



Co-funded by
the European Union



National University of Water
and Environmental
Engineering

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра водних біоресурсів

05-03-137M

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол № 23 від 27.08.2024 р.

Рівне – 2024

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Якість води та здоров'я риб» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів» спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Гроховська Ю. Р. – Рівне : НУВГП, 2024. – 131 с.

Укладач:

Гроховська Юлія Романівна, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри водних біоресурсів.

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

Керівник групи забезпечення
спеціальності 207
«Водні біоресурси та аквакультура»

Сондак В. В.

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

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

ЗМІСТ

Передмова	3
<i>Змістовий модуль 1. Водне середовище та якість води</i>	5
Тема 1. Вступ до тем якості води та здоров'я риб	5
Тема 2. Водні екосистеми та біологія риб	7
Тема 3. Основні параметри якості водного середовища. Розчинений кисень та здоров'я риб	21
Тема 4. Температура водного середовища та здоров'я риб	29
Тема 5. Солоність і рН водного середовища та здоров'я риб	36
<i>Змістовий модуль 2. Антропогенні зміни якості вод та вплив забруднення на здоров'я риб</i>	47
Тема 6. Джерела забруднення поверхневих вод	47
Тема 7. Забруднення води токсичними металами та його наслідки для здоров'я риб	59
Тема 8. Забруднення води токсичними органічними речовинами та його наслідки	68
Тема 9. Біологічне забруднення води. Біоіндикація	78
Тема 10. Нормативно-правова база аквакультури, моніторингу та оцінки якості води	88
Тема 11. Аквакультура та якість води	102
Тема 12. Хвороби риб і охорона здоров'я	109
Список використаних джерел	124

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

БСК – біохімічне споживання кисню;
 ВМ – важкі метали;
 ГДК – гранично допустима концентрація;
 ОР – органічні речовини;
 СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини;
 СВ – стічні води;
 ХСК – хімічне споживання кисню.

ПЕРЕДМОВА

Якість води є основним фактором здоров'я риб та інших водних тварин. Хімічний склад природних вод є багатокомпонентним і залежить від природних і антропогенних чинників. Це можуть бути шкідливі зміни природних характеристик якості води, а також поява хімічних речовин у воді в результаті діяльності людини. Метою вивчення освітнього компонента (ОК) є набуття здобувачами освіти теоретичних знань про вплив якості води на здоров'я риб у природних популяціях і в умовах аквакультури та практичні навички оцінки якості води та стану риби за відповідними показниками. Вивчення ОК надає здобувачам теоретичні знання і практичні навички, які дозволяють узагальнити проблеми здоров'я риб, пов'язані зі змінами якості води (природними та техногенними причинами):

- 1) знати проблеми, пов'язані зі зміною якості і забрудненням води, а також загальні реакції риб на забруднення водного середовища;
- 2) аналізувати причини отруєння та/або загибелі риби;
- 3) знати причини та наслідки забруднення риби та загальні принципи запобігання отруєнню рибою;
- 4) знати вплив забруднення на поширення вірусних, бактеріальних та грибкових захворювань, паразитів риб.

Для рибного господарства критично важливим є підтримання якості води в оптимальних межах для росту, розвитку та розмноження риб. Рибогосподарські вимоги до якості води стосуються її природних характеристик, наприклад концентрації розчиненого кисню, та її змін, які пов'язані з природними причинами (наприклад, з сезонною і добовою динамікою температури) і техногенною діяльністю (переважно забрудненням води мінеральними та органічними речовинами). Крім того, особливу увагу потрібно звертати на недопущення потрапляння у водне середовище чи корм риб токсичних речовин внаслідок господарської діяльності, які загрожують не лише здоров'ю риб, але і людині, як споживачу рибних продуктів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЯКІСТЬ ВОДИ

ТЕМА 1. ВСТУП ДО ТЕМ ЯКОСТІ ВОДИ ТА ЗДОРОВ'Я РИБ

План

1. Освітній компонент «Якість води та здоров'я риб» та його роль у підготовці магістрів спеціальності «Водні біоресурси та аквакультура».
2. Загальний вступ до тем якості води та здоров'я риб.

1. Освітній компонент «Якість води та здоров'я риб» та його роль у підготовці магістрів спеціальності «Водні біоресурси та аквакультура»

ОК «Якість води та здоров'я риб» належить до числа вибірових компонентів першого блоку «Інтенсивна аквакультура» освітньо-професійної програми «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів». На вивчення ОК передбачено 4,5 кредитів ЄКТС, 46 годин аудиторних занять; курс завершується екзаменом у третьому семестрі.

Перший модуль «Водне середовище та якість води» присвячений основам гідрохімії та змінам якості природних вод, природним і антропогенним, які мають вплив на здоров'я риб. Другий модуль «Вплив змін якості вод та забруднення на здоров'я риб» розглядає широке коло питань – від особливостей впливу на риб забруднюючих речовин антропогенного походження до аквакультури та нормативної бази, яка стосується збереження здоров'я риб і водних екосистем.

Передумови вивчення забезпечують обов'язкові компоненти освітньо-професійної програми – «Профілактика та лікування хвороб риб» і «Екологічна фізіологія та біохімія гідробіонтів», вивчення яких передбачене у другому семестрі.

2. Загальний вступ до тем якості води та здоров'я риби

Близько 20% білка, який споживає людство, походить з водного середовища. Майже 50% від цієї кількості походить від риби вирощеної в аквакультурі. За оцінками ООН, риба забезпечує засоби для існування 10-12% населення світу. Риба також має вирішальне значення для підтримки здоров'я водних екосистем. Однак рибні ресурси планети страждають від надмірного вилову, погані якості води та хвороб.

Значення якості води для здоров'я риби має два взаємопов'язані виміри. З одного боку, вода у складі організму риби становить у середньому 67-80% (Stoskopf, 2010). А з іншого – риби, як і інші гідробіоти, живуть у водному середовищі, тому якість води є основним фактором, що впливає на їх життя і здоров'я. Крім того, якість води визначає якість товарної риби і, відповідно, опосередковано впливає на здоров'я людей, які цю рибу споживають.

Якість води визначається відповідними гідрохімічними і гідрофізичними параметрами, розчиненими і завислими речовинами, які можна використовувати для характеристики водного об'єкта. Оскільки майже всі водні об'єкти мають дуже динамічний склад, відповідні параметри якості зазвичай виражаються як діапазон очікуваних концентрацій і залежать від природних і антропогенних чинників. Це можуть бути шкідливі для риби зміни природних характеристик якості води (наприклад, зниження концентрації розчиненого кисню під впливом підвищення температури води внаслідок кліматичних змін), а також поява хімічних речовин у воді в результаті діяльності людини. Моніторинг параметрів якості води є ключовим напрямком діяльності в управлінні навколишнім середовищем, відновленні забрудненого середовища та прогнозуванні впливу техногенних змін на довкілля.

Основна мета ОК – узагальнити проблеми здоров'я риби, які пов'язані зі змінами якості води (природними та техногенними причинами).

Ось як охарактеризував значення якості води та здоров'я риби ШІ: *“Fish health and water quality are crucial components of*

aquatic ecosystems with far-reaching impacts. Healthy fish populations contribute to biodiversity, ecosystem balance, and sustainable fisheries, supporting economic activities, human nutrition, and cultural practices. Water quality, closely linked to fish health, serves as a vital environmental indicator, reflecting the overall health of aquatic ecosystems and influencing the well-being of both natural habitats and human communities. Maintaining the health of fish and preserving water quality is essential for the sustainability of ecosystems, the resilience of fisheries, and the overall balance of our interconnected environment”(ChatGPT, February 2024).

ШІ, створений людьми, краще розуміє важливе значення якості води та здоров'я риб для майбутнього людства, ніж самі люди... Треба змінювати менталітет і навчати людей.

ТЕМА 2. ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ ТА БІОЛОГІЯ РИБ

План

1. Водні екосистеми. Прісноводні екосистеми. Морські екосистеми.
2. Зв'язок між водними і наземними екосистемами.
3. Біологія риб. Пристосування риб до середовища існування.
4. Імунна система риб і круглоротих.

1. Водні екосистеми. Прісноводні екосистеми. Морські екосистеми

Екосистема складається з угруповань живих організмів, які залежать один від одного та від чинників навколишнього середовища. Водна екосистема – це екосистема у водному об'єкті (водоймі чи водотоці) та навколо нього. Незважаючи на те, що виживання всіх живих організмів прямо чи опосередковано залежить від води, деякі організми повністю залежать від водного середовища існування. Такі організми, місцем існування яких є водойми, називають водними організмами, гідробіонтами. Риби – це типові гідробіонти.

Деякі з важливих абіотичних факторів середовища водних екосистем включають тип субстрату, глибину води, рівень

вмісту поживних речовин, температуру, солоність наявність течії та ін. Часто важко визначити відносний вплив цих факторів без проведення великих експериментів. Під час взаємодії багатьох компонентів і факторів можуть виникати складні петлі зворотного зв'язку (Marshall, 2017). Наприклад, мул на дні може визначати наявність водних рослин, але і водні рослини у свою чергу можуть затримувати мул і додаватися до його складу після відмирання біомаси.

Водні екосистеми включають океани, моря, озера, річки, струмки, лимани, стави, водосховища, болота та водно-болотні угіддя. Вони є домівкою для величезного різноманіття живих організмів (усі види безхребетних і хребетних тварин, мікроорганізми та рослини). Вони є основним джерелом кисню і відповідають за видалення величезної кількості вуглекислого газу з атмосфери. Вони забезпечують кругообіг поживних речовин, відновлюють запаси ґрунтових вод, створюють середовище існування та комерційні/промислові/рекреаційні можливості для людей. Вони також регулюють температуру та пори року на планеті. Поверхневі води забезпечують виживання наземних екосистем і підтримують їх біорізноманіття. Водні організми є величезним джерелом їжі для наземних тварин і людини. Таким чином, здоров'я водних екосистем має вирішальне значення для планети, але вони дуже вразливі, і їх здоров'я може бути легко порушене внаслідок згубного антропогенного впливу.

Двома основними типами водних екосистем є морські екосистеми та прісноводні екосистеми.

Прісноводні екосистеми займають 0,8% поверхні Землі та вміщують 0,009% загального об'єму води. Вони виробляють майже 3% чистої первинної продукції. У прісноводних екосистемах мешкають 41% відомих у світі видів риб.

Існує три основні типи прісноводних екосистем:

Лентичні, або стоячі. Це об'єкти з водою, що повільно рухається: стави, озера і водосховища.

Лотичні системи. Це об'єкти з водою, що швидко рухається, наприклад, струмки і річки.

Водно-болотні угіддя – це території, де ґрунт насичений водою або затоплений певний період часу.

