



# Модуль 1. Вплив глобального потепління на якість води та вплив на аквакультуру

Доц. д-р Анжеліка Даутарте  
Університет Вітаутаса Магнуса



# ВСТУП

- Підвищення температури прискорює метаболізм у водних видів, збільшуючи потребу в кисні та спричиняючи проблеми з ростом і розмноженням.
- На прибережні та естуарійні екосистеми впливають коливання солоності, спричинені таненням полярних льодів і зміною кількості опадів (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).
- Зміни солоності порушують розподіл видів, зменшують біорізноманіття та ускладнюють ведення аквакультури.
- Стік поживних речовин (від сільського господарства, промисловості, міст) сприяє евтрофікації → призводить до шкідливого цвітіння водоростей (HABs), втрати кисню та колапсу екосистем.
- Евтрофікація посилюється через людську діяльність та зміну клімату, спричиняючи серйозні екологічні та економічні наслідки (Zhang et al., 2024; Mensah et al., 2025). Rising temperatures accelerate metabolism in aquatic species, increasing **oxygen demand** and causing **growth and reproduction issues**.
- **Coastal and estuarine ecosystems** are affected by **salinity fluctuations**, driven by **melting polar ice** and **changing rainfall** (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).
- Salinity changes disrupt **species distribution**, reduce **biodiversity**, and complicate **aquaculture operations**.
- **Nutrient runoff** (from agriculture, industry, cities) fuels **eutrophication** → leads to **harmful algal blooms (HABs)**, **oxygen loss**, and ecosystem collapse.
- Eutrophication is increasing due to **human activity** and **climate change**, causing major **ecological and economic impacts** (Zhang et al., 2024; Mensah et al., 2025).



# Вступ

- Посуха та непередбачувані опади зменшують доступність води та порушують гідрологічні цикли (DeNicola et al., 2015).
- Забруднення та погане управління водними ресурсами погіршують якість води, загрожуючи екосистемам і людям.
- Тепліша вода спричиняє стрес для водних видів і збільшує ризики, пов'язані з патогенами та паразитами → знижує врожайність і прибутковість аквакультури (Moussa et al., 2025).
- Глобальне потепління змінює географію аквакультури: потепління моря, зміни океанічних течій і зміни кількості опадів впливають на придатність ділянок.
- Ферми змушені переміщатися, стикаючись з новими загрозами, такими як інвазивні види та порушення природних екосистем.
- Ці зміни мають серйозні соціально-економічні та екологічні наслідки, що вимагають невідкладних дій.



# ВПЛИВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ НА ЯКІСТЬ ВОДИ



## 1.1. Термічна стратифікація та виснаження кисню у водних екосистемах

- Термічна стратифікація створює шари через різницю температур.
- Глобальне потепління посилює поділ між поверхневими та глибинними водами.
- Обмежене вертикальне перемішування призводить до виснаження кисню в глибинних шарах.
- Приклади регіонів:
  - Східна тропічна частина Тихого океану, Аравійське море.

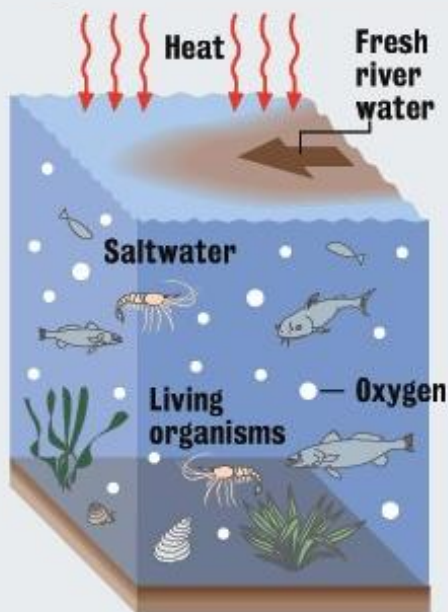


# Регіональні та глобальні тенденції

- Глобальне зниження рівня кисню в океані: 2% з 1960 року.
- Прибережні гіпоксичні зони:
  - Мексиканська затока,
  - Чесапікська затока.
- Супутникові дані:
  - Висхідні регіони демонструють високу мінливість кисню.

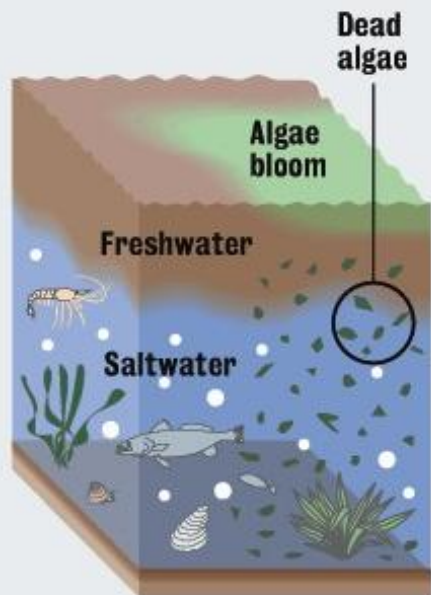


# Як утворюються мертві зони



**1** During the spring, sun-heated freshwater runoff from the Mississippi River creates a barrier layer in the Gulf, cutting off the saltier water below from contact with oxygen in the air.

Source: Staff research



**2** Nitrogen and phosphorus from fertilizer and sewage in the freshwater layer ignite huge algae blooms. When the algae die, they sink into the saltier water below and decompose, using up oxygen in the deeper water.



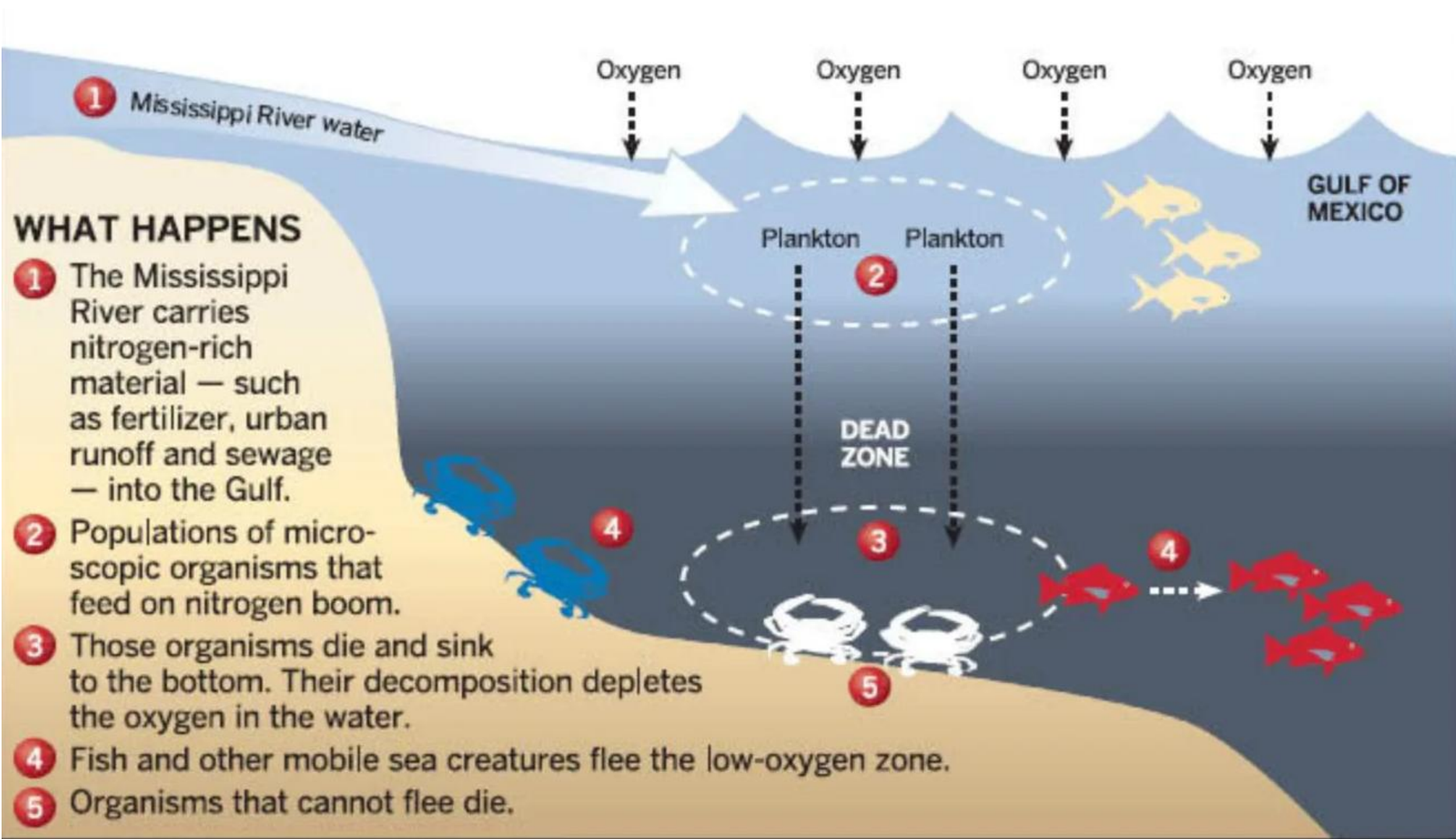
**3** Starved of oxygen and cut off from resupply, the deeper water becomes a dead zone. Fish avoid the area or die in massive numbers. Tiny organisms that form the vital base of the Gulf food chain also die. Winter brings respite, but spring runoffs start the cycle anew.

STAFF GRAPHIC BY DAN SWENSON





# Як створюється «мертва зона» в Мексиканській затоці



Source: U.S. Environmental Protection Agency

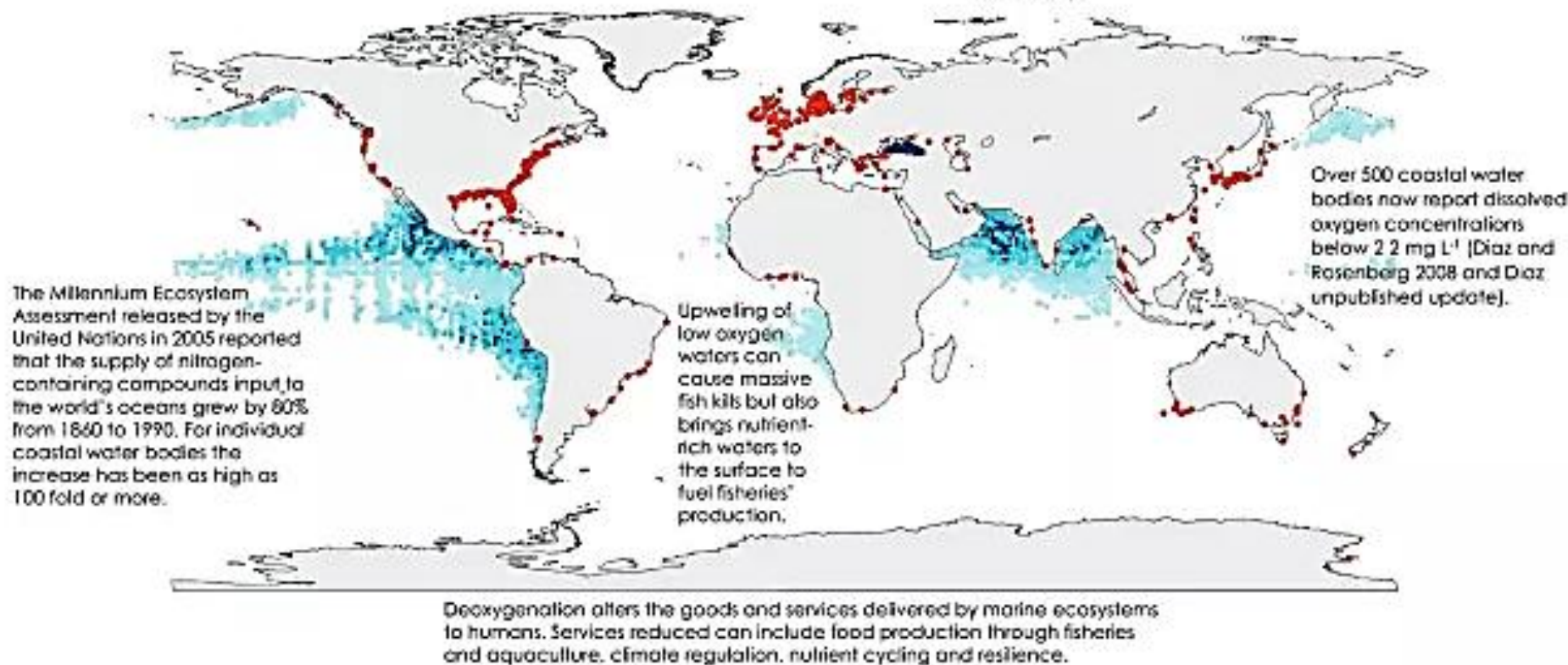
Advocate graphic



# Деоксигенація океану

During the past 50 years, the area of low oxygen water in the open ocean has increased by 4.5 million km<sup>2</sup>.<sup>1</sup> The world's oceans are now losing approximately 1 gigaton of oxygen each year (Keeling and Garcia 2002).

