). "Climate change and freshwater ecosystems: Impacts and adaptation". *Environmental Management*, 63(2), 302-316. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1100-7.
20. Wang, J., & Zhang, L. (2020). "The impact of climate change on aquatic ecosystems: Review and implications". *Global Environmental Change*, 62, 102-115. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102123.
21. Кліматичні зміни та екосистеми водних ресурсів: наукові дослідження та практичні рекомендації (2019). — Збірник матеріалів міжнародної конференції. Київ: Університет екології та природокористування.

22. Моделювання впливу кліматичних змін на водні екосистеми (2018). — Збірник наукових праць, Том 3. Харків: Харківський національний університет.
23. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. Rome: FAO. Доступно на: www.fao.org
24. Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., & Allison, E. H. (2014). *Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries*. Nature Climate Change, 4(3), 211–216.
25. Cheung, W. W. L., Reygondeau, G., & Frölicher, T. L. (2016). *Large benefits to marine fisheries of meeting the 1.5°C global warming target*. Science, 354(6319), 1591–1594.
26. Hollowed, A. B., Barange, M., & Loeng, H. (2013). *Projected impacts of climate change on marine fisheries and aquaculture*. Journal of Marine Systems, 133, 103–116.
27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Geneva: IPCC.
28. Perry, R. I., & Ommer, R. E. (2010). *Climate change and coastal fisheries: A synthesis of impacts and adaptations*. Progress in Oceanography, 87(1–4), 331–337.
29. Sumaila, U. R., & Tai, T. C. (2020). *End overfishing and increase resilience of the ocean to climate change*. Frontiers in Marine Science, 7, 523.
30. Bindoff, N. L., Cheung, W. W. L., Kairo, J. G., et al. (2019). *Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
31. Staudt, A., Leidner, A. K., Howard, J., Brauman, K. A., Dukes, J. S., Hansen, L. J., & Janetos, A. (2013). *The added complications of climate*

change: understanding and managing biodiversity and ecosystems. Frontiers in Ecology and the Environment, 11(9), 494–501.

32. Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., et al. (2009). *Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries*. Fish and Fisheries, 10(2), 173–196.
33. Lam, V. W. Y., Cheung, W. W. L., Swartz, W., & Sumaila, U. R. (2012). *Climate change impacts on fisheries in West Africa: Implications for economic, food, and nutritional security*. African Journal of Marine Science, 34(1), 103–117.
34. Pörtner, H. O., & Peck, M. A. (2010). *Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding*. Journal of Fish Biology, 77(8), 1745–1779.
35. Grafton, R. Q., & Kompas, T. (2018). *Tackling fisheries sustainability challenges in a changing climate*. Nature Sustainability, 1(8), 383–384.
36. Marine Stewardship Council (MSC). (2021). *Adapting fisheries to climate change*.
    Доступно на: www.msc.org
37. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2022). *Fisheries, aquaculture, and climate change: Challenges and opportunities*. Paris: OECD Publishing.
38. Василенко, О. І. (2018). *Аквакультура: основи теорії та практики*. Київ: Академперіодика.
39. Грета, С. М. (2017). *Водні екосистеми та аквакультура в умовах змін клімату*. Харків: Видавництво "Наукова думка".
40. Гребенюк, О. М., Шевченко, М. В. (2020). *Технології аквакультури та екологічні аспекти вирощування риб*. Одеса: Одеський національний університет.
41. Дьяків, І. В. (2019). *Сучасні підходи до вирощування риб в умовах змін клімату*. Черкаси: Черкаський національний університет.

42. Тимошенко, І. В., & Мельник, І. А. (2021). "Вплив зміни кліматичних умов на аквакультуру: екологічні та економічні наслідки". *Аграрна наука та екологія*, 32(3), 45-55.
43. Шевченко, В. А., & Коваленко, О. І. (2019). "Зміни температурних умов і їх вплив на аквакультуру". *Журнал аквакультури та рибництва*, 16(1), 78-85.
44. Сидоренко, Л. В., & Іванченко, Т. В. (2020). "Використання нових технологій для вирощування риб в умовах зміни екологічних параметрів". *Журнал екології та природокористування*, 24(2), 102-110.
45. Корольчук, В. С., & Чернявська, І. П. (2022). "Адаптація аквакультури до змін клімату: перспективи та проблеми". *Техніка та технології в аквакультурі*, 6(2), 112-120.
46. Hughes, T. P., & Jackson, J. B. (2018). "Climate change and the future of aquaculture". *Aquaculture and Fisheries*, 8(1), 40-50. https://doi.org/10.1016/j.aquafish.2017.12.001
47. Graham, N. A., & Bellwood, D. R. (2019). "Global change and aquaculture: Impact and adaptation strategies". *Marine Ecology Progress Series*, 619, 131-142. https://doi.org/10.3354/meps13056
48. Barange, M., et al. (2020). "Impacts of climate change on marine ecosystems and aquaculture". *Environmental Science & Policy*, 116, 35-46. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.004
49. Актуальні проблеми аквакультури та рибництва в умовах змін клімату (2021). — Збірник матеріалів міжнародної конференції. Київ: Університет водних ресурсів.
50. Адаптація аквакультури до змін кліматичних умов: сучасні технології та наукові підходи (2020). — Збірник наукових праць. Львів: Львівський національний університет.