Лентичні екосистеми. Назва походить від латинського слова *Lentus* (повільний), переважно відноситься до нерухомої або відносно нерухомої води, включають усі стоячі водойми. Озера та стави є основними прикладами лентичних екосистем. У цих екосистемах живуть численні види тварин: комахи (жуки, одноденки, веснянки тощо), риби (вугор, сом, окунь та ін.), рептилії (черепахи, крокодили та ін.), амфібії (жаби, тритони тощо), ссавці (бобри, річкові дельфіни, видри та ін.) Вони також є домівкою для багатьох видів водних рослин, укорінених та вільноплаваючих.

Лотичні екосистеми. Назва походить від латинського слова *Lotus* (омивання, миття), стосується проточних вод, які рухаються в одному напрямку, включаючи річки, потоки, струмки та штучні канали.

Водно-болотне угіддя – це низинна ділянка суші, ґрунтовий покрив якої затоплений або насичений водою постійно, роками чи десятиліттями, або лише сезонно, впродовж коротких періодів часу.

Відповідно до Рамсарської міжнародної конвенції (1971), водно-болотні угіддя визначаються так:

–Стаття 1.1: «... водно-болотні угіддя – це болота, торфовища або водойми, природні чи штучні, постійні чи тимчасові, з водою, яка є стоячою або текучою, прісною, солонуватою або солоною, включаючи ділянки морської води глибина яких не перевищує шести метрів».

–Стаття 2.1: «[Водно-болотні угіддя] можуть включати прибережні та прибережні зони, що прилягають до водно-болотних угідь, а також острови або морські водойми глибиною понад шість метрів під час відпливу, що знаходяться в межах водно-болотних угідь».

Екологічне визначення водно-болотних угідь – це «екосистема, яка виникає, коли затоплення водою створює ґрунти, в яких переважають анаеробні та аеробні процеси, що, у свою чергу, змушує біоту, особливо вкорінені рослини, адаптуватися до затоплення» (Keddy, 2010).

Болота, заболочені ліси та мангрові болота – типові водно-болотні угіддя. Вода в них може бути прісною, солонуватою і солоною. Водно-болотні угіддя вважаються екотонами – вони забезпечують перехід між водними і наземними екосистемами і характеризуються високим біорізноманіттям, оскільки слугують домівкою для величезної кількості видів рослин і тварин.

Життя і розмноження багатьох видів риб залежить від водно-болотних екосистем. 75% промислових запасів риби та моллюсків США залежать виключно від естуаріїв (Colvin et al., 2019; Sievers et al., 2019). Тропічні види риби потребують мангрових заростей для розмноження, а також систему коралових рифів для живлення.

Морські екосистеми. Океани слугують домівкою приблизно для півмільйона видів тварин (у Всесвітньому реєстрі морських видів, англ. World Register of Marine Species, WoRMS, налічується 526 301 перевірених назв видів), з величезним розмаїттям від безхребетних до хребетних, а також мікро-організмів, грибів, водоростей та судинних морських рослин.

Прибережні екосистеми. Місце сполучення суші з водою називається прибережним регіоном. Ці регіони мають різноманітні середовища існування – прибережні екосистеми, де мешкає величезна кількість водоростей, водних рослин і багато видів тварин. Значна частина населення та господарської діяльності людини припадає саме на прибережні райони (міста і селища, рибальство, аквакультура, рекреація тощо).

Естуарії та Лимани. Естуарій – це затоплене гирло річки, однорукавне, лійкоподібне, що розширюється в напрямку моря або океану. На річках в Україні естуарії майже не трапляються, виключенням є Бузький лиман – естуарій річки Південний Буг. Лиман – це затоплена пригирлова частина річкової долини (або балки), що перетворилась у мілку й витягнуту затоку. Складається з озерець солоної води, мулистих берегів і солелюбної рослинності.

Естуарії та лимани – це місце змішування прісної та солоної води. Вода має більшу концентрацію солі порівняно з прісними водоймами, але розбавлена, порівняно з морськими водоймами. Ці території отримують велику кількість поживних

речовин (природного і антропогенного походження) і зазвичай добре інсольовані, тому вони високопродуктивні та багаті на біорізноманіття.

Коралові рифи. Це тверді вапнякові структури, які утворюються мертвими залишками колоніальних коралових поліпів. Вони здебільшого зустрічаються в прибережних мілководних районах, де вода тепла, прозора і отримує достатньо сонячного світла. Тут знаходять притулок різні види водних організмів. Коралові рифи вважаються тропічним лісом океану, оскільки вони є домом для більшості морського біорізноманіття (вони є справжніми «легенями» Землі).

Коралові рифи дуже постраждали від тралення, забруднення та підкислення води, зокрема, з 1950-х років втрачено понад 50% коралових рифів. Досі багато рифів у всьому світі зазнають серйозного антропогенного тиску.

Бентосні системи (прісноводні та морські). Бентосна або придонна зона розташована на дні водойми. Придонна зона починається від берега і простягається до найглибшої частини водойми. Чим більша глибина, тим нижчі температура й освітленість та вищий тиск води. Такі умови не є оптимальними для більшості риб, проте певні пристосовані види тут зустрічаються.

Більшість організмів, які мешкають у цій зоні, які називаються бентосом, є детритоїдними. Основним джерелом енергії для них є мертва органічна речовина. Вони завершують водний харчовий ланцюг і переробку поживних речовин, що сприяє виживанню гідробіонтів у верхніх шарах води.

2. Зв'язок між водними і наземними екосистемами

Водні та наземні екосистеми взаємопов'язані різними екологічними процесами, які забезпечують функціонування екосистем планети.

Кругообіг води. Вода випаровується з поверхні океанів, озер і річок, утворює хмари, а потім випадає у вигляді опадів на сушу. Основним джерелом прісної води є атмосферні опади. Краплі води, що випали під час дощу, здатні поглинати з повітря

іони кислот, леткі хімічні речовини та дрібні тверді частинки природного та антропогенного походження.

Дощова вода потім або випаровується, або стає поверхневим стоком, або просочується в ґрунт, перетворюючись на ґрунтову вологу чи ґрунтову воду. Зливовий стік розчиняє і транспортує мінеральні та органічні речовини з поверхні землі у поверхневі води в розчиненому стані, або у вигляді суспензії. Наприклад, завислі речовини потрапляють у водойми переважно у результаті ерозії, якій сприяють недостатній рослинний покрив водозбору, розораний ґрунт, сильні опади та круті схили.

Фактори, що сприяють розчиненню мінералів зливовим стоком, є висока температура, відносно розчинні породи та тривалий час контакту з поверхнею водозбору.

Дощовий стік потрапляє в струмки, стави та озера, де турбулентність і швидкість зменшуються, сприяючи осіданню завислих речовин. Час утримання води збільшується, коли вона тече вниз за течією, що дає більше часу для розчинення мінералів, концентрації розчинених речовин шляхом випаровування та біологічного впливу на якість води. Ця вода підтримує наземні екосистеми, забезпечуючи їх вологою.

Річки впадають в естуарії, де змішуються з морською водою. У лиманах на якість води впливають об'єм притоку прісної води, приливна дія та швидкість змиву в море. Океан утримує величезний об'єм води тривалий час; її якість, як правило, стабільна.

Частина води, що проходить по поверхні суші, просочується, поки не досягне водонепроникного шару та затримається в утвореннях, які називаються водоносними горизонтами. Ця вода зазвичай втрачає розчинений кисень і перенасичується вуглекислим газом під час проходження через кореневу зону. Більшість підземних вод перебувають у тісному контакті з мінералами в підземних геологічних утвореннях протягом тривалого часу, від місяців до еонів (Boyd & Tucker, 2019). У водоносних горизонтах сприятливі умови для розчинення мінералів, і головним фактором, що визначає склад підземних вод, є розчинність породи у пластах.

Кругообіг біогенних речовин. Між водним і наземним середовищем відбувається кругообіг таких елементів як азот і фосфор. Дощова вода може вимивати речовини, у т.ч. внесені на поля мінеральні та органічні добрива, з ґрунту в річки та океани, впливаючи на баланс поживних речовин у водних екосистемах. Так само водні організми беруть участь у кругообігу речовин, коли вони гинуть і розкладаються, вивільняючи поживні речовини назад у навколишнє середовище.

Зв'язок середовищ існування. Багато видів протягом свого життєвого циклу мешкають і у водних і в наземних екосистемах.

Біорізноманіття і здоров'я водних і наземних екосистем взаємопов'язані. Зміни в одній екосистемі можуть спричинити каскадні зміни в іншій.

Трофічні взаємозв'язки (трофічні сітки): багато організмів із водного середовища є джерелом їжі для наземних хижаків, і навпаки.

Регулювання клімату: як водні, так і наземні екосистеми відіграють певну роль у регулюванні клімату. Ліси поглинають вуглекислий газ за допомогою фотосинтезу, допомагаючи пом'якшити кліматичні зміни. Водні екосистеми, зокрема океани, відіграють вирішальну роль у регулюванні глобальних кліматичних моделей через такі процеси, як поглинання тепла та вуглецю.

3. Біологія риб. Пристосування риб до середовища існування

Розглядаючи *морфологію риб*, можна помітити, що вони демонструють дивовижне розмаїття форм (Brönmark & Hansson, 2005), але основні чотири типи зображені на рис . 1.



Веретено-
подібна



Стиснута
з боків



Стиснута
дорсовентрально



Вугро-
подібна

Рис. 1. Морфологічні типи риб (за Stoskopf, 2010)

Форма тіла риб є результатом природного добору, де покращення здатності до пошуку їжі є одним з найважливіших напрямків. Відповідно, залежно від харчових звичок виду, форми тіла риб можна розділити на три категорії (наприклад, див. Webb 1984).

- 1) Риби, які харчуються здобиччю, яка розсіяна у товщі води; вони змушені витратити багато часу та енергії на те, щоб її знайти. Вони мають обтічне веретеноподібне тіло, щоб мінімізувати опір води (наприклад, лососеві або зоопланктоїдні коропоподібні).
- 2) Хижаки, які полюють із засідки, наприклад, щука; вони мають великий хвостовий плавець і довге, тонке і гнучке стрілоподібне тіло, що робить їх здатними до значного прискорення, відповідно зменшуючи ймовірність втечі жертви.
- 3) Риби, які харчуються здобиччю з низькою здатністю до втечі в середовищі з високою структурною складністю та які потребують високої маневреності. Ці риби (наприклад, сонячний окунь з роду *Lepomis*) зазвичай мають стиснуте з боків тіло і добре розвинені грудні плавці.

Багато видів риб є універсалами, які харчуються різноманітними видами корму або змінюють свій раціон і середовище проживання по мірі росту. Форма і положення рота також є пристосуванням до середовища існування. Риба, яка харчується у товщі води, зазвичай має кінцевий рот, тоді як риба, що харчується організмами, що живуть на дні, має рот, розташований з боку черева.

Деякі риби, такі як коропові та цихліди, мають спеціальні глоткові зуби, які використовуються для подрібнення та пережовування твердої здобичі, наприклад моллюсків. У коропових, які можуть бути дуже схожими за зовнішньою морфологією, форма глоткових зубів може використовуватися для визначення виду.