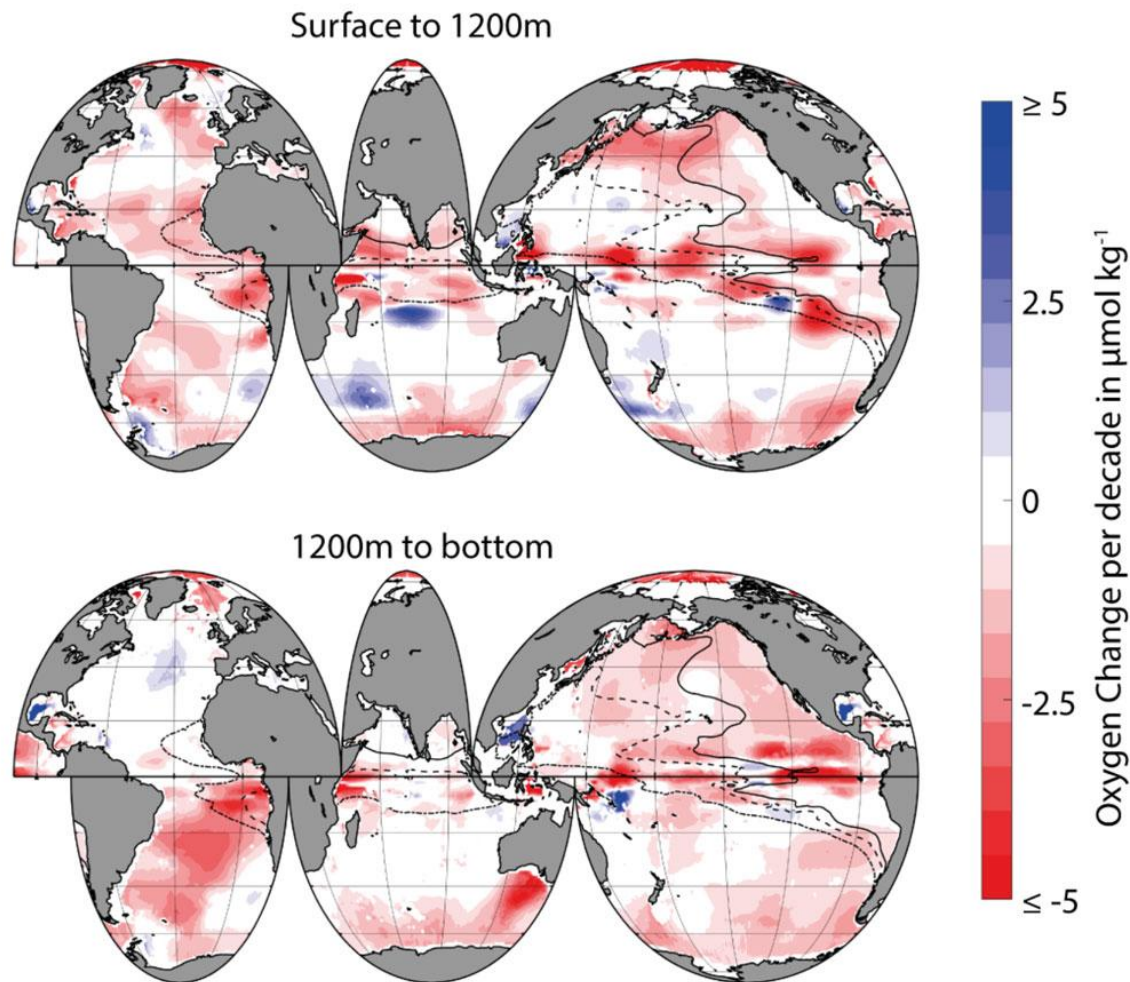
The Baltic Sea has the largest coastal water hypoxic zone. In 2011 the area of water with dissolved oxygen concentrations <2 mg L<sup>-1</sup> was nearly 80,000 km<sup>2</sup>. (Castensen et al. 2014).



<sup>1</sup>The estimate is for 200 m – a slightly shallower depth than shown on this map.



# Глобальне потепління та рівень кисню





## Вплив на морське життя

Втрата середовища існування для сидячих організмів та донної фауни.

Стиснення середовища існування риби та рухливих безхребетних.

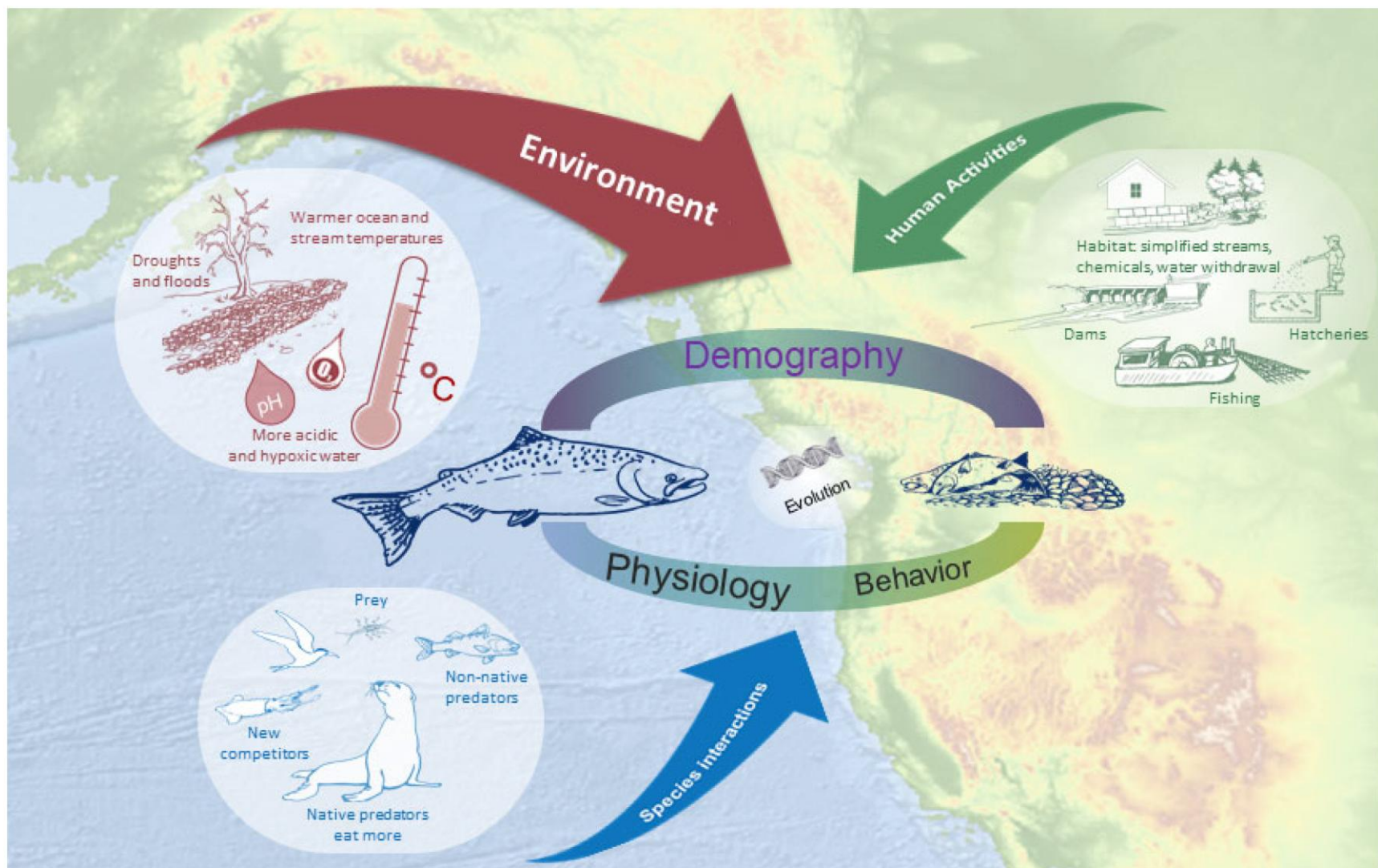
Підвищення конкуренції та ризиків хижацтва..

Зменшення чисельності популяцій комерційно важливих видів





# Вплив зміни клімату на лосося формують численні біологічні процеси (Crozier, Siegel, 2023).





# Стратегії пом'якшення

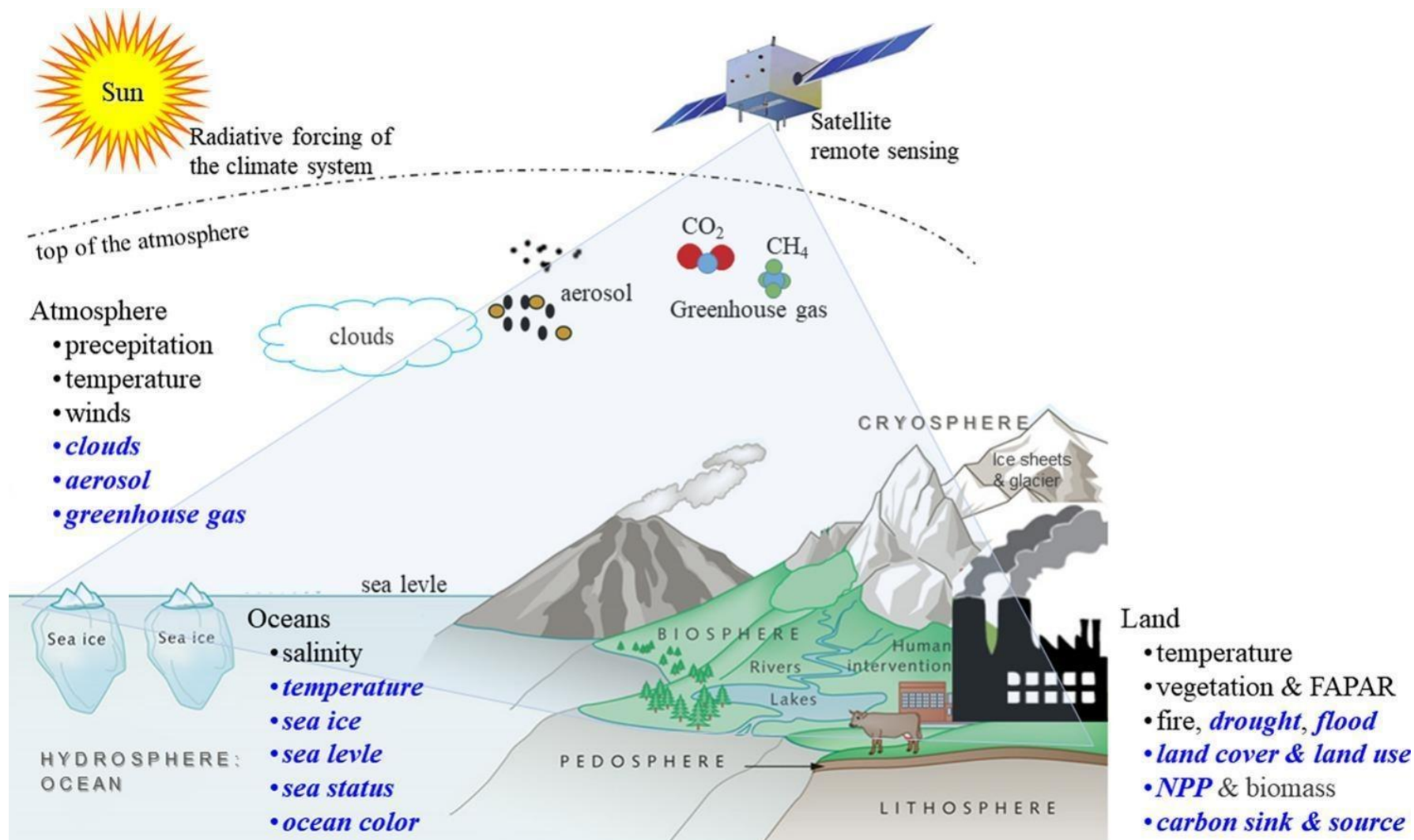
1. Посилений  
моніторинг:  
Дистанційне зондування  
для раннього виявлення.

2. Управління  
поживними речовинами:  
Зменшення  
сільськогосподарських  
стоків.

3. Системи оксигенації:  
Аерація та впорскування  
кисню в аквакультури.

4. Пом'якшення  
наслідків зміни клімату:  
Зменшення викидів  
вуглецю для боротьби з  
потеплінням.

# Огляд кліматичної системи з типовими змінними дослідження (Zhao et al., 2023)





## 1.2. Підвищення температури, метаболізм та зміни росту

### Вплив високих температур:

- Підвищує швидкість метаболізму у водних організмів..
- Сприяє збільшенню споживання кисню для задоволення енергетичних потреб.
- Температурозалежна гіпоксія:
- Доступність кисню зменшується з підвищенням температури.
- Обмежує аеробну здатність, ріст і розмноження (Seibel, 2024).