Прісноводні риби включають усі категорії консументів, від детритоїдних і трав'яїдних видів до первинних і вторинних

м'ясоїдних. Травоїдні риби можуть харчуватися мікроскопічними водоростями (фітопланктоном, перифітоном) або макрофітами.

До м'ясоїдних належать зоопланктоїдні риби, які живляться зоопланктоном, безхребетними, що мешкають на дні або на рослинах чи інших субстратах прибережної зони, а також іхтіофаги, які харчуються іншими рибами. Є також всеїдні риби, які харчуються доступним кормом.

Зазвичай риб ділять на три групи: круглороті, хрящові і кісткові риби, хоча круглороті не є рибами з точки зору біології, а рибоподібними тваринами. Вони мають багато спільного з рибами, але все ж вони відрізняються.

Зовнішні покриття, луска. Круглороті не мають луски, але їх шкіра вкрита великою кількістю слизу. У акул є шкірні «зуби», або плакоїдна луска. Кісткові риби мають різні види луски (ганоїдна, кісткова: циклоїдна, ктеноїдна).

Плавальний міхур. Плавальний міхур — це заповнений газом орган у дорсальній целомічній порожнині багатьох риб. Його основною функцією є підтримка плавучості, але також він бере участь у диханні, передачі звуку та сприйнятті коливань.

Не у всіх риб є плавальний міхур. Більшість кісткових риб мають плавальний міхур, але є винятки, такі як камбала та скумбрія. Для камбали відсутність плавального міхура не є великою проблемою, оскільки це донна риба і насправді багато не плаває. Інші види повинні постійно рухатися, щоб не затонути. Скумбрії настільки швидкі та маневрені плавці, що плавальний міхур не зміг би досить швидко пристосуватися до їх швидких вертикальних рухів. З іншого боку, акули не мають плавального міхура для забезпечення плавучості. Щоб не затонути, вони мають інше пристосування – їхня печінка містить велику кількість жиру, який має меншу густину, ніж морська вода. Міноги також не мають плавального міхура і центром регулювання їх плавучості також є печінка.

Органи нюху. Більшість кісткових риб мають 4 ніздрі, по дві з кожного боку голови. Вода входить через одну і виходить з іншої. Хрящові риби, такі як акули та скати, мають 2 ніздрі, кожна з яких має два отвори. Круглороті мають одну ніздрю.

Ніздрі риб призначені лише для відчуття запаху, а не для дихання, тобто не пов'язані із зябрами.

Розмноження. Більшість кісткових риб та круглоротих розмножуються шляхом зовнішнього запліднення; при цьому самці та самки викидають ікру та сперму у воду. Єдиний виняток становлять Іглицеві (Syngnathidae), наприклад, морський коник і риба-голка, у яких самка відкладає ікру в сумку самця, де відбувається запліднення. Про потомство завжди піклується самець – виношує ікру у спеціальній «виводковій сумці» – закритій камері, розташованій у хвостовому відділі.

Визначення віку кісткової риби. Отоліти, або «вушні камені», знаходяться в голові усіх кісткових риб. Ці білі камені можна знайти в черепі риби трохи нижче задньої частини мозку. Вони не прикріплені до черепа, а скоріше «плавають» під мозком усередині м'яких прозорих внутрішніх слухових проходів. У кожній риби є три пари отолітів.

Акули, кити і рак – парадокс Пето (англ. Peto's paradox). Збільшення складності, розміру та середньої тривалості життя, яке супроводжувало еволюцію хребетних, теоретично не могло відбуватися без проблем...

Більший організм → більша складність систем і тканин → більше клітин → більше клітинних поділів → більша ймовірність виникнення мутацій під час поділу клітини → більша ймовірність мати аномальні клітини → РАК

Парадокс Пето полягає в тому, що на видовому рівні захворюваність на рак не корелює з кількістю клітин у організмі. Наприклад, захворюваність на рак у людей набагато вища, ніж у китів, незважаючи на те, що у китів більше клітин, ніж у людей. Дослідження організму слонів і акул (а також літопис скам'янілостей) показали, що реальність суттєво відрізняється від передбачень, підтверджуючи парадокс.

Одним із факторів, який, імовірно, обмежує появу раку у великих організмів, є наявність більшої кількості або ефективніших генів «профілактики» раку, таких як ген білка p53, який регулює клітинний цикл і функціонує, як супресор

пухлин. Організм людини має одну копію цього гена, а у слонів – 20 копій. Кілька видів китів мають лише одну копію, але більш ефективну. Деякі акули мають 3 копії, як і кісткові риби.

Однак у межах одного виду оригінальна теорія, здається, справедлива. Дослідження показують кореляцію між захворюваністю на рак і зростом у людей (деякі дослідження показують, що на кожні 10 см зросту ризик раку може зрости на 20%), навіть після контролю ряду ризикових і соціально-економічних факторів. Еволюційні аспекти різних видів можуть сприяти варіаціям частоти раку, але все ще недостатньо досліджень, щоб довести це, і тому парадокс залишається невирішеним...

Риби є першими хребетними і являють собою величезний крок в еволюції, а також вони є першими тваринами, які розвинули адаптивну імунну систему (у класичній або історичній інтерпретації адаптивного імунітету).

Таким чином, будучи одними з найдавніших хребетних, вони мають спільне походження з іншими хребетними, включаючи ссавців. Вивчення імунної системи риб дає змогу зрозуміти еволюцію імунної відповіді різних видів.

Риби також є чудовими моделями для вивчення різноманітних предметів, таких як розвиток, таксономія, порівняльна анатомія та фізіологія, реакція на захворювання та багато інших. Не дивно, що рибка даніо (*Danio rerio*) є однією з найбільш вивчених і використовуваних моделей тварин у світі, яка має багато переваг порівняно з моделями безхребетних.

4. Імунна система риб і круглоротих

Вивчаючи здоров'я риб, ми зазвичай зосереджуємося на тканинах і органах, які забезпечують імунітет. Імунна система має вроджені та адаптивні компоненти. Вроджений імунітет присутній у всіх багатоклітинних тварин, імунні відповіді – запальні реакції та фагоцитоз (Alberts et al., 2002). Адаптивний компонент, з іншого боку, включає лімфатичні клітини, які можуть розрізнити специфічні «чужі» речовини за наявності «своїх». Реакція на сторонні речовини етимологічно описується

як запалення, тоді як відсутність реакції на власні речовини описується як імунітет. Два компоненти імунної системи створюють динамічне біотичне середовище, де «здоров'я» можна розглядати як фізичний стан, де «своє» в організмі імунологічно зберігається, а чужорідне усувається запальним та імунологічним шляхом. «Хвороба» може виникнути, коли чужорідне, не може бути усунено, або те, що є своїм, не зберігається (Turvey & Broide, 2010).

Від більш «складних» до «найпростіших». Первинні або центральні лімфоїдні органи – це органи, де зароджуються або диференціюються лімфоцити (Т-лімфоцити – у тимусі; В-лімфоцити – у кістковому мозку чотириногих, у бурсі Фабриціуса птахів, в різних органах у риб).

Вторинні або периферійні лімфоїдні органи – тут лімфоцити присутні у великій кількості, вони виконують функції розпізнавання антигенів і запуску імунної відповіді. Це такі органи, як селезінка та лімфатичні фолікули/вузли.

Лімфоїдні утворення, які утворюються в нелімфоїдній тканині, іноді називаються третинними лімфоїдними органами/структурами. Наприклад, асоційована зі слизовою оболонкою лімфоїдна тканина (англ. Mucosa-associated lymphoid tissue, MALTs).

Тимус добре розвинений у кісткових риб. Це парний орган, розташований на спині, латерально, над порожнинами очей, і його нелегко знайти без відповідного досвіду. Це внутрішньоепітеліальна тканина. Тимус виконує функцію виробництва та диференціації Т-клітин. Кісткових риб часто використовують для наукових досліджень тимуса, оскільки вони мають тільця Гассалья, подібно до людського організму.

Нирка. Парний орган, розташований уздовж дорсальної стінки порожнини тіла (іноді виглядає як один орган, коли він дуже щільний). Функціонує як первинний лімфоїдний орган (утворення клітин крові, диференціація В-лімфоцитів, подібно до кісткового мозку) і вторинний лімфоїдний орган (розвиток клітин пам'яті та плазматичних клітин).

Зовні нирка може виглядати однаково, але насправді в її структурі є відмінності. Передній відділ (головна нирка) з

мієлопоетичною та лімфопоетичною тканиною. Середній і задній відділи (екскреторна нирка) з клубочками фільтрації крові і каналцями (функції – реабсорбція та екскреція).

Селезінка. Еритропоетичний орган, що складається зі сполучнотканинної капсули, червоної і білої пульпи.

Червона пульпа: за об'ємом 70-80% селезінки, містить велику кількість клітин крові (тромбоцитів, гранулоцитів, моноцитів, еритроцитів) і плазми.

Біла пульпа: за об'ємом 20-30% селезінки, велика кількість імунних клітин, переважно Т- і В-лімфоцитів, а також антигенпрезентуючих клітин, таких як дендритні клітини та макрофаги (часто сильно пігментовані, утворюють меланомacroфагальні центри).

Меланомacroфагальні центри є в нирках і селезінці (і іноді в печінці) кісткових риб, акул і міксин (але не міноги), в основному поблизу капілярів або кровоносних судин. Накопичують такі пігменти, як ліпофусцин, меланін і гемосидерин. Відповідають за фільтрацію крові, очищення від залишків руйнування еритроцитів (еритрофагоцитоз або гемокатерез) – неімунологічна функція.

Місця імунної відповіді та/або формування імунологічної пам'яті. Місця розвитку В-клітин пам'яті та плазматичних клітин. Часто вважаються попередниками зародкових імунних центрів ссавців, але сумніви щодо цього в науковців залишаються.

Асоційовані з слизовою оболонкою лімфоїдні тканини (MALTs):

- GALT (gut-associated lymphoid tissue) – лімфоїдна тканина, пов'язана з кишечником;
- GIALT (gill-associated lymphoid tissue) – лімфоїдна тканина, пов'язана з зябрами
- SALT (skin-associated lymphoid tissue) – лімфоїдна тканина, пов'язана зі шкірою;
- NALT (nasal-associated lymphoid tissue) – назальна лімфоїдна тканина;

MALTs піддаються постійним загрозам, пов'язаним із зовнішнім середовищем, перебувають у постійному контакті з

антигенами бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів, будучи важливою першою лінією захисту організму.

Імунна система хрящових риб

У хрящових риб майже такі ж органи імунної системи, як і у кісткових, зокрема, тимус і селезінка мають схожу будову і функції. Але нирка у них не лімфоїдна, а виконує виключно видільну функцію. Крім того, вони мають інші ексклюзивні органи, наприклад, орган Лейдіга – характерна структура багатьох акул і скатів, яка розташована над і під стравоходом.

Також для імунної системи важливі кишковий спіральний клапан і ректальна залоза (входять до складу GALT). Разом із селезінкою вони виробляють еритроцити, а також виконують імунні (лімфопоетичні) функції.

Імунна система круглоротих

Імунна система круглоротих є важливим етапом в еволюції імунної системи хребетних, на базі якої розвивалися складніші системи у групах тварин, таких як риби, земноводні, плазуни, птахи і ссавці.

Круглороті – примітивніші тварини, які не мають кількох імунних органів:

селезінки немає;

тимуса немає, але його функція не відсутня повністю;

нирки мають функції, які подібні до кісткових риб (кровотворна, але обмежена лімфопоетична);

мають еквівалент кісткового мозку.

Тимоїди. Міноги та міксини не мають тимуса, який можна ідентифікувати. Однак у 2011 р. на кінцях зябрових ниток міног науковцями виявлені лімфоепітеліальні структури, де спостерігаються лімфоцити та відбувається експресія тимопоетичного гена – тимоїди (Vajoghli et al., 2011). Це вказує на те, що поява тимуса є еволюційним процесом у хребетних.

Міноги і міксини не мають справжньої адаптивної імунної системи, яка дозволяє створювати специфічні імунні відповіді на конкретні патогени. Їхня імунна система переважно базується на загальному захисті.

Ці особливості імунної системи круглоротих відображають їх еволюційний статус і допомагають зрозуміти, як розвивалася імунна система у хребетних тварин.

ТЕМА 3. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА. РОЗЧИНЕНИЙ КИСЕНЬ ТА ЗДОРОВ'Я РИБ

План

1. Хімічний склад і основні характеристики водного середовища.
2. Джерела та динаміка кисню у водному середовищі.
3. Причини виникнення гіпоксії.
4. Клінічні ознаки гіпоксії.
5. Перенасичення розчиненим киснем.

1. Хімічний склад і основні характеристики водного середовища

Хімічний склад поверхневих вод залежить від досягнутої рівноваги з фізичними, хімічними та біологічними характеристиками навколишнього середовища (Svobodová et al., 1993). Якість поверхневих вод дуже різна; кожна водойма чи водотік має різний гідрохімічний склад. Опади, які потрапляють на ґрунти над гранітами формують кислий стік, з м'якою водою і з низьким вмістом кальцію. Стік з торф'яних боліт, також буде кислим, особливо під час раптових дощів після тривалого сухого періоду. Вода з низьким рН (<5,0) розчиняє природні метали з ґрунту та гірських порід, особливо алюміній, а в деяких областях мідь, цинк і свинець. М'які води можуть бути прозорими або коричневими з різною кількістю розчинених гумінових речовин (Svobodová et al., 1993).

Дощ, що потрапляє на ґрунт, що вкриває крейду та вапняк, формує лужний стік, її жорсткість залежить від кількості розчиненого кальцію та бікарбонату, які вона містить.

Певною мірою якість поверхневих вод залежатиме від типу рослинності на поверхні водозбору, оскільки продукти розпаду рослин (як у випадку з торф'яними болотами,

згаданими вище) потрапляють у поверхневі води. Вода, що стікає з хвойних лісів, має тенденцію бути кислою.

Це приклади природних причин відмінностей у якості води (Svobodová et al., 1993).

Загалом, основні характеристики водного середовища, які мають значення для здоров'я екосистем – це вміст розчиненого кисню, прозорість, течія, температура, солоність тощо.

Кількість *розчиненого кисню* у воді є лімітуючим чинником водного середовища, який визначає ступінь та види органічного життя у водоймі. Риbam для виживання необхідний розчинений кисень, хоча їхня толерантність до низького вмісту кисню варіюється в різних видів. У крайніх випадках нестачі кисню деякі риби здатні заковтувати повітря з атмосфери. Водним рослинам доводиться утворювати особливу повітроносну тканину – аеренхіму, при цьому форма і розмір листя також можуть змінюватися. І навпаки, кисень згубний для багатьох видів анаеробних бактерій.

Від *прозорості води* залежить можливість фотосинтезу занурених водних рослин.

У природі не існує абсолютно нерухомої води, навіть у стоячих водоймах. *Течія, рух води* має величезне значення у житті гідробіонтів, оскільки впливає на їх поширення, вміст розчинених речовин, у т.ч. газів, зокрема, кисню. Рух води забезпечує притік до гідробіонтів одних речовин, наприклад, кисню, і відведення інших, зокрема кінцевих продуктів метаболізму. Швидка течія сприяє кращому омиванню зябер риб і дозволяє їм отримувати більше розчиненого кисню. Наприклад, в умовах повільної течії риби (коропові, окуневі, щукові та ін.) активно здійснюють дихальні рухи, в умовах пришвидшення течії дихальні рухи сповільнюються, а на дуже швидкій – риба стоїть у потоці води з трохи відкритим ротом і зябровими кришками, які взагалі припиняють рухатися.

Для багатьох водних тварин, які є переважно стенотермними, небезпечним є навіть невелике теплове забруднення.

Вміст поживних речовин у воді важливий для контролю чисельності водоростей. Відносний вміст азоту та фосфору,

зокрема нітратів і фосфатів, може фактично визначити, які види водоростей будуть домінувати. Водорості є важливим джерелом живлення для гідробіонтів-консументів, але якщо їх стає занадто багато, вони можуть спричинити скорочення чисельності риби внаслідок гниття відмерлої фітомаси. Надмірний розвиток водоростей у прибережних районах призводить до утворення зон гіпоксії (напр. мертва зона у Мексиканській затоці).

Солоність води також є лімітуючим фактором для гідробіонтів. Морські організми добре пристосовані до високої солоності, а більшість прісноводних організмів зовсім її не переносять. Загибель організму відбувається внаслідок фізіологічного стресу через різницю концентрації солей у водному середовищі та тілі риби, що критично підвищує або знижує осмотичний тиск. Проте є види зі спеціальним механізмом осмотичної регуляції, які здатні адаптуватися до змін солоності, наприклад лососеві, які мігрують на нерест в річки, а нагулюються в морі. Ступінь солоності в гирлі чи дельті річок, що впадають в озеро, море чи океан, є важливим фактором, що визначає тип водно-болотних угідь (прісні, солоні чи солонуваті) та пов'язані з ними види тварин. Греблі, побудовані вище за течією, можуть зменшити весняні паводки та зменшити наростання наносів і, отже, можуть призвести до проникнення солоної води у прибережні водно-болотні угіддя. Прісна вода, що використовується для зрошення і потім стікає у водні об'єкти, може поглинати солі з ґрунту, які шкідливі для прісноводних організмів.

2. Джерела і динаміка розчиненого кисню у водному середовищі

Концентрація кисню, розчиненого у воді, може бути виражена в мг на літр або у відсотках від величини насичення. Водне середовище містить незначну кількість розчиненого кисню – зазвичай не більше 10 мг/л. Концентрація розчиненого кисню зменшується з підвищенням температури і солоності води. Крім того, на вміст кисню впливає атмосферний тиск, або

висота водойми над рівнем моря. Отже, для встановлення рівноважної концентрації розчиненого кисню у воді і переведення значення концентрації з мг/л в % насичення і навпаки потрібно враховувати температуру води, атмосферний тиск і солоність води.

Кисень може надходити у воду в результаті дифузії атмосферного кисню, особливо там, де поверхня води турбулентна, і фотосинтезу водоростей та вищих водних рослин. Тому в поверхневому шарі води кисню значно більше ніж на глибині, а біля дна водойм можуть складатися анаеробні умови. Кисню мало в місцях густо заселених тваринами і гетеротрофними мікроорганізмами, які споживають кисень для дихання і аеробного розкладання органічних речовин.

Концентрація органічних речовин у воді з точки зору їх здатності поглинати кисень з води може бути виміряна за допомогою хімічного споживання кисню (ХСК, яке представляє теоретичний максимум) і біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб (БСК₅, яке представляє потенціал для бактеріального розкладання).

У ставках без механічних аераторів фотосинтез є найважливішим джерелом кисню, а також причиною багатьох добових змін якості води. Певна кількість водоростей у ставках бажана, тому що це збільшує виділення кисню і, таким чином, дозволяє збільшити кількість риби. Висока щільність посадки риби також призводить до зростання популяцій водоростей через зростання кількості поживних речовин для рослин, які виділяються з екскрементами риб.

Концентрація кисню найвища ввечері перед заходом сонця, оскільки виділення кисню рослинами відбувається протягом дня. Вночі рівень кисню знижується через припинення фотосинтезу. Оскільки дихання рослин і тварин (включаючи мікробну деградацію органічної речовини) відбувається безперервно, чиста втрата кисню відбувається вночі. Таким чином, рівень кисню знаходиться на найнижчому рівні безпосередньо перед сходом сонця.

В акваріумах, каналах та інших аквакультурних системах з високою щільністю посадки риб, фотосинтезу водоростей

недостатньо для підтримки високої біомаси. Отже, вміст кисню потрібно збільшувати або постійною механічною аерацією (акваріуми), або постійним потоком багатого киснем води через систему (лотки). У лотках зазвичай використовують поверхневі води з природного струмка чи озера, які зазвичай майже насичені киснем.

У господарствах важливо забезпечити аерацію вночі, коли в ставах виникає найбільший дефіцит кисню. Аерація може здійснюватися такими основними способами:

- використання повітряних або кисневих насосів,
- розпилення води в повітря у вигляді фонтану,
- збільшення надходження аерованої води.

3. Причини виникнення гіпоксії

Різні види риб мають різні вимоги до концентрації розчиненого кисню. Для лососевих оптимальна концентрація становить 8–10 мг/л, а якщо рівень опускається нижче 3 мг/л, у них починаються ознаки задухи. Коропові менш вимогливі; вони можуть розвиватися у воді, що містить 6–8 мг/л, і проявляти ознаки задухи лише тоді, коли концентрація кисню знижується до 1,5–2,0 мг/л.

Низький вміст кисню є звичним явищем у водоймах, особливо влітку, коли висока температура води знижує розчинність кисню, підвищує метаболізм гідробіонтів і посилює подальшу потребу в кисні.

Між вмістом кисню та метаболізмом у водоймі існує тісний зв'язок. Хоча для збільшення виробництва кисню у водоймі бажано мати водорості, занадто велика їх кількість може спричинити значні коливання концентрації розчиненого кисню, оскільки водорості є як основними його виробниками, так і споживачами в більшості водойм. Отже, велика нічна потреба в кисні може спричинити низький його вміст до сходу сонця.

Похмура погода знижує фотосинтез і таким чином зменшує чисте виробництво кисню (Tucker 1985).

Навіть у водоймах, де рівень кисню був задовільним протягом літа, коли рослини інтенсивно фотосинтезували, серйозна нестача кисню може виникнути восени, коли рослини починають гинути та розкладатися. Масова загибель водоростей може спричинити серйозне виснаження вмісту кисню, оскільки з одного боку припиняється фотосинтез і його утворення, а з іншого – значна кількість кисню використовується для розкладу біомаси відмерлих водоростей бактеріями.

Багато хімічних речовин, які використовуються для лікування хвороб риб (наприклад, сульфат міді), є альгіцидними. Ці засоби слід використовувати з особливою обережністю у водоймах, де багато водоростей.