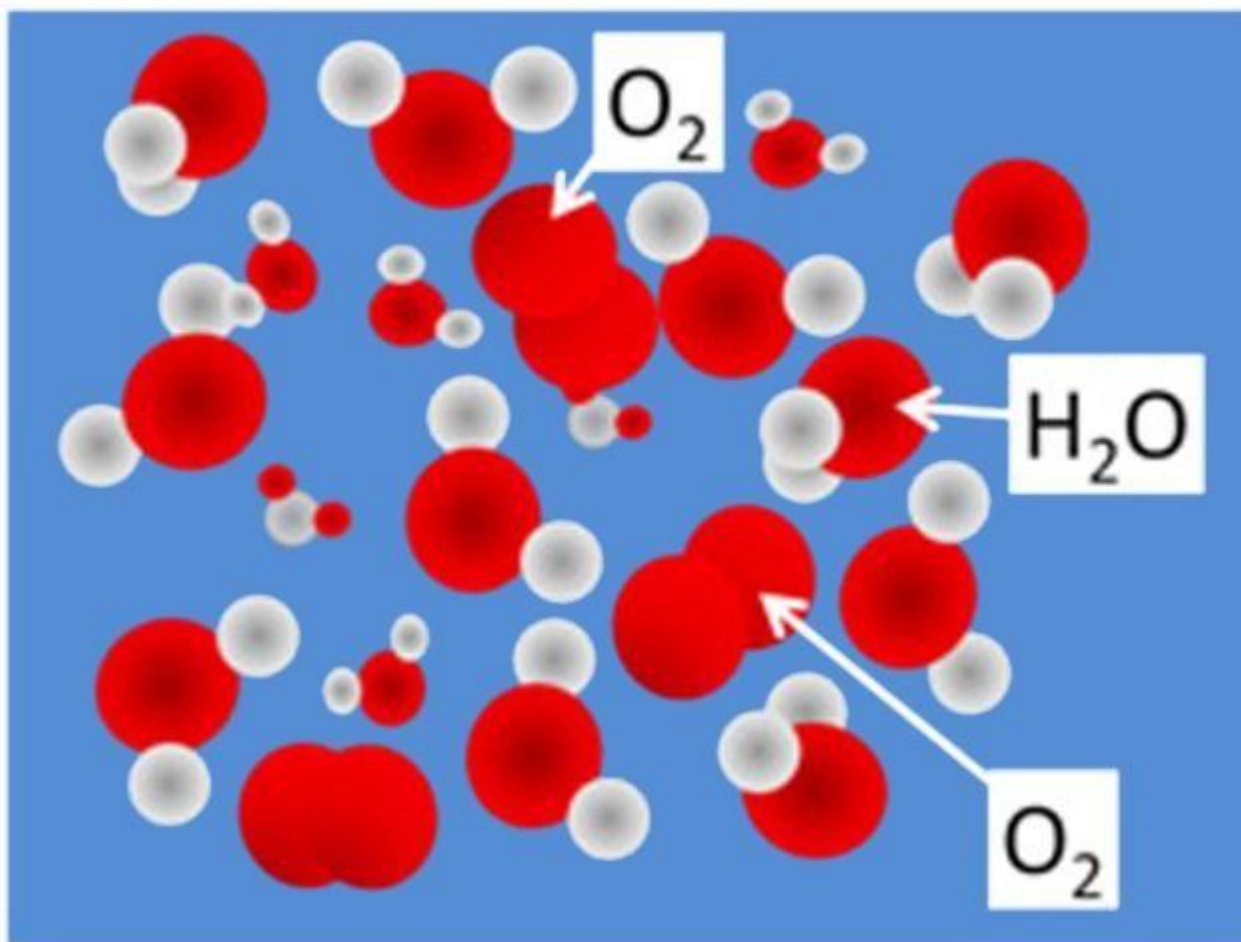
### Результати метаболічного індексу:

- Недостатнє надходження кисню при високих температурах обмежує фізіологічні процеси (Deutsch et al., 2020).

### Рибні вразливості:

- Підвищена швидкість метаболізму вимагає більше кисню, що є складним завданням у теплих середовищах з низьким вмістом кисню.
- Впливає на ріст і виживання, особливо в мілководних або стратифікованих водах (Okon et al., 2024).





**Молекулярний вигляд розчиненого кисню, що займає проміжки між молекулами води (Wilson, 2019)**



# Проблеми зростання та репродуктивного здоров'я

- Вплив теплих вод:
  - Призводить до більш раннього дозрівання, але коротшої тривалості життя риби.
  - Порушує динаміку популяції та екосистемний баланс (Liu et al., 2024).
- Вплив на репродуктивну функцію:
  - Погіршення якості гамет та зниження успішності нересту.
- Види північно-західної частини Тихого океану змінили репродуктивні стратегії через термічні зрушення (Liu et al., 2024).
- Ширші екосистемні наслідки:
  - Каскадний вплив на харчові ланцюги та кругообіг поживних речовин.
  - Підвищена сприйнятливість до патогенів та хвороб (Okon et al., 2024).

The diagram illustrates the integrated response of a fish to environmental stressors, showing how various physiological and metabolic functions are affected. At the center is a fish, with arrows pointing to five main categories of impairments:

- Physiological impairments:**
  - Fitness
  - Growth
  - Reproductive performances
- Metabolic impairments:**
  - Metabolism
  - Feed intake
  - Digestion
  - Assimilation
- Neuroendocrine impairments:**
  - HYPOTHALAMUS
  - INTEGRATION
  - NPY/AgRP
  - POMC/CART
- Osmoregulatory impairments:**
  - Diagram showing a fish with a red thermometer (indicating high temperature) and a blue thermometer (indicating low temperature), suggesting impaired ability to regulate body temperature.
- Immunity impairments:**
  - Diagram showing a fish with a red thermometer (indicating high temperature) and a blue thermometer (indicating low temperature), suggesting impaired ability to regulate body temperature.
- Oxidative stress:**
  - Diagram showing a fish with a red thermometer (indicating high temperature) and a blue thermometer (indicating low temperature), suggesting impaired ability to regulate body temperature.



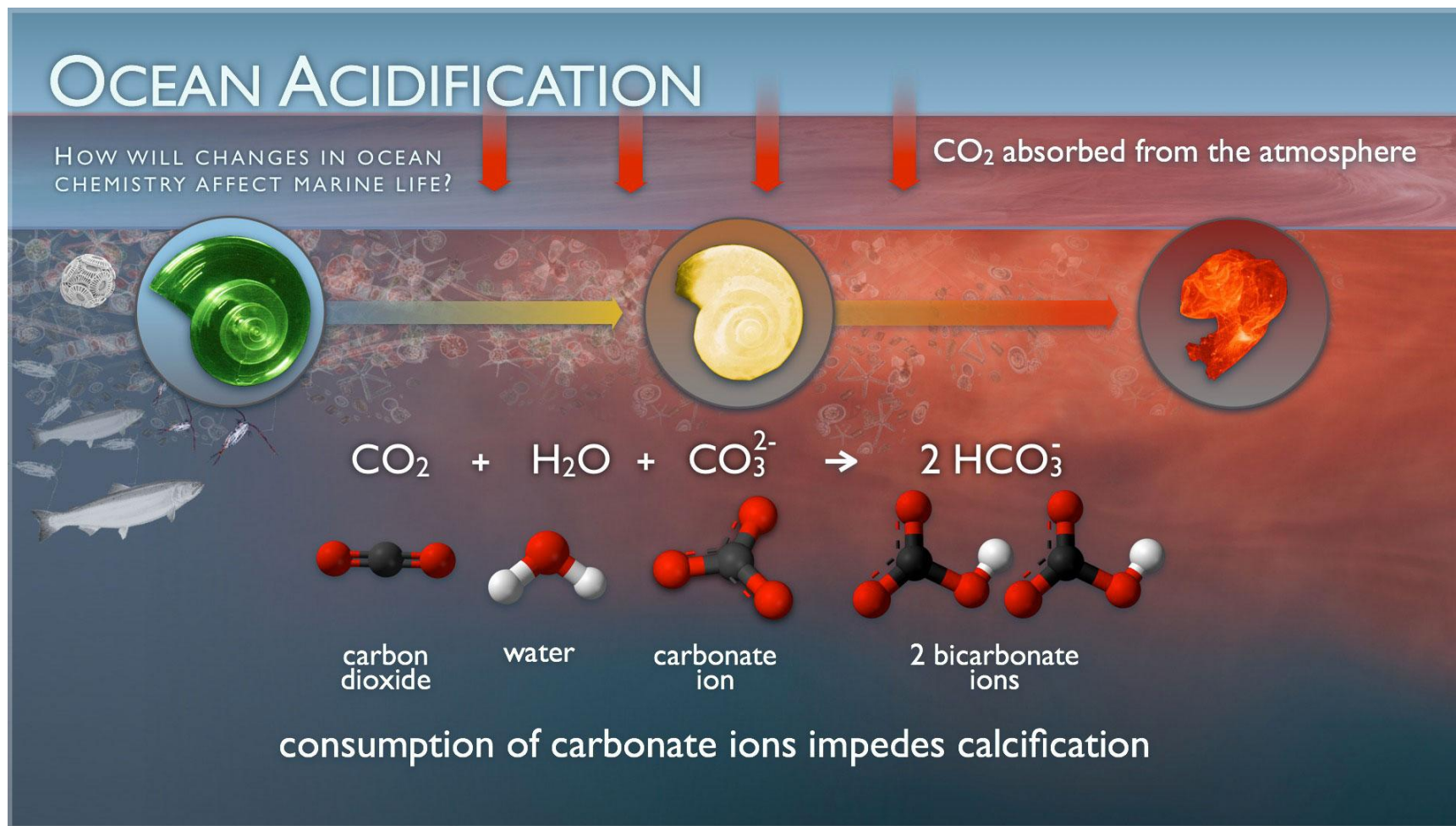
## 1.3. Закислення океану

- Рівень рН та підкислення океану:
  - Поглинання океаном CO<sub>2</sub> знижує рівень рН, збільшуючи концентрацію іонів водню.
  - З доіндустріальної епохи рН поверхневого шару океану знизився на ~0,1 одиниці (Duarte et al., 2022).
  - Зниження доступності карбонатних іонів впливає на організми, що кальцифікують (наприклад, молюски, корали).
- Вплив на морське життя:
  - Кальцифікуючі організми:
  - Зменшення утворення мушлі, збільшення смертності (Андрєєва та ін., 2024).
- Види, що не кальцифікуються:
  - Змінені сенсорні функції та поведінка (Grabba et al., 2024).





# Підкислення океану (NOAA, 2025)



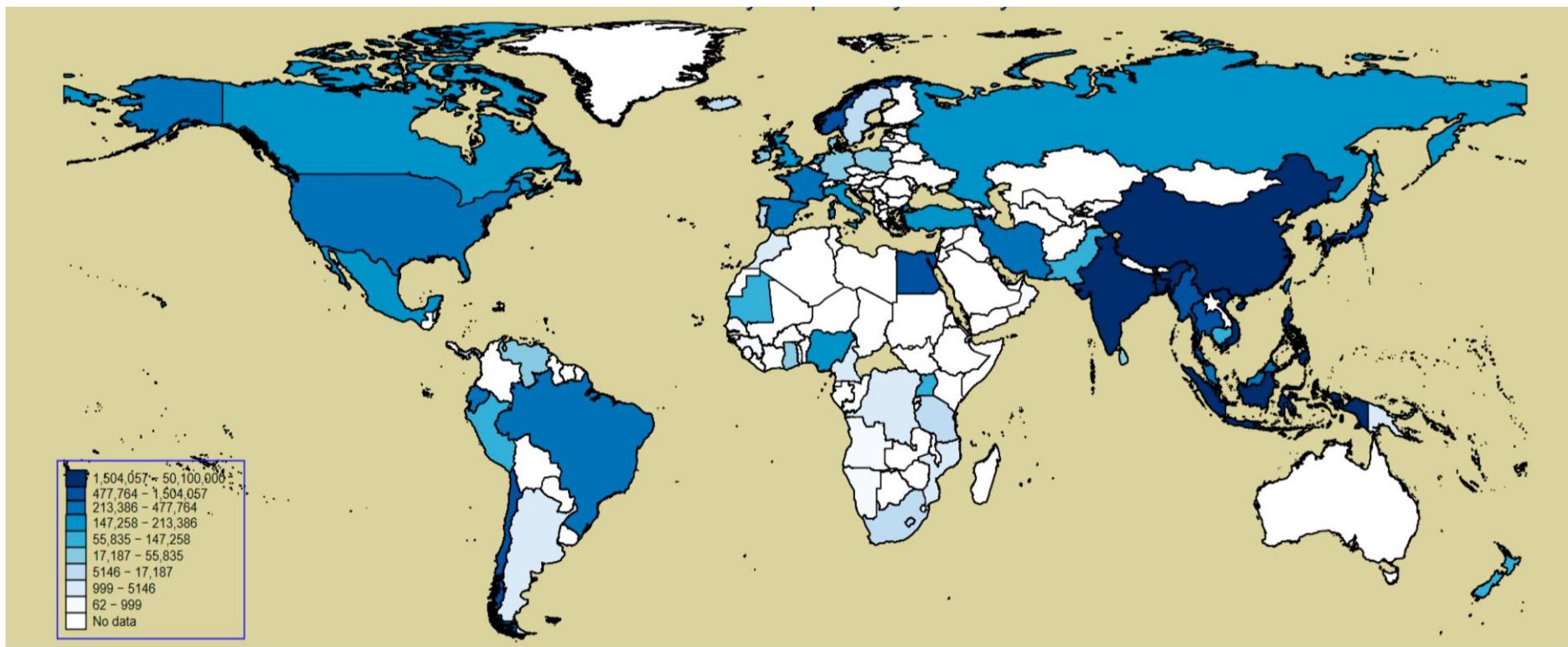


## Економічні та екологічні наслідки

- Економічні наслідки:
  - Виклики для вилову молюсків та аквакультури.
  - Втрати рибного господарства Великобританії прогнозуються на рівні 14%-28% за сценаріїв високих викидів (Mangi et al., 2018).
- Екологічні порушення:
  - Зменшення популяцій кальцифікуючих організмів впливає на динаміку відносин «хижак - жертва».
  - Мультитрофічна аквакультура як стратегія пом'якшення наслідків (Hamilton et al., 2022).



# Географічне розташування світових результатів рибальства з 2001 по 2020 рік (Pham et al., 2023)

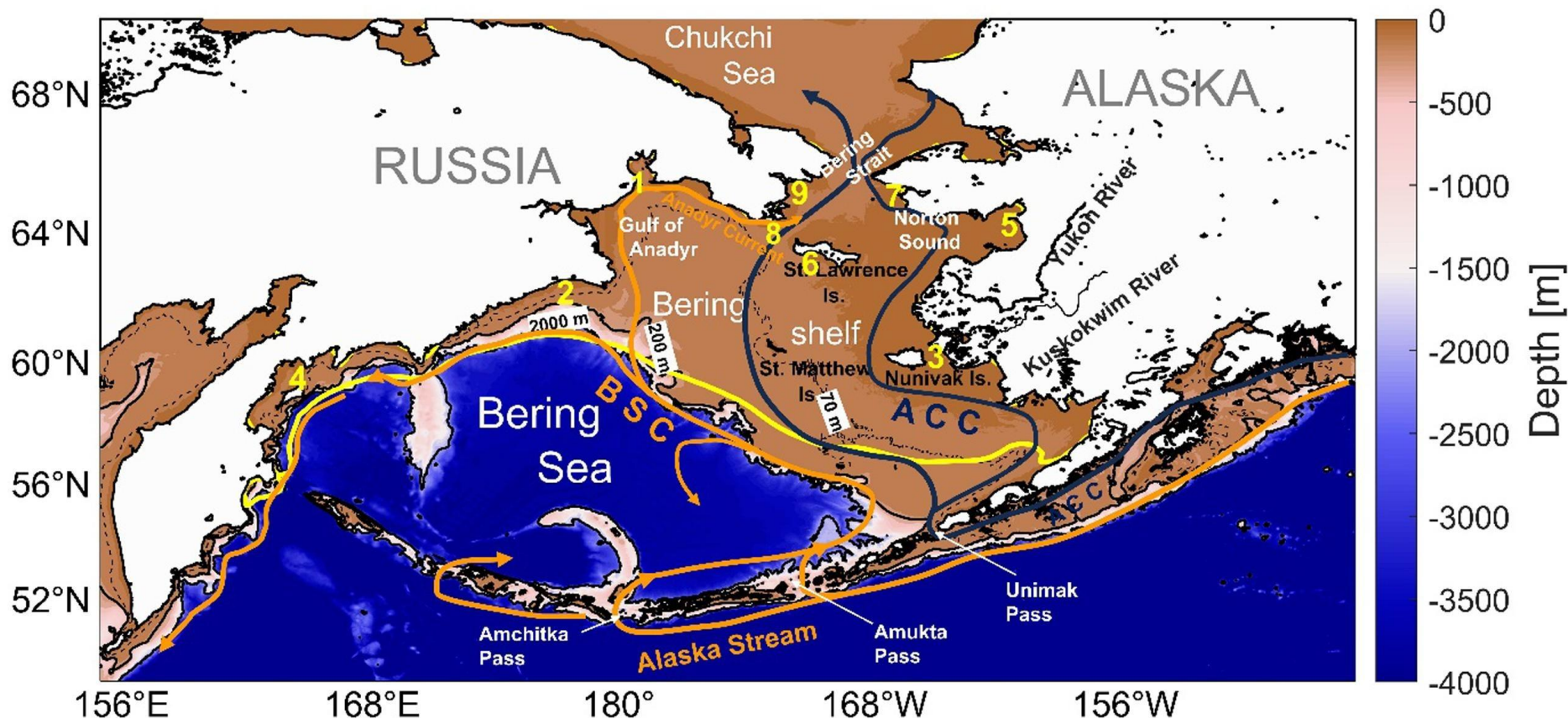






## 1.4. Зміни соленості

- Механізми, що зумовляють зміни солоності:
  - Притоки прісної води від танення льодовиків, опадів та річкового стоку.
    - Північна частина Аляски знаходиться під впливом льодовикових вод (Reister et al., 2024).
- Берингове море:
  - Зменшення морського льоду збільшує обсяги талої води, послаблює стратифікацію та зміщує цикли поживних речовин (Mensah et al., 2025).
- Вплив на морські та естуарні організми:
  - Порушує осморегуляцію, ріст і розмноження.
- Чесапікська затока:
  - Зміни солоності зменшують видове різноманіття та змінюють склад угруповань (Zhang et al., 2024).

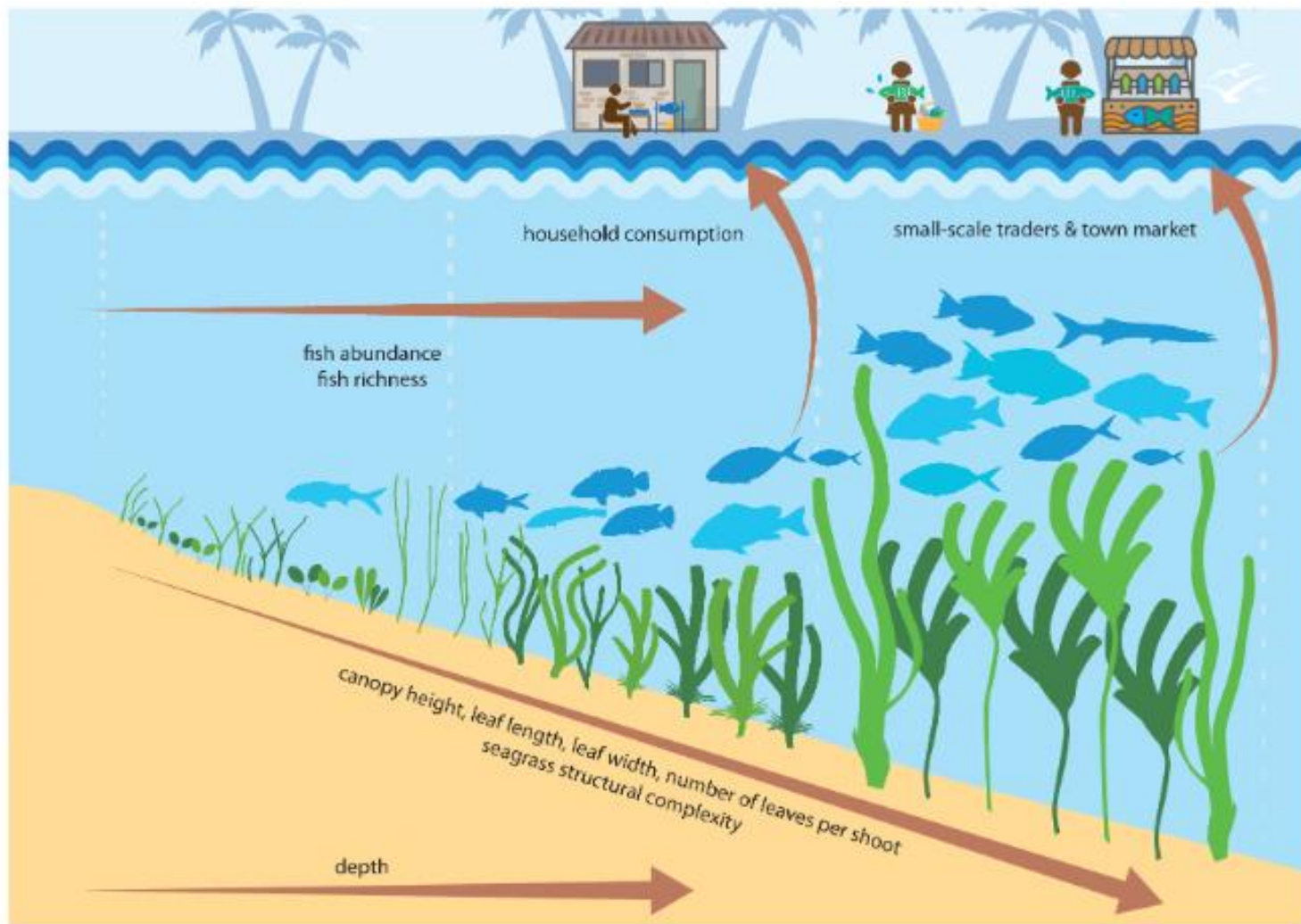


## Огляд Берингового моря: Батиметрія і сезонна динаміка льоду (Mensah et al., 2024)



# Стратегії пом'якшення наслідків зміни клімату та перспективи на майбутнє

- Пом'якшення впливу температури та засолення:
  - Відновлення прибережної рослинності для зменшення теплового навантаження.
  - Посилення потоку води у стратифікованих системах для покращення розподілу кисню.
- Стратегії підкислення океану:
  - Відновлення морської трави та мангрових заростей для поглинання CO<sub>2</sub>.
  - Впроваджувати методи буферизації рН в аквакультурі (Гамільтон та ін., 2022).
- Ширші кліматичні заходи:
  - Зменшити викиди парникових газів для усунення першопричин кліматичних змін.
  - Розвивати глобальні системи моніторингу та плани адаптації громад.



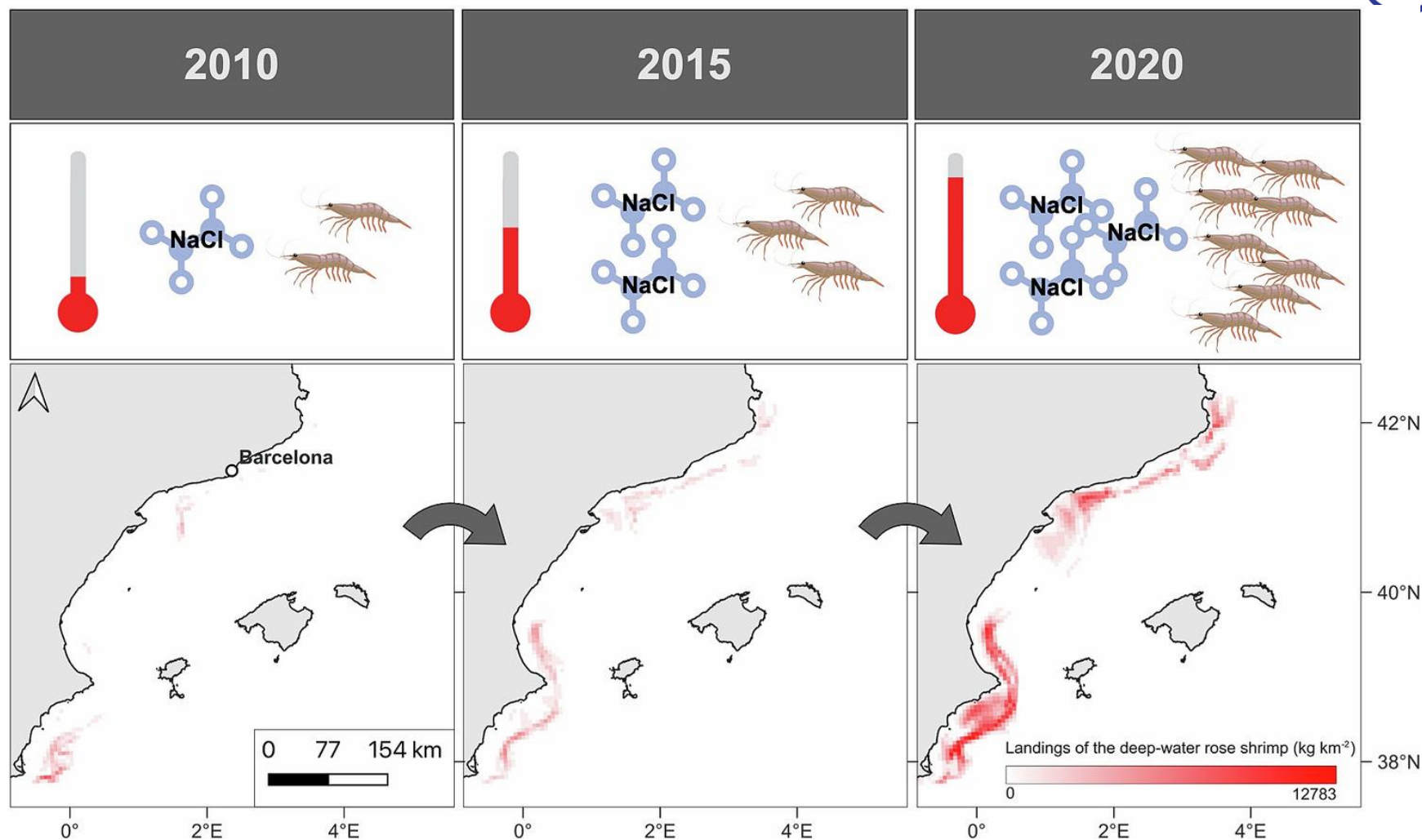
## Концептуальна модель: Структура морської трави та соціально-екологічні наслідки (Jones et al., 2021)





## 1.5. Зміни солоності океанічної води та їх вплив на розподіл морських видів

- Механізми спричинених засоленням зрушень у розподілі:
  - Притоки прісної води, танення льодовиків і зміна структури опадів.
  - Підвищена солоність в естуаріях Західної Австралії через зменшення притоку прісної води (Guimbeau et al., 2024).
  - Евригалінні види процвітають в умовах коливань солоності, тоді як стеногалінні види занепадають.
  - Скорочення популяції відбувається, коли солоність відхиляється від оптимального рівня (Rahman & Hung, 2024).
- Вплив на поширення видів та аквакультуру:
  - *Parapenaeus longirostris* зміщує ареал через потепління та засолення (Mingote et al., 2024).
  - Зниження рухливості сперматозоїдів у чутливих видів впливає на продуктивність аквакультури (Rahman & Hung, 2024).