Якщо взимку на ставку утворюється лід, кисень може поступово вичерпуватися, що призводить до аноксії. Найчастіше це відбувається наприкінці зими та ранньою весною у водоймах із постійним зимовим крижаним покривом. Лід і сніг перешкоджають поширенню кисню у ставок і блокують фотосинтез, тоді як дихання гідробіонтів продовжується, хоча і з низькою швидкістю метаболізму.

Багато факторів визначають, чи відбудеться задуха гідробіонтів, включаючи те, як довго зберігається крижаний покрив і кількість розкладених речовин у ставку. Неглибокі водойми більш чутливі через меншу загальну кількість кисню.

Найбільш очевидною причиною гіпоксії в закритих системах культивування з високою щільністю є несправність аераторів, що призводить до швидкого зниження рівня кисню. Це звичайний наслідок збою електропостачання та може спричинити гостру смерть у домашньому акваріумі чи іншій системі. Оскільки кисень може вимкатися лише на короткий час і живлення часто повертається до нормального після того, як риби загинули, акваріуміст не спостерігав за збоєм живлення, такі події необхідно діагностувати з історії. Вживання лише риб, які дихають повітрям (наприклад, соми кларіїди), є однією з підказок про те, що причиною може бути гостра гіпоксія.

Вночі акваріуми з великою кількістю рослин можуть стати гіпоксичними через дихання рослин. Однак це буває рідко, оскільки механічна аерація запобігає цій проблемі.

У той час як поверхнева вода з струмків або озер зазвичай добре насичена киснем, ґрунтова (колодязна або джерельна) вода зазвичай має низьку концентрацію розчиненого кисню та високий вміст інших газів; обидві причини можуть викликати гіпоксію. Сітки, які використовуються для утримання риби в клітках або садках, можуть забруднюватися, перешкоджаючи потоку води та зменшуючи надходження кисню.

Потреба в кисні зростає при вищій температурі: (наприклад, підвищення температури води з 10 до 20 °C подвоює потребу в кисні); більша біомаса риби на одиницю об'єму води може призвести до підвищеної активності і, таким чином, посиленого дихання в результаті перенаселеності (Svobodová et al., 1993).

Потреба в кисні на одиницю ваги риби значно знижується зі збільшенням індивідуальної ваги. У коропа це скорочення можна виразити такими співвідношеннями: одноліток = 1, дворічний короп = 0,5-0,7, товарний короп = 0,3-0,4. Значні відмінності потреби в кисні також виявлені для різних видів. Використовуючи коефіцієнт 1 для вираження потреби коропа в кисні, порівняльні значення для деяких інших видів такі: форель 2,83, пелядь 2,20, судак 1,76, плотва 1,51, осетер 1,50, окунь 1,46, лящ 1,41, щука 1,10, вугор 0,83 і лин 0,83 (Svobodová et al., 1993).

4. Клінічні ознаки гіпоксії

Дефіцит кисню викликає задуху і риба гине, залежно від потреби виду в кисні та меншою мірою – від швидкості адаптації. Гостра гіпоксія середовища визначається як швидке (протягом хвилин або годин) падіння концентрації розчиненого кисню до летального або майже летального рівня.

Риби, які перебувають у воді з дефіцитом кисню, не приймають корм, збираються біля поверхні води, хапають ротом повітря, збираються в місцях ставків, де рівень кисню вищий, не реагують на подразнення, і зрештою гинуть. Основні патолого-анатомічні зміни включають дуже блідий колір шкіри, скупчення синюшної крові в зябрах, злипання зябрових пластинок, дрібні крововиливи в передній частині очної

порожнини та на шкірі зябрових кришок. У більшості хижих риб рот спазматично відкривається, а зяброва кришка залишається відкритою (Svobodová et al., 1993).

Загальні ознаки поведінки включають млявість і скупчення риби біля поверхні води в акваріумі або ставку, де рівень кисню найвищий.

На фоні гіпоксії риби часто хворіють анорексією. Класичною ознакою асфіксії є агональна реакція з відкритим ротом і розширеною зябровою кришкою.

Хронічна гіпоксія середовища визначається як тривалий (доба або довше) субоптимальний рівень розчиненого кисню в аквакультурній системі. Хронічна гіпоксія не вбиває риб відразу, але викликає значний стрес.

Для оптимального росту та розмноження більшості риб необхідно щонайменше 5 мг/л розчиненого кисню. Нижче цього рівня споживання їжі зменшується та стає менш ефективним, а ріст сповільнюється. Вміст розчиненого кисню менше ніж 2 мг/л є дуже стресовим і може сприяти розвитку опортуністичних інфекцій у риб. Якщо вміст залишається нижче 1 мг/л протягом будь-якого періоду часу, більшість риб гине (Tucker 1985).

Багато тепловодних риб можуть тривалий час виживати в умовах концентрації кисню від 2 до 3 мг/л. З іншого боку, багато холодноводних видів, наприклад, лососеві, витримують лише 4-5 мг/л кисню протягом тривалого часу. У канального сома, який одужує після гострої гіпоксії, можуть розвинутися глибокі некротичні виразки.

6. Перенасичення розчиненим киснем

Шкода, заподіяна рибі занадто великою кількістю кисню, розчиненого у воді, зустрічається рідко. Однак це може статися, наприклад, коли рибу транспортують у поліетиленових мішках із повітряним простором, наповненим киснем. Критичний рівень вмісту кисню у воді становить 250-300% насичення повітря; риба може постраждати при більш високих значеннях. Зябра у таких уражених риб мають помітне світло-червоне забарвлення,

а кінці зябрових пластинок ламаються. Коли така риба використовується для зариблення водойм, вона може постраждати від вторинних грибкових інфекцій, і деяка кількість може загинути. Риба, яка адаптована до високих рівнів кисню, потребує поступової акліматизації до нормальних концентрацій. Описаний тут стан не слід плутати з перенасиченням води розчиненим газом, що може спричинити газову емболію.

Газопухирцева хвороба (газова емболія) – патологічний стан риб, що викликається закупоренням пухирцями газу дрібних кровоносних судин (переважно в зябрах). Ця хвороба виникає через надлишок у воді розчиненого кисню. Найчастіше проблема з'являється у літній період, коли рослини активно виділяють кисень і при цьому постійно проводиться аерація води. Хвороба зазвичай спостерігається в басейнах, акваріумах, невеликих дрібних ставках переважно у молоді риб (личинок і мальків), а також при перевезеннях риб із застосуванням аерації води. Вона може викликати масову загибель риб і завдавати значної шкоди.

ТЕМА 4. ТЕМПЕРАТУРА ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗДОРОВ'Я РИБ

План

1. Динаміка температури водного середовища.
2. Вплив коливань температури на риб.
3. Визначення температурного стресу.

1. Динаміка температури водного середовища

Вода має здатність зберігати тепло, і температура води у великих глибоких озерах часто відстає від зміни температури повітря. Проте рибницькі стави є відносно невеликими та мілкими, з високим відношенням площі поверхні до об'єму, і температура води зазвичай точно відповідає температурі повітря.

Завислі тверді частинки поглинають тепло, і поверхневі води каламутних водойм або ставів із високою біомасою фітопланктону стають теплішими, ніж у ставах із чистою водою.

Деякі системи аквакультури мають відносно стабільну температуру води. Наприклад, проточні канали можуть забезпечуватися водою з джерел з незначною добовою або сезонною зміною температури води. Рециркуляційні аквакультурні системи зазвичай розміщують у приміщенні, де можна ретельно контролювати температуру води.

Коливання температури води у природних і штучних водоймах і водотоках залежать від режиму надходження і поглинання сонячної енергії і можуть відбуватися в межах доби – це добові коливання, і далі – місячні, сезонні, річні і багаторічні. Зміни температури води по акваторії і глибині впродовж певного проміжку часу називають *температурним режимом водного об'єкту* (Романенко, 2001). Термічний режим водойми – це запас тепла, яке утримується масою води у водному об'єкті. Теплозапас – це кількість тепла, що закумуляована у водному об'єкті і перевищує її величину при температурі 0 °С. Для обчислення теплозапасу потрібно знати кількість води в об'єкті та її середньомісячну температуру (або за інший проміжок часу). Найбільший теплозапас мають водойми вкінці літа.

Завдяки сонячному випромінюванню вода на поверхні водного об'єкта нагрівається швидше, ніж на певній глибині. Густина води досягає максимуму при ~4 °С. Поверхнева вода стає легшою, коли вона нагрівається, і може стати набагато легшою, ніж вода на глибині. Якщо ці два шари не змішуються, це призводить до стану, який називається температурною (чи термічною) стратифікацією. Поверхневий шар – епілімніон, а глибший – гіполімніон; між ними знаходиться термоклин, де температура швидко змінюється з глибиною (рис. 2).

Термічна стратифікація відбувається в більшості непроточних водойм, глибина яких перевищує 2-3 м. Особливо схильні до стратифікації невеликі водойми, захищені від вітру.

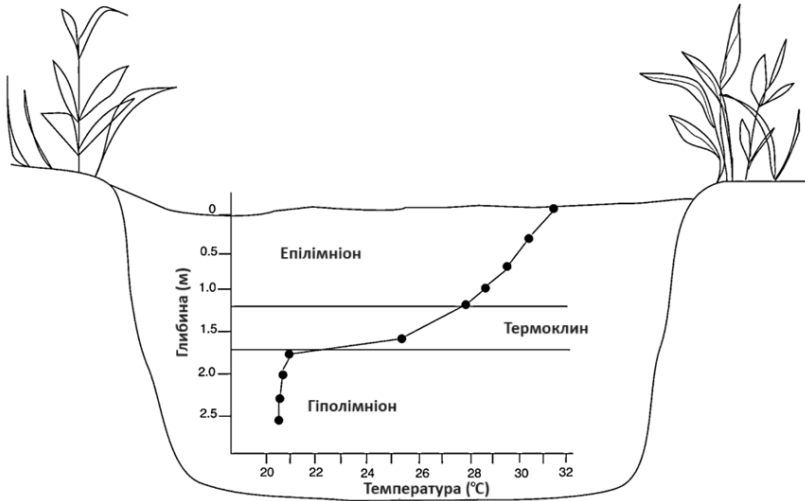


Рис. 2. Типові температурні зони в стратифікованій водоймі (за Noga, 2010)

Термічна стратифікація зберігається до тих пір, поки вітрове змішування не стане достатньо сильним, щоб подолати різницю густини між двома шарами, або поки поверхнева вода не охолоне.

У помірному кліматі водні об'єкти розшаровуються і дестратифікуються щорічно, але в тропіках деякі озера можуть розшаруватися протягом більш тривалого часу. Стави для аквакультури зазвичай неглибокі, і вони стратифікуються та дестратифікуються щодня, а не сезонно. Крім того, багато ставів для аквакультури механічно аеруються, а водні потоки, створювані аераторами, порушують термічну стратифікацію.