**З 2010 по 2020 рік: Екологічні зміни та поширення глибоководних рожевих креветок (Mingote et al., 2023)**

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

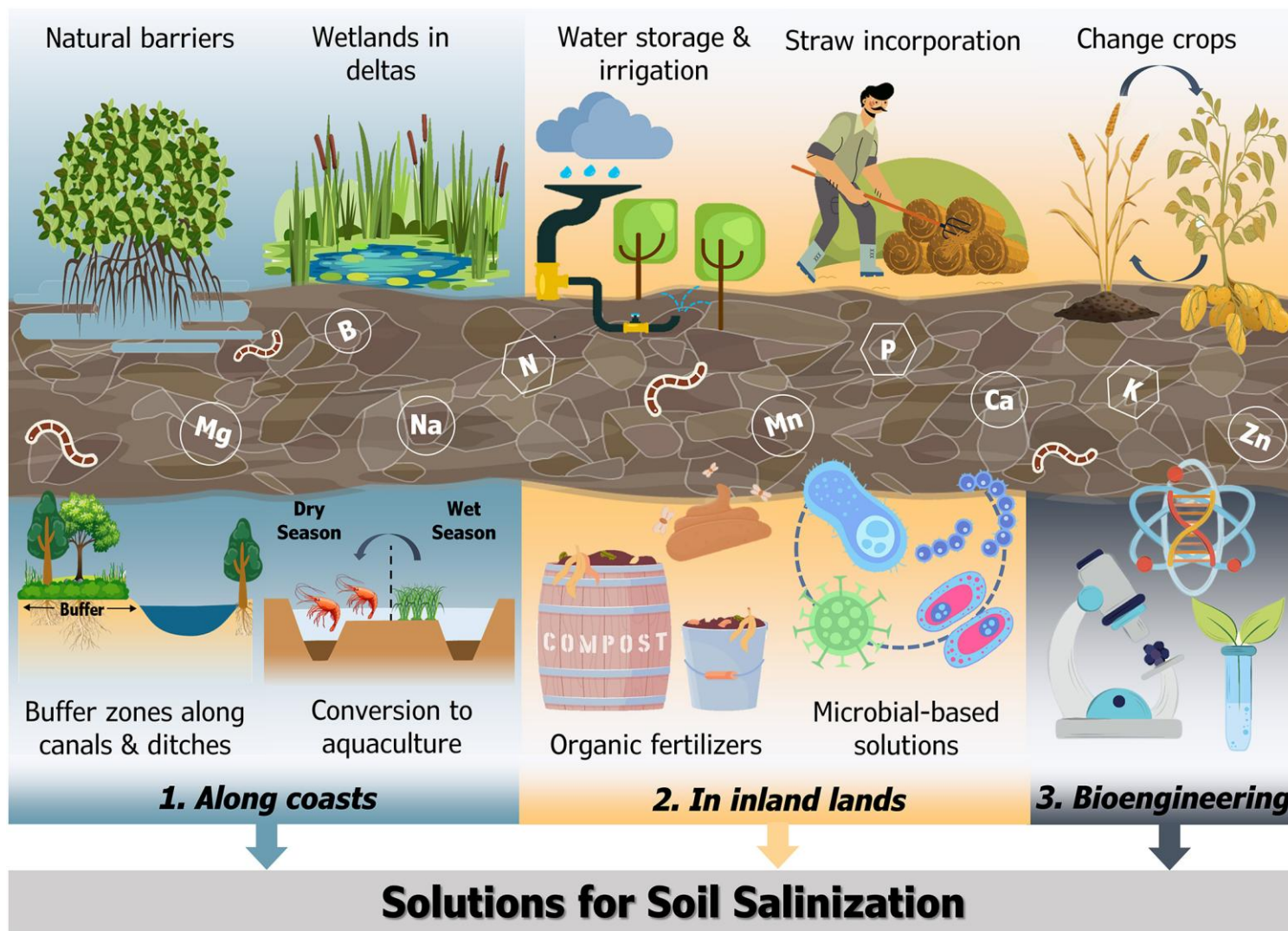
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



# Ширші екологічні та соціально-економічні наслідки

- Екосистемні послуги:
  - Зміни у складі угруповань впливають на кругообіг поживних речовин і стабільність харчових ланцюгів (Hoeksema та ін., 2023).
  - Зменшення біорізноманіття в гіперсолоних естуаріях впливає на функціонування екосистем.
- Економічні наслідки:
  - Рибальство стикається з невизначеністю, оскільки цільові популяції мігрують.
  - Доступність рожевої креветки в Середземному морі змінюється (Mingote та ін., 2024).
- Стратегії пом'якшення наслідків та майбутні напрямки:
  - Зменшити викиди парникових газів для стабілізації екологічних умов.
  - Відновлення прибережної рослинності для буферизації змін солоності (Guimbeau et al., 2024).
  - Використовувати системи рециркуляційної аквакультури (RAS) та селективне розведення солестійких видів.





Сталі рішення проблеми засолення ґрунтів у сільському господарстві (Тароллі та ін., 2024)



## 1.6. Навантаження поживними речовинами та евтрофікація

- Механізми надходження поживних речовин та евтрофікації:
- Джерела:
  - Стік з сільськогосподарських угідь, міські стічні води та промислові стоки.
  - Басейн річки Міссісіпі сприяє формуванню гіпоксичної зони Мексиканської затоки (Day et al., 2024).
- Зміна клімату посилює стік поживних речовин через збільшення кількості опадів та екстремальних погодних умов.
- Вплив евтрофікації:
  - Екологічні наслідки: Виснаження кисню призводить до міграції або загибелі водних видів.
- Чесапікська затока - зменшення популяції риби через гіпоксію (Zhang et al., 2024).
- Шкідливе цвітіння водоростей (HABs):
  - Виробляють токсини, що впливають на морське життя та людей.



# Стратегії пом'якшення наслідків навантаження поживними речовинами та евтрофікації

## Сталі сільськогосподарські практики: sustainable Farming Practices:

- Покривна культура,
- буферні зони,
- точне внесення добрив для зменшення стоку.

## Управління міськими стічними водами:

- Передові технології обробки для видалення поживних речовин перед скиданням.

## Природні рішення:

- Відновлення водно-болотних угідь та прибережних зон для фільтрації поживних речовин та покращення якості води.

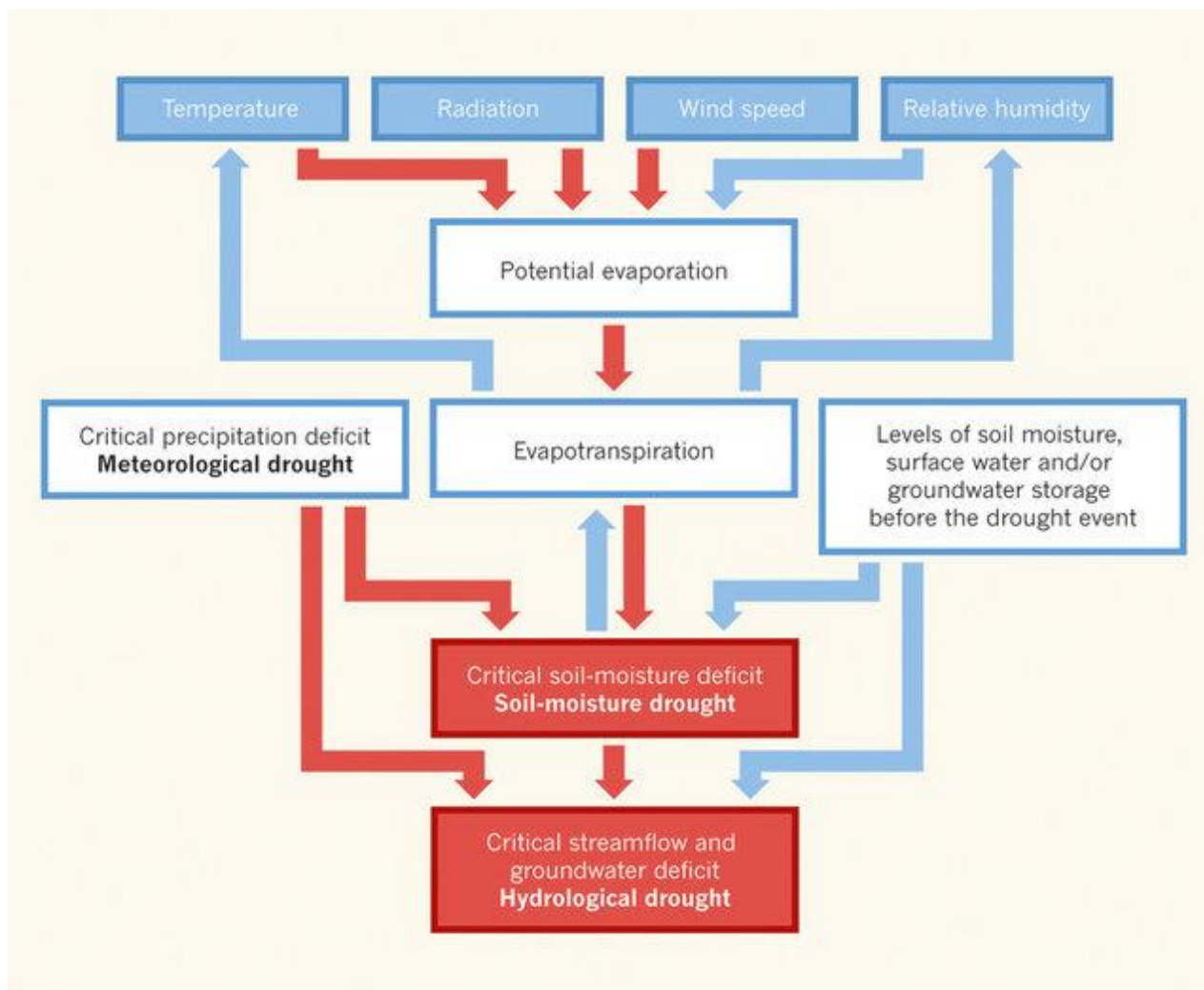
## Державна освіта та політичні реформи:

- Правила управління поживними речовинами та стимули для сталих практик.
- Ефективне управління водозбором у Мексиканській затоці (Day et al., 2024).



## 1.7. Посухи, дефіцит та погіршення якості води

- Рушійні сили посух та дефіциту води:
  - Кліматичні зміни:
  - Зменшення кількості опадів і підвищення температури інтенсифікують випаровування.
  - Саудівська Аравія - надмірний видобуток підземних вод виснажує водоносні горизонти (DeNicola та ін., 2015).
- Діяльність людини:
  - Несталий забір води та деградація земель посилюють природний дефіцит (Zussa et al., 2021).
- Вплив зміни клімату:
  - Змінює структуру опадів, збільшуючи частоту і суворість посух.
  - Країни РСАДПЗ стикаються з гіперзасушливим кліматом, швидкою урбанізацією та зростаючим попитом на воду (Moussa et al., 2025).
- Інноваційні стратегії:
  - Очищення стічних вод і опріснення зменшують дефіцит, але залишаються енергоємними.



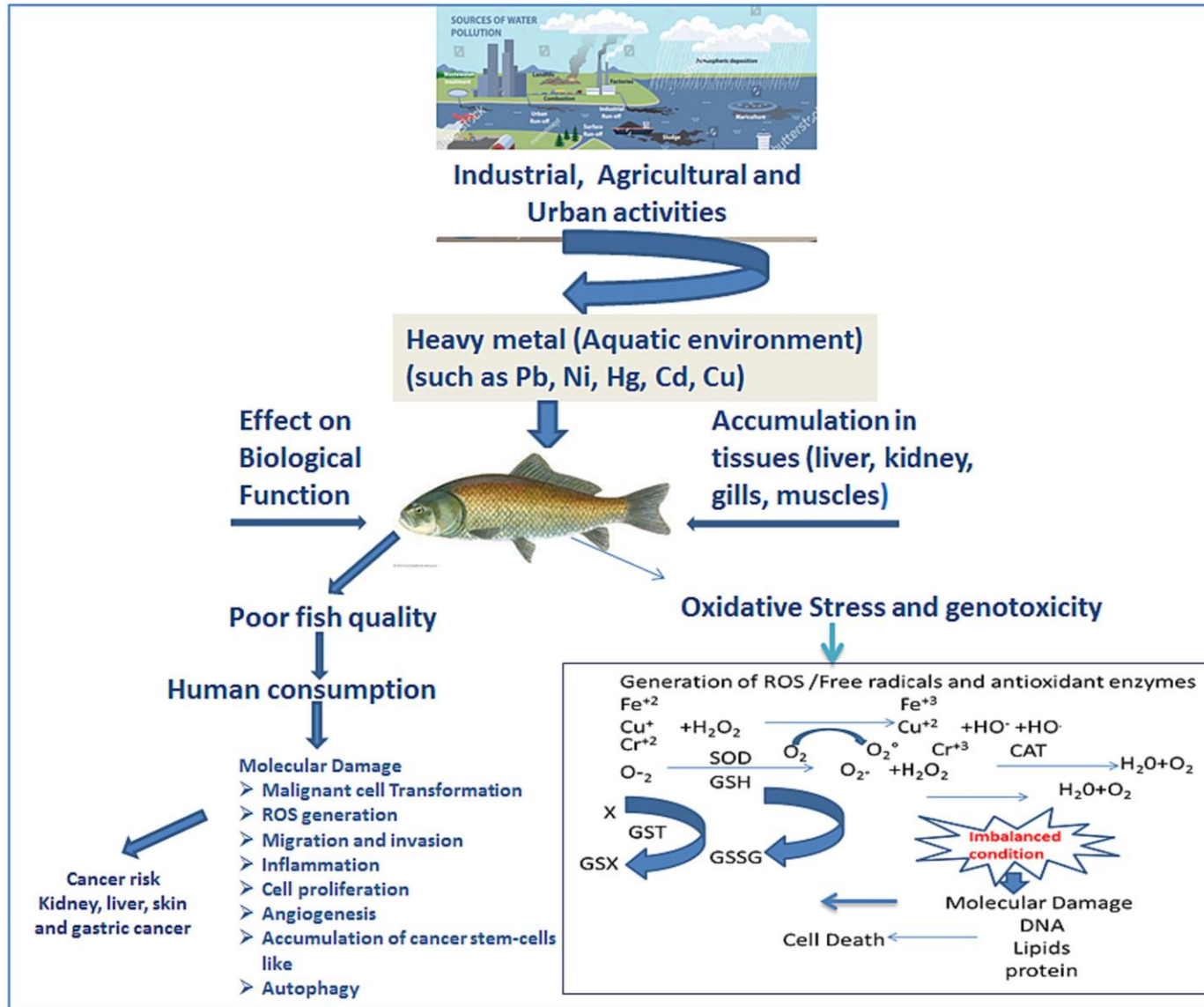
## Рушійні сили посухи (Seneviratne, 2012)



# Наслідки погіршення якості води

- Джерела забруднення:
  - Сільськогосподарські стоки, промислові викиди та міські стоки.
  - Навантаження поживними речовинами призводить до евтрофікації та гіпоксії, порушуючи екосистеми (Giri, 2021).
- Вплив зміни клімату:
  - Екстремальні погодні умови посилюють забруднення джерел прісної води (DeNicola et al., 2015).
- Соціально-економічні наслідки:
  - Захворювання, що передаються через забруднену питну воду, впливають на громади з низьким рівнем доходу.
  - У країнах РСАДПЗ: Скорочення сільськогосподарського виробництва загрожує продовольчій безпеці (Moussa et al., 2025).





## Індукція окислювального пошкодження у риб важкими металами (Sanaa Abdulaziz Mustafa et al., 2024)





# Стратегії пом'якшення наслідків

## Стале управління водними ресурсами:

- Збір дощової води та ефективне зрошення зменшують надмірну експлуатацію (Moussa et al., 2025).
- Відновлення водно-болотних угідь фільтрує забруднювачі та регулює гідрологічні цикли (Zussa et al., 2021).

## Технологічний прогрес:

- Опріснення та очищення стічних вод пропонують рішення для регіонів з дефіцитом води.
- Акцент на мінімізації впливу на навколишнє середовище та покращенні доступності.

## Міжнародна співпраця:

- Обмін знаннями та розбудова потенціалу для вирішення глобальних водних проблем (DeNicola et al., 2015).

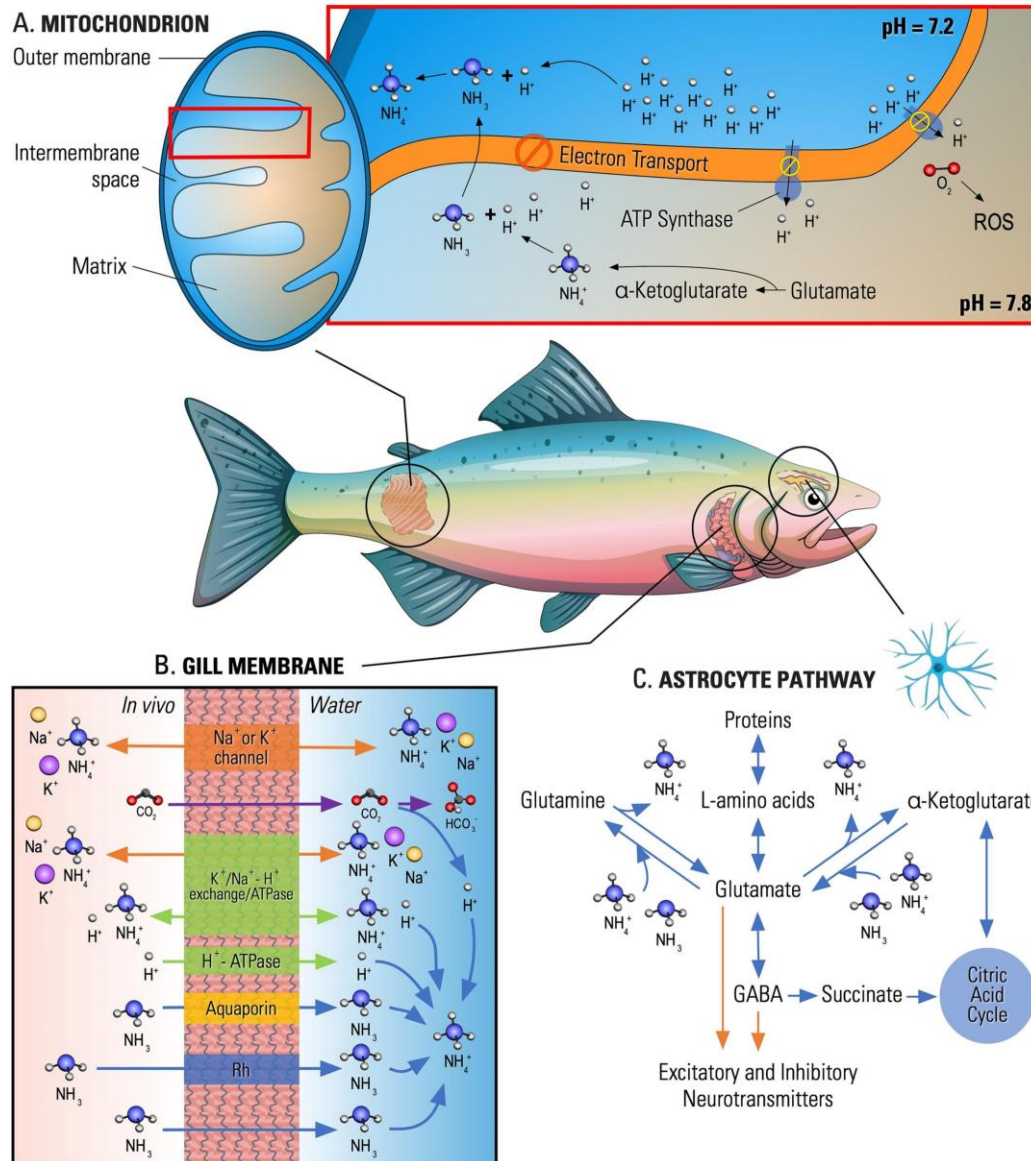


## 2. ВПЛИВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ НА ВРАЗЛИВІСТЬ ВИДІВ АКВАКУЛЬТУРИ



## Чутливість до температури та вразливість видів

- Водні види залежать від стабільної температури води для росту, розмноження та виживання.
- Тропічні види (креветки, тилапія) вразливі до температурних коливань, що порушують ферментативну активність (Giri, 2021).
- Тривалий вплив невідповідних температур призводить до спричиненої стресом смертності та зниження врожайності аквакультури (DeNicola et al., 2015).
- Аравійський півострів стикається з підвищенням температури води, зниженням рівня розчиненого кисню та підвищенням токсичності аміаку (Moussa et al., 2025).
- Адаптаційні заходи:
  - Селективна селекція термостійких видів та системи аквакультури з контрольованою температурою.



# Фізіологія аміаку та шляхи токсичності аміаку для риб (Edwards et al., 2023)

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™

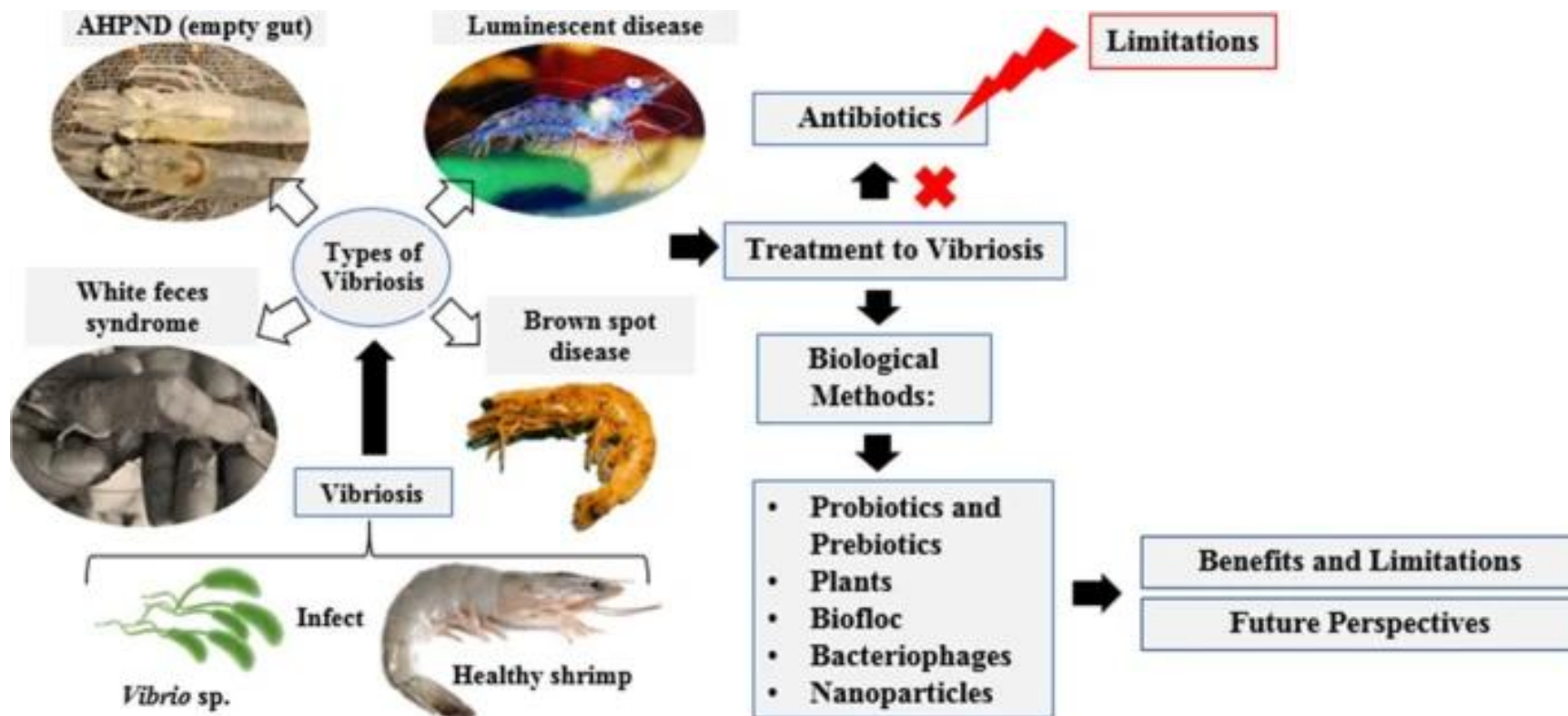
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



# Хвороби та розповсюдження паразитів

- Тепліші води прискорюють життєві цикли патогенів і паразитів.
- Спалахи *Vibrio* spp. та морських вошей на фермах з вирощування креветок та лосося (Zussa et al., 2021).
- Задokumentовано в Південно-Східній Азії (креветочні ферми) та Північній Атлантиці (лососеві ферми).
- Зміни хімічного складу води, спричинені кліматом (підкислення, зміни солоності), послаблюють резистентність хазяїна (Giri, 2021).
- Стратегії:
  - Удосконалення систем моніторингу,
  - заходи біобезпеки,
  - дослідження стійких до хвороб видів аквакультури.