Температурна стратифікація сама по собі не є проблемою, проте вона спричиняє зміни якості води у водоймі, що може бути летальним для риб. Температурна стратифікація, або температурне розшарування спричинює розвиток двох різних температурних зон у водоймі; це відбувається, коли поверхнева вода ставу нагрівається, а нижня вода залишається холоднішою. Температурне розшарування є поширеною проблемою у

рибницьких ставах і водоймах, які часто мають глибину понад 1,5 м, але це рідко є проблемою в промислових ставах для вирощування сома, які зазвичай мають глибину менше 1,5 м.

Стратифікація швидше розвивається в спекотні спокійні літні дні, коли вода незначно перемішується через дію вітру. Коли різниця температур між поверхневою водою (епілімніон) і донною водою (гіполімніон) збільшується, водойма розшаровується на ці два шари води, які розділені металімніоном, або термоклинном, де температура води швидко змінюється від теплої температури поверхні до низької температури на дні. Тепла вода легша, тому термоклин діє як фізичний бар'єр між епілімніоном і гіполімніоном, і для перемішування води в ставку потрібна значна кількість енергії. Вміст розчиненого кисню в гіполімніоні ставу швидко виснажується, і потреба в кисні зростає, оскільки анаеробних реакцій недостатньо для утворення кінцевих продуктів розкладу метаболітів у водоймі. У цих відновних умовах можуть накопичуватися токсичні речовини, такі як сірководень і метан.

Чим довше зберігається стратифікований стан, тим більша небезпека летального виснаження кисню та вивільнення токсинів, коли водойма остаточно перемішується. Погана погода (сильний вітер або холодний дощ), вилов риби або аерація можуть змішати стратифікований став. Крім того, стратифікований стан з часом перевернеться восени, коли температура води на поверхні знизиться.

Стратифікації можна запобігти, якщо іхтіолог-рибовод щотижня визначає профіль кисню в кожному ставку принаймні у двох місцях (Noga and Francis-Floyd 1991). Розчинений кисень та температура вимірюються з інтервалом 0,3 м від поверхні до дна. Якщо стратифікація присутня, як температура, так і вміст кисню будуть швидко змінюватися на термоклинні, і нижче цієї глибини може бути мало кисню. Будь-які ознаки стратифікації слід негайно виправляти за допомогою аерації. Раннє виявлення має важливе значення для запобігання загибелі риби.

2. Вплив коливань температури на риб

Риби пойкилотермні, тому температура дуже впливає на їхній метаболізм. Зниження температури води пригнічує імунну відповідь, це може частково пояснити, чому багато хвороб ставової риби найчастіше зустрічаються навесні та восени, коли коливання температури є найбільшими (Finn and Nielsen 1971, MacMillan 1985).

Завдяки високій теплоємності води діапазон коливань температури водного середовища рідко перевищує 1-35°C. Зміни температури водного середовища впливають на життєдіяльність риб. Відомо, що між середньорічною температурою води водного об'єкту і швидкістю росту риб (наприклад, коропа) існує пряма кореляція, яка зумовлена з одного боку пришвидшенням обміну речовин при підвищенні температури відповідно до закону Вант-Гоффа, а з іншого – залежністю від розвитку кормової бази (планктонних і бентосних водоростей та безхребетних), якому теж сприяє її підвищення.

Температура води має значний вплив на процеси життєдіяльності риб. Вона є одним з ключових абіотичних факторів, що безпосередньо або опосередковано впливає на живі організми. Залежно від характеру теплообміну з навколишнім середовищем, тварини поділяються на дві еколого-фізіологічні групи – *гомойотермні* і *пойкілотермні*. Для багатьох організмів, особливо пойкилотермних, температура може бути лімітуючим фактором, особливо в помірних і високих географічних широтах. Пойкілотермні – це тварини, які неспроможні підтримувати температуру свого тіла на певному рівні, тобто вона змінюється відповідно до температури навколишнього середовища. Їх часто називають холоднокровними. До цієї групи належать безхребетні, плазуни, земноводні, круглороті і риби. Вони можуть регулювати температуру свого тіла лише за допомогою певної поведінки, наприклад, переміщаючись в тінь або на сонце, або повертаючись таким чином, щоб поглинати більше або менше сонячного тепла.

Швидкість метаболізму риби тісно пов'язана з температурою води: чим вища температура води (чим ближче до оптимальних значень у межах норми), тим інтенсивніший метаболізм. Це узагальнення особливо стосується тепловодних риб. У холодноводних видів (лососеві, сиг, минь) метаболізм може відбуватися при порівняно низьких температурах, тоді як при високій температурі води, зазвичай вище 20 °С, вони стають менш активними і споживають менше корму.

Температура води також значно впливає на виникнення і перебіг ряду захворювань риб. Імунна система більшості видів риб працює оптимально при температурі води близько 15°C.

У своєму природному середовищі риби легко переносять сезонні зміни температури, напр. зниження до 0 °С взимку і підвищення до 20-30 °С (залежно від виду) влітку. Однак ці зміни не повинні бути різкими; *температурний шок* виникає, якщо рибу поміщають у нове середовище, де температура на 12°C холодніша або тепліша (на 8 °С у випадку лососевих), ніж вихідна вода. У цих умовах риба може загинути, проявляючи симптоми паралічу дихальних і серцевого м'язів. З молоддю проблеми можуть виникнути навіть там, де різниця температур становить лише 1,5–3°C. Якщо рибу нагодувати, а потім різко перевести у воду, холоднішу на 8°C і більше, у неї сповільнюються або припиняються процеси травлення. Їжа залишиться неперетравленою або наполовину перетравленою в травному тракті, а гази, що утворюються, можуть спричинити здуття кишечника риби, втрату рівноваги та, зрештою, смерть. Якщо короп отримує корм з високим вмістом азоту (наприклад, натуральну їжу або гранули з високим вмістом білка), різкий перехід у набагато холоднішу воду значно підвищить рівень аміачного азоту в сироватці крові, оскільки зниження швидкості метаболізму зменшує дифузію аміаку з зябра. Це може призвести до аутоінтоксикації аміаком і смерті.

Фізико-хімічні властивості води, які залежать від температури, мають виняткове значення для функціонування водних екосистем. Так, крига, що вкриває водойми взимку, ізолює глибші шари води від замерзання.

При різкому зниженні температури повітря замерзає лише поверхневий шар водойм, нижче за який температура води утримується на рівні плюсових значень. В той же час в неглибоких водоймах при лютих морозах може спостерігатися замерзання всієї товщі води до самого дна. У таких випадках риби і інші водні організми вмерзають в лід. Як правило, при цьому вони масово гинуть.

Бувають випадки, коли деякі риби, як, наприклад, карась, після нетривалого вмерзання і подальшого розморожування залишаються живими. Це відбувається завдяки тому, що навколо тіла риб утворюється невеликий шар води з підвищеною концентрацією солей. У цих умовах температура замерзання води нижча. При різкому зниженні метаболізму риб мінімальні концентрації кисню у воді дозволяють їм певний час знаходитися в стані анабіозу.

Технології контролю температури води в інтенсивній аквакультурі дозволяють підтримувати оптимальні умови, щоб тепловодні види риб могли повністю використовувати свій потенціал росту для досягнення максимального приросту ваги.

3. Визначення температурного стресу

Відомі стандартні діапазони температур водного середовища для окремих видів риб, які визначають температури для їх оптимального росту. Однак абсолютних температурних діапазонів для здоров'я чи виживання не існує, тому що стійкість до температури залежить від кількох факторів, включаючи температуру, до якої особина адаптована, солоність (для естуарних видів), період життя та репродуктивний статус. Також важлива швидкість зміни температури. Тому важко узагальнювати температурну стійкість, оскільки на неї впливає дуже багато факторів. Однак важливо знати про загальні температурні діапазони для видів, які вирощуються, та умови, які можуть на це впливати. Види помірною клімату часто переносять ширший діапазон температур, ніж тропічні риби або види холодної води (наприклад, лососеві).

Усі риби чутливі до різких змін температури. Більшість риб переносять різке зниження температури краще, ніж еквівалентне підвищення температури. Ймовірно, це пов'язано з фізіологічними змінами, які відбуваються з підвищенням температури: швидкість метаболізму (і, отже, споживання кисню) пропорційно збільшується з підвищенням температури. Однак при вищих температурах кисень розчиняється у воді гірше. Таким чином, гіпоксія може посилити гіпертермію. Крім того, викид гормону стресу збільшується з температурою. Імунній функції також може знадобитися час, щоб урівноважитись до вищої температури, тоді як патогенні організми можуть адаптуватися набагато швидше; це може пояснити, чому багато бактеріальних і паразитарних захворювань частіше зустрічаються навесні (Meyer 1978).

Оскільки риби – це холонокровні тварини, їх активність залежить від температури – при низьких температурах вони стають малоактивними і пригніченими. Риба, що знаходиться під дією субоптимальних температур, особливо вразлива до зараження сапролегніозом.

Гіпотермія. Риба, заселена за межі свого звичайного ареалу, може зазнати переохолодження. Наприклад, витривалу цихліду тилапію, часто заселяють влітку в субтропічних або помірних районах США, але тилапія зазвичай гине, коли температура сягає менше ніж 12 °C (Noga, 2010).

Гіпертермія може бути серйозною проблемою для лососевих, коли температура в деяких системах вирощування наближається до верхньої летальної межі (наприклад, влітку); це часто підвищує вразливість до інфекційних хвороб.

ТЕМА 5. СОЛОНІСТЬ І рН ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗДОРОВ'Я РИБ

План

1. Осморегуляція у риб.
2. Осмотичний стрес у риб.
3. рН водного середовища та його вплив на здоров'я риб.

1. Осморегуляція у риб

Прісноводні риби живуть в умовах, де концентрація солей у воді нижча, ніж у їхніх тілах. Це призводить до постійного поглинання води через їхні клітини за допомогою осмосу. Щоб уникнути надмірного обводнення і розбавлення тканинної рідини, вони активно виводять надлишок води через нирки і поглинають іони з навколишнього середовища.

Морські риби живуть в умовах, де концентрація солей у водному середовищі вища, ніж у внутрішньому середовищі організму. Це призводить до втрати води через осмос. Щоб уникнути зневоднення, вони п'ють морську воду і активно виводять надлишок солей через зябра і нирки.

Осморегуляція – це фізико-хімічні та фізіологічні процеси, які забезпечують підтримку водного та іонного балансу в організмі. Осморегуляція здійснюється шляхом надходження в організм і виділення з нього води і солей та розподілу води в організмі (Романенко, 2001).

Вважають, що гомеостатичними органами, які забезпечують баланс електролітів в організмі риб, є зябра, нирки, сечовий міхур і кишечник, а в акул і скатів – ректальна залоза (Stoskopf, 2010). Ці органи працюють злагоджено, підтримуючи стабільність електролітів в організмі морських і прісноводних риб. Крім того, акули та скати мають особливий механізм боротьби з осмотичним тиском морського середовища.

Адаптація риб до зміни солоності, або осморегуляція, є серйозним викликом для організму риб, оскільки вони знаходяться в прямому контакті з водою і постійно потребують компенсації пасивної втрати або поглинання води, залежно від середовища (Evans, 2008). Осморегуляція включає ряд фізіологічних процесів, які дозволяють рибі підтримувати водний та іонний баланс у змінних умовах.

Ось основні механізми цієї адаптації:

У морях і океанах концентрація солі у воді вища ніж в організмі гідробіонтів, морські організми гіпоосмотичні відносно морської води, тому їм загрожує зневоднення. Для попередження зневоднення *пойкілоосмотичні* гідробіонти

підвищують концентрацію солі в організмі, а *гомойосмотичні* мають непроникні покриття.

У *морських риб* основним фактором, що впливає на гомеостаз електролітів, є осмотична втрата води. У них кров гіпотонічна відносно середовища існування. Загальна тенденція полягає в тому, що організм морської риби зневоднюється, втрачаючи воду. Крім того, морська риба стикається з дифузійним надходженням солей із навколишнього середовища, що ще більше ускладнює проблему збалансованої гідратації.

Морська риба п'є багато води, а сечі утворює мало. Хоча вона не може поглинати воду безпосередньо з проковтнутої морської води, оскільки осмотичний градієнт має неправильний напрямок, морська риба може зменшити градієнт поглинання води в шлунку та кишечнику, дозволяючи іонам натрію та хлориду дифундувати в організм через епітеліальні оболонки стравоходу та шлунка. Це призводить до поглинання води, пов'язаної з сіллю, з проковтнутої морської води. Це викликає дуже високе навантаження іонів натрію та хлориду в організмі. Щоб зменшити це надмірне навантаження, організмом витрачається значна кількість енергії.

Прісноводні організми гіперосмотичні відносно води річок та водойм. У цих риб кров гіпертонічна відносно середовища, тому для запобігання надмірному обводненню тканин, вони п'ють дуже мало води, але сечі виділяють багато.

У такий спосіб нирки риб забезпечують адаптацію до змін солоності води, змінюючи склад і об'єм сечі. У прісноводних умовах нирки риб виробляють велику кількість розбавленої сечі, щоб вивести надлишок води і запобігти надмірному обводненню тканин. У морських умовах нирки виробляють малу кількість концентрованої сечі, щоб зберегти воду.

Цікаво, що нирки не є основним місцем виведення електролітів. Морські риби екскретують іони переважно без участі нирок. *Зябра* є основним органом, що забезпечує осморегуляцію у риб. Клітини зябер містять спеціалізовані хлоридні клітини (клітини багаті на мітохондрії), які відіграють ключову роль в іонному транспорті – виводять надлишок іонів натрію та хлориду. Ці клітини у морських риб мають натрій-

калієву АТФ-азну активність у 4-10 разів більшу, ніж клітини зябрового епітелію прісноводних риб. Вважається, що це основний шлях виведення натрію у морських риб.

У прісній воді ці клітини активно поглинають іони натрію (Na^+) та хлору (Cl^-) з водного середовища, щоб компенсувати їх втрати. У морській воді хлоридні клітини виводять надлишок іонів натрію та хлору з організму, допомагаючи риbam позбутися солі.

Отже, в умовах зміни солоності водного середовища підтримання осмотичного тиску внутрішнього середовища організму забезпечується роботою спеціалізованих органів – зябер і нирок.

Адаптація на *клітинному рівні* здійснюється двома основними шляхами:

- зміною вмісту органічних осмотично активних речовин у цитоплазмі (амінокислот, сечовини, метиламіну тощо);
- зміною концентрації неорганічних іонів.

Прийомування риб до змін солоності на клітинному рівні є складним процесом, який включає регуляцію іонного транспорту, синтез осмолітів, гормональну та генетичну регуляцію. Ці механізми працюють разом, щоб забезпечити підтримку водного та іонного балансу, що є критичним для виживання риб у різних середовищах.

Осморегуляція на клітинному рівні здійснюється завдяки кільком механізмам підтримки осмотичного балансу.

1) *Діяльність іонних насосів і каналів.* Активний транспорт іонів через мембрани клітин здійснюється за допомогою іонних насосів (наприклад, Na^+/K^+ -АТФаза) та каналів. Ці насоси і канали регулюють вхід і вихід іонів, що дозволяє підтримувати необхідний іонний баланс.

2) *Аквапорини (водні канали)* – білки, які інтегровані в клітинну мембрану і формують канали, які забезпечують пасивний транспорт води в клітину та з неї. Вони допомагають регулювати об'єм і внутрішній тиск клітин у відповідь на зміни осмотичного тиску. Аквапорини присутні в усіх організмах. Аквапорини в риб (у європейського вугра *Anguilla anguilla*) були вперше виявлені в 2000 році (Cutler & Cramb, 2000). Було

з'ясовано, що вони є в шкірі, зябрах, кишечнику та нирках.

3) *Синтез та накопичення осмолітів.* Осмоліти – це низькомолекулярні органічні молекули, які допомагають клітинам підтримувати осмотичний баланс без порушення перебігу біохімічних процесів. Вони відіграють важливу роль у регуляції осмотичного тиску та підтримці клітинного гомеостазу в різних організмах у відповідь на стресові фактори довкілля (Yancey, 2005).

До групи осмолітів належать поліюли, моносахариди, амінокислоти, метиламін, сечовина тощо. Ці речовини накопичуються в клітинах у відповідь на *гіперосмотичний стрес* (високу солоність) і допомагають зберігати їх об'єм та функції. Осмоліти присутні в клітинах риб для захисту від осмотичного тиску води. Оскільки концентрація осмоліту в клітинах лінійно змінюється залежно від тиску і, отже, глибини, науковці використали осмоліти для розрахунку максимальної глибини, на якій риба може вижити (Yancey et al., 2014).

4) *Гормональна регуляція.* Гормони відіграють важливу роль у регулюванні процесів осморегуляції. Гормони мають вирішальне значення для фізіологічних змін, необхідних для іонного гомеостазу під час переміщення риб між прісною та морською водою.

Однією з перших виявлених наукою функцій *пролактину* в організмі кісткових риб була його роль у поглинанні іонів (Pickford and Phillips, 1959). Пролактин важливий для акліматизації до прісної води за допомогою регуляції проникності іонів та води в зябрах, кишечнику та нирках. У прісноводних видів пролактин допомагає утримувати іони і знижувати проникність шкіри для води.

Кортикостероїди регулюють функцію зябер, нирок та інших органів, допомагаючи риbam адаптуватися до змін солоності. *Кортизол* сприяє акліматизації до морської води за допомогою диференціації хлоридних клітин у зябрах. Кортизол також сприяє поглинанню іонів і може взаємодіяти з пролактином під час акліматизації до прісної води.

Гормон росту (інсуліноподібний фактор росту I) також важливий для акліматизації до морської води та діє у синергії з

кортизолом. Сміт (1956) був першим, хто зауважив, що обробка гормоном росту може збільшити здатність риби (струмкової форелі, *Salmo trutta*) переносити вплив морської води. Пізніше було встановлено, що цей ефект пояснюється здатністю гормону росту збільшувати кількість і розмір зябрових хлоридних клітин, Na^+ , K^+ -АТФази та котранспортера Na^+ , K^+ , 2Cl^- (NKCC), транспортерів іонів, задіяних у секреції солі. У багатьох видів риб гормон росту сприяє акліматизації до морської води, пролактин сприяє акліматизації до прісної води, а кортизол взаємодіє з обома гормонами, таким чином, виконуючи подвійну осморегуляторну функцію (McCormick, 2011).

5) Генетична регуляція. Зміни в експресії генів іонних транспортерів дозволяють риbam адаптуватися до змін солоності. При змінах солоності активується або пригнічується експресія генів, що кодують іонні насоси, канали та інші білки, які беруть участь в осморегуляції.

3. Осмотичний стрес у риб

Осмотичний стрес (ОС) виникає, коли організм риби зазнає впливу зміни концентрації солей у водному середовищі, що призводить до дисбалансу води та іонів у його клітинах та тканинах. Це може статися при переході риб з прісної води до солоної або навпаки.

Наслідки ОС для організму риб наступні:

1. Фізіологічні порушення: ОС може призвести до порушення нормальної роботи клітин і тканин, зокрема нервової і м'язової систем.
2. Зневоднення або навпаки – надмірна гідратація: організм морської риби може зневоднюватися, якщо він не здатний ефективно регулювати водний баланс, а прісноводної риби може зазнати надмірної гідратації.
3. ОС може негативно вплинути на ріст і розмноження риб, знижуючи їх життєздатність і репродуктивні можливості. Висока солоність може впливати на здатність до нересту та виживання личинок.

4. Зниження імунітету – постійний ОС може ослабити імунну систему риб, роблячи їх більш вразливими до хвороб.

Приклади осмотичного стресу можна спостерігати у прохідних видів риб, які переходять для нересту з прісної води у морську або навпаки. *Анадромні* види – наприклад, лосось, і *катадромні*, такі як вугор.

Для подолання ОС в організмі риб розвинулися складні осморегуляторні механізми, що дозволяють їм виживати і процвітати в різних за солоністю середовищах. Але для більшості видів різкі зміни солоності є стресовими і можуть призвести до смерті. Вони також можуть призвести до структурних змін в екосистемах, впливаючи на доступність кормів та місць для життя риб. Це може спричинити зменшення популяцій або зміни в структурі угруповань риб.

Деякі солі можуть бути токсичними для риб при високих концентраціях. Наприклад, навіть кухонна сіль хлорид натрію у високих концентраціях може бути шкідливим для гідробіонтів.

Загалом, вплив підвищеної солоності на організм риб залежить від виду, ступеню і швидкості зміни солоності, а також від інших екологічних факторів.

4. рН водного середовища та його вплив на здоров'я риб

Риби відрізняються за оптимальним діапазоном рН. Рибогосподарські нормативи рН – 6,5–8,5 (Романенко, 2001) – це оптимальний діапазон рН для риби. Значення за межами цього діапазону викликають стрес. Рівень рН 11,0 є смертельним (Swingle 1961; Tucker 1985). Однак це широкий діапазон. Цей діапазон зазвичай вважається задовільним для лососевих, каналного сома та більшості інших прісноводних риб. Хоча деякі прісноводні акваріумні риби (зазвичай, «витривалі» види, які найчастіше продаються в зоомагазинах) можуть добре жити в межах усього цього діапазону, більшість з них почуваються значно краще, якщо утримувати їх у меншому діапазоні. Багато прісноводних акваріумних риб походять із погано буферизованої води з високим вмістом дубильних речовин або інших органічних кислот (наприклад, басейн річки

Амазонка), тому найкраще живуть у нейтральних або злегка кислих водах (рН ~ 6,5–6,8). Винятки включають цихліди африканських озер і солонуватоводні риби (наприклад, молінезії, гуппі, мечохвости) найкраще почуваються у жорсткій (> 100 мг/л), слаболужній (рН 7,6–8,0) воді.