## Вібріоз креветок: Симптоми, проблеми лікування та варіанти біологічного контролю (Нурул Ашикін Еліас та ін., 2023)



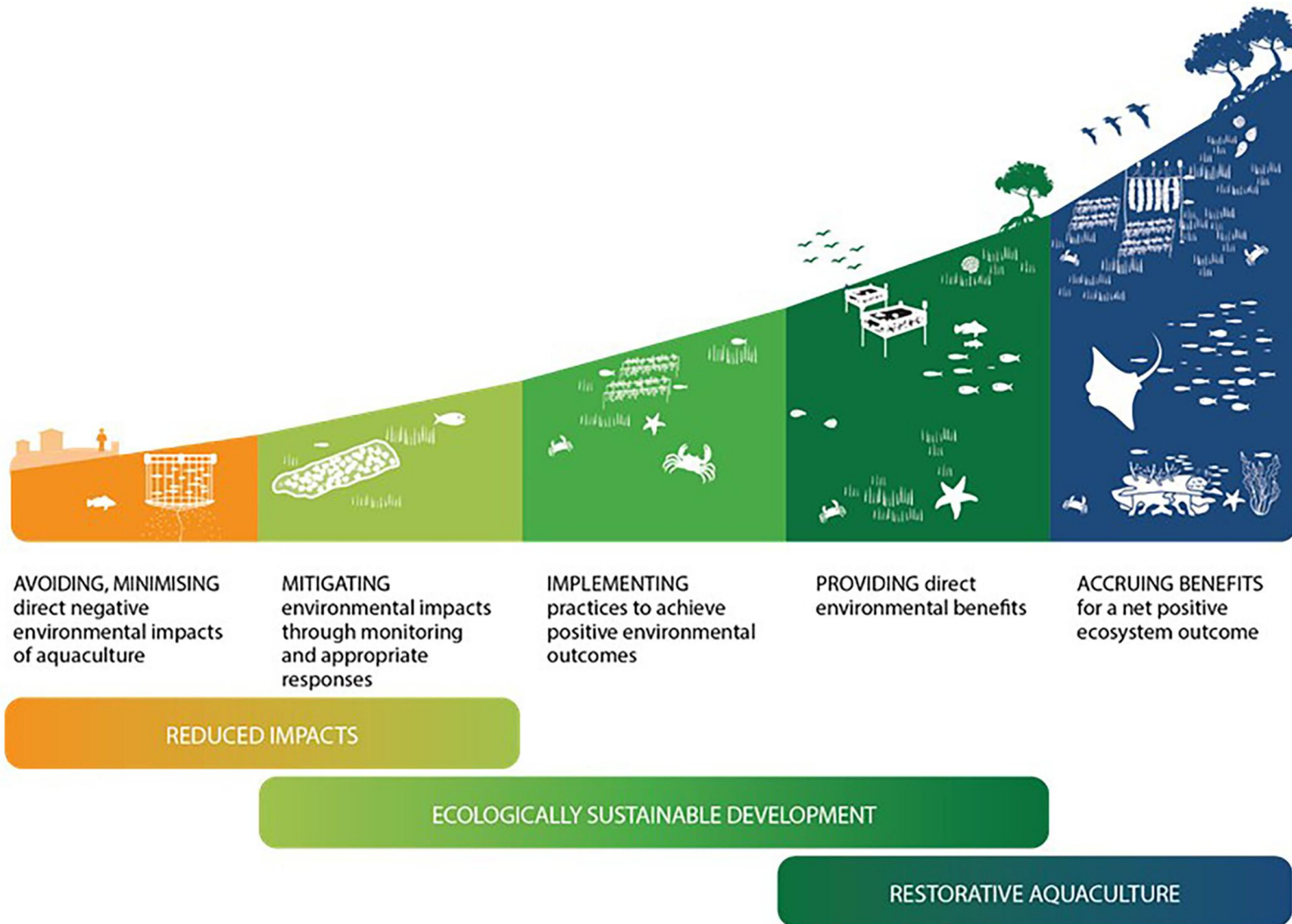
# Вплив вібріозу на аквакультуру (Нурул Ашикін Еліас та ін., 2023)

Країна	Вид вірусу	Втрати та наслідки
Китай	<i>V. fluvialis</i>	> 120 млн. доларів США щорічних втрат між 1990-1992 роками
Індія	<i>V. harveyi</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. anguillarum</i>	Поганий ріст, червоне забарвлення та смертність <i>Penaeus monodon</i>
Таїланд	<i>V. harveyi</i>	Масова загибель <i>P. monodon</i>
Японія	<i>V. carchariae</i>	Масова загибель японського морського вупка ( <i>Haliotis diversicolor</i> )
Індонезія	<i>Luminescent Vibrio</i>	> Збитки у розмірі 100 млн. доларів США на рибоводному заводі з вирощування креветок
Італія	<i>V. harveyi</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. salmonicida</i> , <i>V. vulnificus</i>	Масова загибель на фермі двостулкових молюсків, розташованій у Мар Пікколо в Таранто.
Мексика	<i>V. parahaemolyticus</i>	Гостра гепатопанкреонекротична хвороба (ГТПН) у <i>L. vannamei</i>
Єгипет	<i>V. anguillarum</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. harveyi</i>	Червоні плями на вентральних і бічних ділянках, некроз і геморагічні ділянки



# Стратегії пом'якшення наслідків та адаптації

- Технологічні інновації:
  - Рециркуляційні системи аквакультури (RAS) та ставки з контрольованою температурою пом'якшують тепловий стрес (Moussa et al., 2025).
  - Програми вакцинації та передові технології виявлення хвороб зменшують ризики, пов'язані з патогенами.
- Збереження навколишнього середовища:
  - Відновлення мангрових заростей і водно-болотних угідь для буферизації температурних коливань і фільтрації патогенів.
- Співпраця:
  - Сприяти міжнародному співробітництву у сфері кліматично-стійкої аквакультури.
  - Сприяти обміну знаннями та розбудові потенціалу.



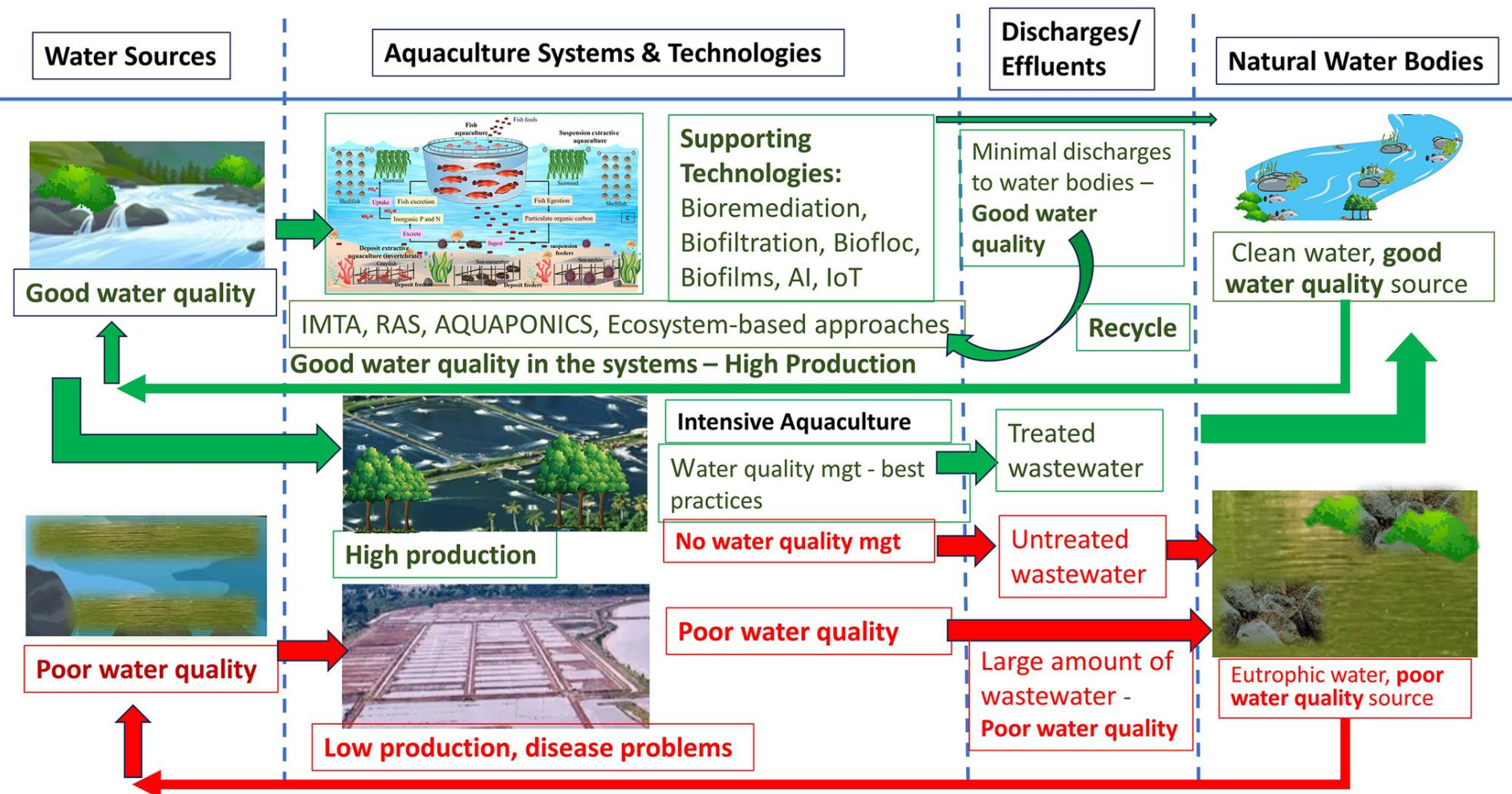
Глобальні принципи відновлювальної аквакультури для сприяння  
практикам аквакультури, які приносять користь навколишньому  
середовищу (Alleway et al., 2023)



## 2.1. Економічні наслідки впливу глобального потепління на аквакультуру

- Зниження врожайності морепродуктів та риби:
  - Підвищення температури моря та підкислення порушують водні біотопи.
  - Зниження доступності кисню та порушення кальцифікації молюсків впливають на прибутковість аквакультури (Nienhuis et al., 2010).
- Погіршення якості води та спалахи хвороб:
  - Цвітіння шкідливих водоростей виснажує кисень і вивільняє токсини.
- Імунітет устриць послаблюється в умовах потепління (Neokye et al., 2024).
- Витрати на адаптацію:
  - Значні інвестиції, необхідні для систем з контрольованою температурою та стійких до хвороб видів.
  - Географічне переміщення аквакультурних операцій збільшує витрати (Mdoe та ін., 2025).





## Управління якістю води в аквакультури (Yusoff et al., 2024)



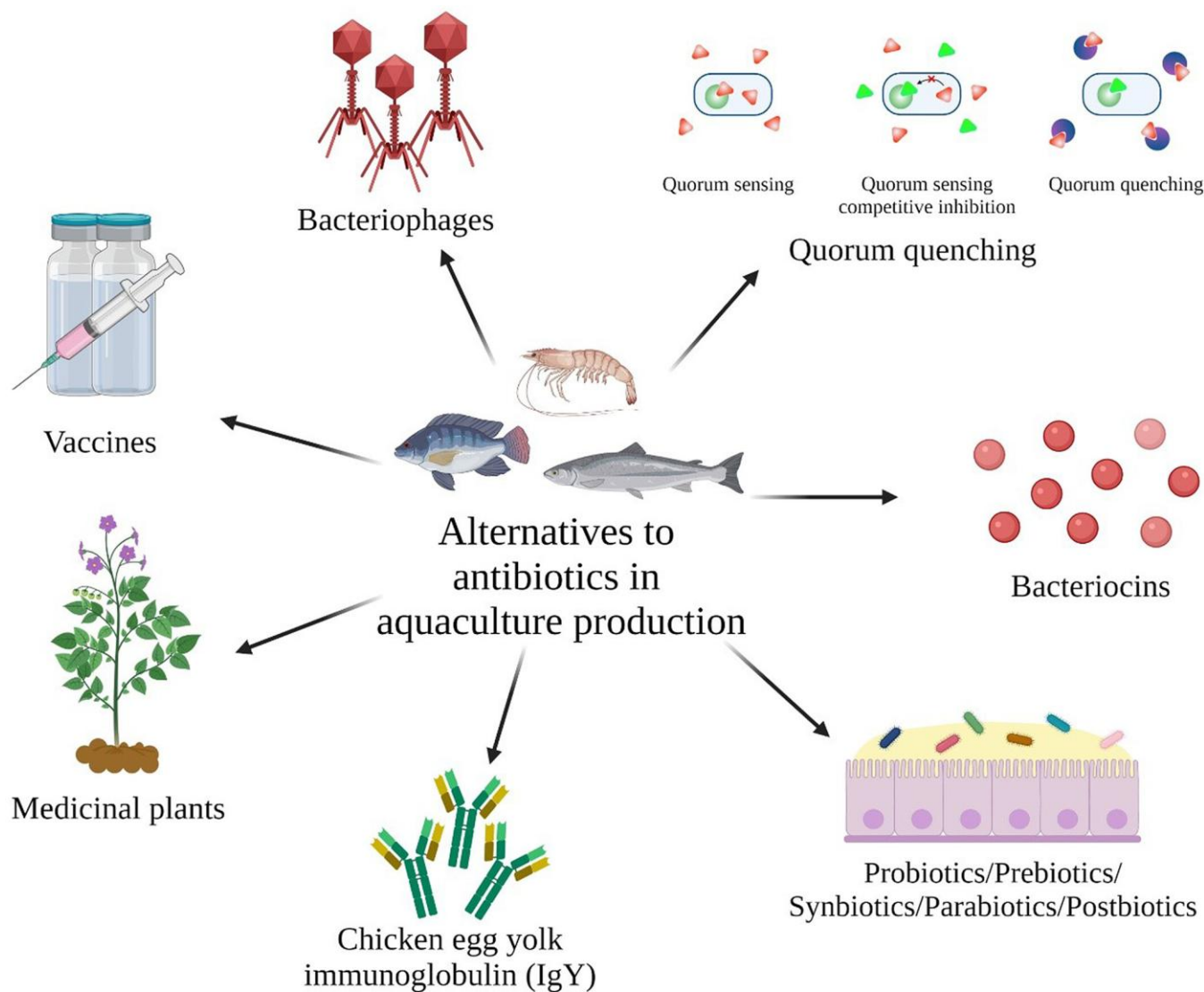
## 2.2. Вплив глобального потепління на географічні зміни в аквакультурі

- Зміщення зон:
  - Підвищення температури зсуває зони аквакультури до полюсів.
  - Тропізація морського середовища змінює структуру екосистем (Zarzyczny et al., 2024).
- Інвазивні види:
  - Поширення інвазивних видів порушує екосистеми та діяльність аквакультури.
  - Тропічні види переміщуються в помірні зони (Woods et al., 2016).
- Стратегії адаптації:
  - Інтегрована мультитрофічна аквакультура (ІМТА) підвищує стійкість (Mdoe et al., 2025).
  - Генетичні поліпшення стійкості до хвороб і температури (Ross et al., 2023).
  - Системи моніторингу та раннього попередження з використанням прогнозного моделювання.

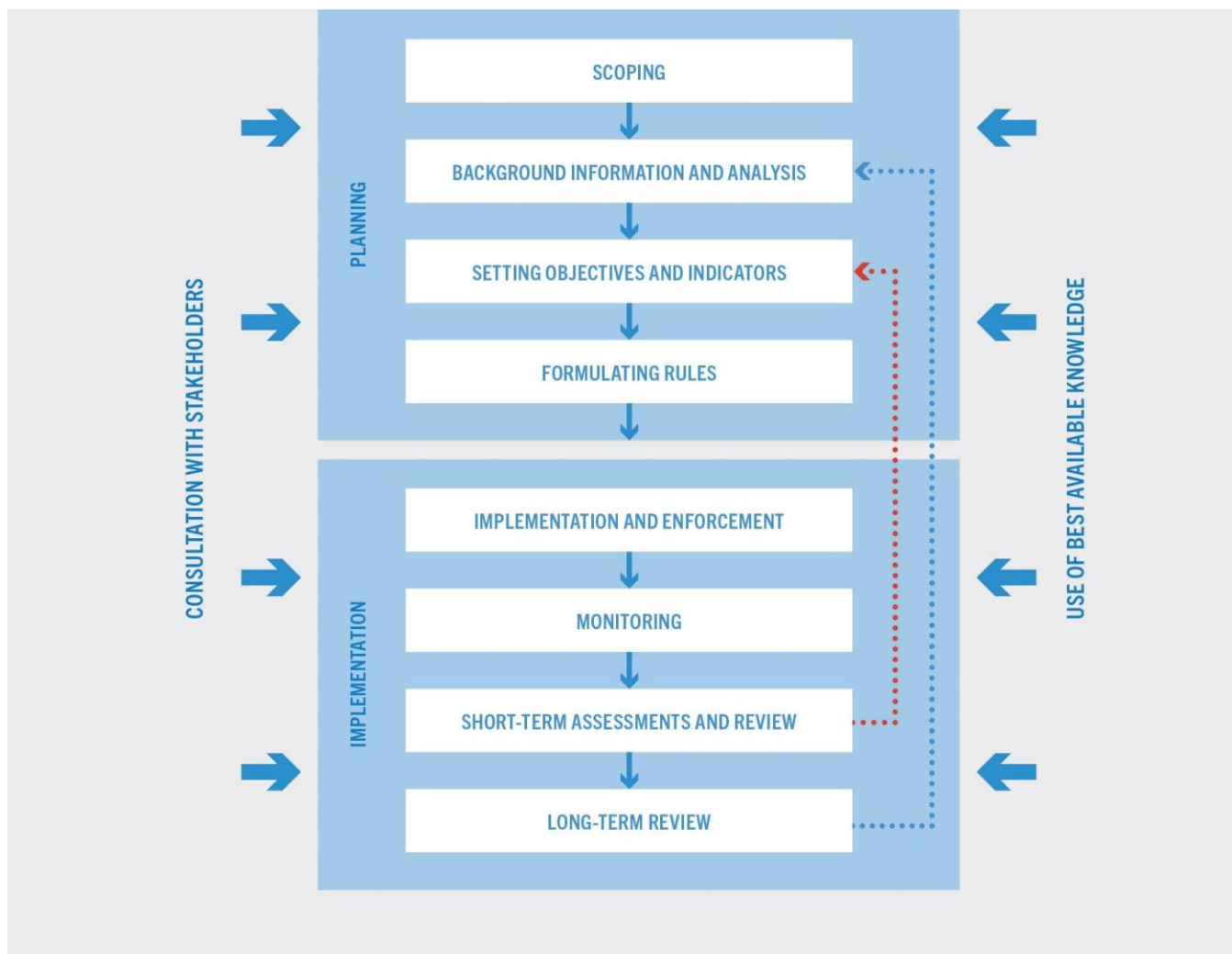


# Політика та управління

- Ефективні рамки:
  - Підтримка сталих практик та досліджень стійких систем аквакультури.
  - Інвестиції в генетичні дослідження для створення кліматично-стійких видів (Handisyde et al., 2017).
- - Інтеграція в кліматичні плани:
  - Узгодження політики в галузі аквакультури з більш широкими стратегіями кліматичних дій.
- Збалансувати економічне зростання з екологічною стійкістю (Naylor et al., 2023).
- Усунення регіональних диспропорцій:
  - Підтримувати регіони з низьким рівнем доходу фінансуванням, технологіями та досвідом.
  - Забезпечити справедливий розвиток для підтримки глобальної продовольчої безпеки.



## Альтернативи для зменшення потреби в антимікробних препаратах (Bondad-Reantaso та ін., 2023)



Цикли адаптивного управління, що демонструють додатковий цикл зворотного зв'язку для врахування динамічної природи зміни клімату (Рибальство та аквакультура

адаптуються до зміни клімату, 2022)

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247





## Підсумок

- Термічна стратифікація та виснаження кисню загрожують водному життю, що має серйозні екологічні та економічні наслідки.
- Підвищення температури збільшує метаболічний стрес, що впливає на ріст, розмноження та цілісність екосистем.
- Коливання солоності порушують поширення видів і діяльність аквакультури, впливаючи на прибережні громади.
- Евтрофікація через надлишок поживних речовин спричиняє шкідливе цвітіння водоростей, втрату кисню та деградацію екосистем.
- Дефіцит води, посилений зміною клімату та антропогенним навантаженням, загрожує глобальній водній безпеці.
- Аквакультура стає все більш вразливою до змін температури, хвороб і паразитів, що загрожує продовольчій безпеці.
- Зони аквакультури зміщуються через зміну клімату, що вимагає переміщення та впровадження сталих практик.



## Підсумок

- **Стратегічні рішення:**
  - Розробляти адаптивні стратегії, що поєднують технології та сталі практики.
  - Сприяти міжнародному співробітництву, політичній підтримці та включенню традиційних екологічних знань.
  - Забезпечення стійкості водних систем за допомогою інноваційних, цілісних рішень для збереження біорізноманіття, засобів до існування та глобальної продовольчої безпеки.



# Λίτερατυρα

Alleway, H. K., Waters, T. J., Brummett, R., Cai, J., Cao, L., Megan Reilly Cayten, Barry Antonio Costa-Pierce, Dong, Y., Brandstrup, C., Liu, S., Liu, Q., Shelley, C., Theuerkauf, S. J., Tucker, L., Wang, Y., & Jones, R. C. (2023). Global principles for restorative aquaculture to foster aquaculture practices that benefit the environment. *Conservation Science and Practice*, 5(8). <https://doi.org/10.1111/csp2.12982>

Andreyeva, A. Y., Kukhareva, T. A., Gostyukhina, O. L., & Vialova, O. Y. (2024). Impacts of ocean acidification and hypoxia on cellular immunity, oxygen consumption, and antioxidant status in Mediterranean mussel. *Fish and Shellfish Immunology*, 154, 109932.

<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109932>

Bondad-Reantaso, M. G., MacKinnon, B., Karunasagar, I., Fridman, S., Alday-Sanz, V., Brun, E., Le Groumellec, M., Li, A., Surachetpong, W., Karunasagar, I., Hao, B., Dall’Occo, A., Urbani, R., & Caputo, A. (2023). Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4). <https://doi.org/10.1111/raq.12786>

Crozier, L. G., & Siegel, J. E. (2023). A Comprehensive Review of the Impacts of Climate Change on Salmon: Strengths and Weaknesses of the Literature by Life Stage. *Fishes*, 8(6), 319. <https://doi.org/10.3390/fishes8060319>

Day, J. W., Rybczyk, J. M., & Stephens, J. R. (2024). Climate change effects on nutrient loading and coastal eutrophication. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(18), 627–637. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00112-8>

DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>

Deutsch, C., Penn, J. L., & Seibel, B. A. (2020). Climate change constrains fish metabolic scope and habitat suitability globally. *Science Advances*, 6(22), eaax0194. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0194>

Duarte, J. A., Villanueva, R., Seijo, J. C., & Vela, M. A. (2022). Ocean acidification effects on aquaculture of a high resilient calcifier species: A bioeconomic approach. *Aquaculture*, 559, 738426. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738426>

Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2023). Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of the Total Environment*, 907, 167911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>

*Fisheries and aquaculture adaptations to climate change*. (2022). Fao.org. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9df19f53-b931-4d04-acd3-58a71c6b1a5b/content/sofia/2022/adaptations-to-climate-crisis.html>



# Λίτερατυπα

Global warming and ocean oxygen levels (2018). <https://www.carbonbrief.org/guest-post-how-global-warming-is-causing-ocean-oxygen-levels-to-fall>

Grabba, K. C., Ghosh, A., Adekunbi, F. O., Williamson, P., & Widdicombe, S. (2024). Ocean acidification: Causes, impacts, and policy actions. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 51–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14082-2.00011-9>

Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>

Hamilton, S. L., Elliott, M. S., deVries, M. S., Adelaars, J., & Rintoul, M. D. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, 560, 738571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>

Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of nearshore, shallow waters of normally-closed estuaries are highly depauperate and influenced markedly by salinity and oxygen concentration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 291, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108410>

How the dead zones forms (2025). [https://www.insightsonindia.com/wp-content/uploads/2024/06/DEAD\\_ZONE-1.jpg](https://www.insightsonindia.com/wp-content/uploads/2024/06/DEAD_ZONE-1.jpg)

Islam, M. J., Kunzmann, A., & Slater, M. J. (2021). Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2). <https://doi.org/10.1111/jwas.12853>

Yusoff, F. M., Wahidah A.D. Umi, Ramli, N. M., & Harun, R. (2024). Water Quality Management in Aquaculture. *Cambridge Prisms. Water*, 1–61. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.6>

Jones, B. L., Nordlund, L. M., Unsworth, R. K. F., Jiddawi, N. S., & Eklöf, J. S. (2021). Seagrass Structural Traits Drive Fish Assemblages in Small-Scale Fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640528>

Liu, S., Liu, Y., & Xing, Q. (2024). Climate change drives fish communities: Changing multiple facets of fish biodiversity in the Northwest Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 955, 176854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176854>

Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., & Law, R. J. (2018). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*, 86, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>



# Λίτεpaтyпa

- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>
- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Mingote, M. G., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., Clavel-Henry, M., & Company, J. B. (2023). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115838>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Naylor, R., et al. (2023). A global view of aquaculture policy. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Neokye, E. O., et al. (2024). Climate change impacts on oyster aquaculture: Part II. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Nienhuis, S., et al. (2010). Ocean acidification effects on calcifying organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 287-302. <https://doi.org/10.3354/meps08307>
- NOAA. (2025, February 25). *Ocean Acidification*. National Oceanic and Atmospheric Administration; U.S. Department of Commerce. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- Nurul Ashikin Elias, Hassan, Nor, Okomoda Victor Tosin, Noor Aniza Harun, Sharifah Rahmah, & Hassan, M. (2023). Potential and limitation of biocontrol methods against vibriosis: a review. *Aquaculture International*, 31(4), 2355–2398. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01091-x>





# Λίτερατυπα

Ocean deoxygenation (2025). <https://www.ioc.unesco.org/en/go2ne>

Okon, E. M., Oyesiji, A. A., & Eissa, E. H. (2024). The escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective. *Environmental Research*, 263, 120184.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>

Pham, C.-V., Wang, H.-C., Chen, S.-H., & Lee, J.-M. (2023). The Threshold Effect of Overfishing on Global Fishery Outputs: International Evidence from a Sustainable Fishery Perspective. *Fishes*, 8(2), 71. MDPI.

<https://doi.org/10.3390/fishes8020071>

Rahman, M. M., & Hung, T.-C. (2024). Impact of salinity and body size on sperm motility in three California smelt species. *Aquaculture Reports*, 39, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102503>

Reister, I., Danielson, S., & Aguilar-Islas, A. (2024). Perspectives on Northern Gulf of Alaska salinity field structure, freshwater pathways, and controlling mechanisms. *Progress in Oceanography*, 229, 103373.

<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103373>

Ross, F. W. R., Boyd, P. W., & Filbee-Dexter, K. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>

Sanaa Abdulaziz Mustafa, Abdulmotalib Jasim Al-Rudainy, & Noor Mohammad Salman. (2024). Effect of environmental pollutants on fish health: An overview. *Egyptian Journal of Aquatic Research/Egyptian Journal of Aquatic Research*, 50(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2024.02.006>

Seibel, B. A. (2024). On the validity of using the Metabolic Index to predict the responses of marine fishes to climate change. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 3, 549-558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00167-1>

Seneviratne, S. I. (2012). Historical drought trends revisited. *Nature*, 491(7424), 338–339.

<https://doi.org/10.1038/491338a>

Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G., & Masin, R. (2024). Soil salinization in agriculture: mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *IScience*, 27(2), 108830–108830.

<https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>



# Λίτερατυρα

Wilson, P. C. (2019, November 18). *SL313/SS525: Water Quality Notes: Dissolved Oxygen*. Edis.ifas.ufl.edu.

<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS525>

Woods, J. S., Veltman, K., & Huijbregts, M. A. J. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment. *Environment International*, 89–90, 48–61.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>

Zarzyczny, K. M., Rius, M., & Williams, S. T. (2024). The ecological and evolutionary consequences of tropicalisation. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>

Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>

Zhao, S., Liu, M., Tao, M., Zhou, W., Lu, X., Xiong, Y., Li, F., & Wang, Q. (2023). The role of satellite remote sensing in mitigating and adapting to global climate change. *Science of the Total Environment*, 904, 166820.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166820>

Zucca, C., Middleton, N., Kang, U., & Liniger, H. (2021). Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, 207, 105669.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105669>

•