Морським акваріумним риbam потрібен стабільний лужний рН. Допустимий рН для морських акваріумів зазвичай становить 7,8-8,4 (Мое, 1992). Оптимальні межі набагато вужчі, а рН найкраще підтримувати між 8,1 і 8,3.

Риби, які звикли до відносно низького рН, можуть пережити падіння рН краще, ніж ті ж види, які утримуються при вищому рН. Риби, які постійно піддаються значним коливанням рН (наприклад, у ставах), краще витримують різкі зміни рН, ніж риби, які утримуються в більш стабільних умовах (наприклад, у звичайному акваріумі).

Значення рН понад 9,2 і нижче 4,8 можуть бути летальними для лососевих, таких як струмкова і райдужна форель. Для коропових, наприклад коропа і лина, значення рН вище 10,8 і нижче 5,0 можуть бути смертельними (Svobodová et al., 1993). Отже, лососеві, у порівнянні з короповими, більш вразливі до високого і більш стійкі до низького рівня рН.

Зміщення рН у лужний бік найчастіше відбувається у евтрофних водоймах влітку внаслідок активного фотосинтезу рослин, «цвітіння» води, як, наприклад у водосховищі Басів Кут на річці Устя. Рослини поглинають вуглекислий газ з води, це впливає на її буферні властивості, і таким чином рН може піднятися до 9,0-10,0 і навіть вище. Забруднення стічними водами з вмістом кислотних і лужних речовин теж впливає на рН водних об'єктів.

Основні джерела води з низьким рівнем рН. Більшість ґрунтової (колодязної або джерельної) води містить розчинені карбонати та вуглекислий газ, а рН від 5 до 8. Ґрунтова вода, яка контактує з силікатними мінералами, погано буферизована і зазвичай має низький рН і велику кількість CO₂ порівняно з ґрунтовою водою з карбонатного субстрату, наприклад, вапняку, який, таким чином, добре буферизований.

У ставках рН залежить від типу ґрунту. Кислі сульфатні ґрунти можуть мати рН менше 4 через окислення сульфїду до сірчаної кислоти (Boyd 1990), що робить їх непридатними для вирощування риби, якщо вони не нейтралізовані. Води, на які впливають кислотні дощі або які дрениують кислі ґрунти, можуть мати низький рН (Callinan та ін. 2005). Це може бути проблемою в проточних аквакультурних системах після дощу, коли велика кількість кислоти вимивається в води. Останнє є проблемою на форелевих фермах на сході США.

На Українському Поліссі низький рівень рН водного середовища найчастіше спостерігається навесні, коли у водойми надходить підкислена вода внаслідок танення снігу на торфових болотах.

Недостатньо затверділі силіконові акваріумні герметики виділяють оцтову кислоту.

Вторинні джерела води з низьким рівнем рН. Кислоти утворюються у результаті метаболічної активності риб та інших водних організмів. У закритій системі, такій як акваріум або ставок, ці кислоти мають тенденцію поступово знижувати рН. Якщо заміна води не виконується регулярно або якщо рН не регулюється іншим чином, він може знизитися (наприклад, до рН 5 у прісноводному акваріумі). рН нижче 5,5 є дуже стресовим для риб; якщо рН опускається ще нижче – це смертельно. Гострий вплив на рибу такого низького рН (наприклад, додавання нової риби в такий акваріум) може бути фатальним.

Буферна ємність і рН. Бікарбонатно-карбонатна буферна система є основним модератором рН у водних екосистемах. Лужність – це буферна здатність води, яка вимірюється кількістю присутнього бікарбонату (HCO_3^-) та/або вуглецю (CO_3^{2-}). Лужність зазвичай виражається в мг/л еквівалентів карбонату кальцію. Таким чином, вода з високою лужністю протистоїть зміні рН від кислот, які утворюються в результаті дихання водних організмів (тобто CO_2) та інших метаболітів.

Низький рН найбільш поширений у водах із низькою лужністю (тобто менше ніж 50 мг/л у вигляді CaCO_3), оскільки чим нижча лужність, тим менша буферна здатність води та її

здатність буферизувати утворення кислоти. Однак за достатньо часу рН може впасти навіть у сильно буферизованих водах, таких як морська вода. На рН ставка впливає не лише кількість присутнього бікарбонату, але й фотосинтез. У процесі фотосинтезу рослини використовують CO_2 , підвищуючи рН і спричиняючи його пік до заходу сонця.

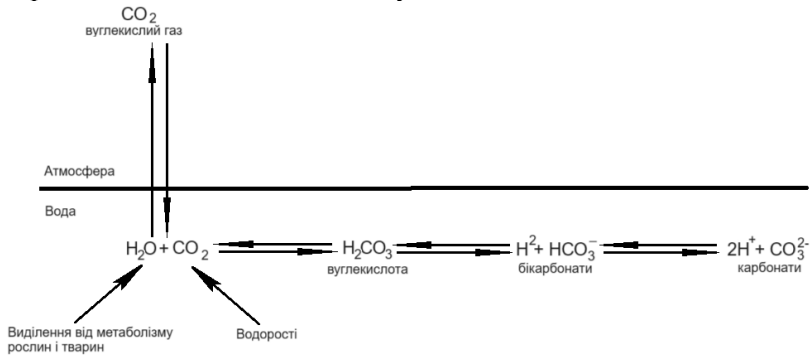


Рис.3. Бікарбонатно-карбонатна буферна система (Noga, 2010)

Вночі припинення фотосинтезу призводить до накопичення CO_2 , спричиняючи падіння рН. У деяких водоймах аквакультури рН щодня змінюється від 6,5 до 9,0 (Boyd 1979). Добові коливання рН також можуть відбуватися в прісноводному акваріумі з великою кількістю рослин. У водах з низькою лужністю рН може значно знизитися, коли вода проходить через проточну систему, переважно через метаболізм риб. Таким чином, рН найвищий на вході і найнижчий на виході з системи.

рН. Вода поверхневих водних об'єктів Рівненщини переважно має слабколужну реакцію в межах рибогосподарських нормативів щодо показника рН. Лише в окремих пунктах річок Горинь і Бунів, а також в озерах північної частини регіону спостерігається незначне перевищення (за даними попередніх років). Найвище значення рН зафіксовано на р. Бунів у пункті нижче скиду з ОС ПрАТ

«Рокитнівський склозавод» у 2008 році – 11,03; у середньому ж значення рН на цій ділянці річки становило 8,3.

Найнижчі значення рН має вода озер Чорне та Біле Зарічненського району – 5,7 і 6,03 відповідно (за даними 2009 р.), а також озера Сомине Сарненського району – 6,06 (за даними 2013 р.), що не відповідає вимогам для водних об'єктів рибогосподарського призначення. Проте такі низькі значення зумовлені природними, а не антропогенними факторами. Підкислення води озер є наслідком проникненням вологи із довколишніх боліт зі значним вмістом органічних кислот.

У відповідь на збільшення або зменшення рН риба може виробляти підвищену кількість слизу на шкірі та на внутрішній поверхні зябрових кришок. Якщо зміни рН переходять допустимі межі, тканини риб пошкоджуються, виникають крововиливи у зябрах і у нижній частині тіла. Надлишок слизу, який часто містить кров, можна побачити при посмертному дослідженні шкіри та зябер. Слиз тьмяного кольору, водянистий.

рН води також впливає на токсичну дію ряду інших речовин, наприклад аміаку, сірководню, ціанідів і важких металів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. АНТРОПОГЕННІ ЗМІНИ ЯКОСТІ ВОД ТА ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ НА ЗДОРОВ'Я РИБ

ТЕМА 6. ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

План

1. Основні причини забруднення води.
2. Точкові та дифузні джерела забруднення вод.
3. Класифікації токсичних забрудників довкілля.
4. Забруднення біогенними речовинами (евтрофікація).
5. Токсини фітопланктону.
6. Органічне забруднення води.

1. Основні причини забруднення води

Забруднення води відбувається тоді, коли шкідливі речовини (переважно, хімічні речовини або мікроорганізми) забруднюють струмок, річку, озеро, океан, водоносний горизонт або іншу водойму, погіршують якість води та роблять її небезпечною або токсичною для людини чи інших живих організмів. Забруднення може мати різне походження та причини, але незмінно найпроблемніші джерела пов'язані з діяльністю людини (рис. 4).

Сільськогосподарська діяльність. Аграрний сектор є найбільшим споживачем світових ресурсів прісної води, причому сільське господарство і тваринництво використовують близько 70% запасів поверхневих вод Землі. Інтенсивне тваринництво та рослинництво з використанням добрив і пестицидів для орних культур, є серйозним забруднювачем поверхневих вод та основним джерелом забруднення естуарій і підземних вод. Органічні відходи від тваринницьких ферм можуть скидатися у вигляді неочищених або очищених стічних вод. Щоразу, коли йде дощ, добрива, пестициди та відходи тваринництва з ферм змиваються у поверхневі води, збагачуючи їх біогенними речовинами (див. евтрофікація) та патогенними організмами.

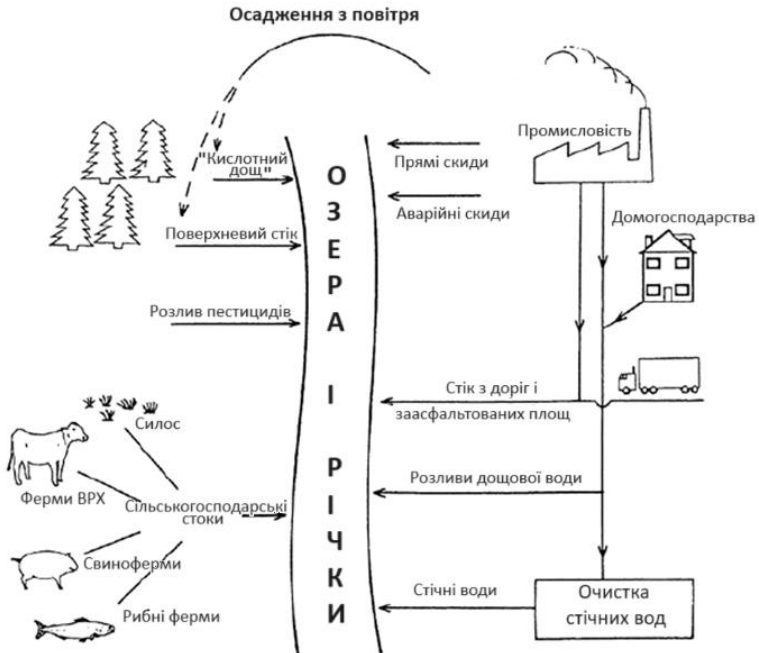


Рис. 4. Джерела техногенних надходжень у водне середовище (з Lloyd, 1992)

Рибальство та аквакультура. Рибальство має значний вплив не лише на види, що виловлюються, але й на інші види, які від нього залежать. Методи рибальства часто є дуже руйнівними та забруднюють довкілля. Тралення піднімає відкладення з дна океану, що може спричинити оклюзію зябер, зниження оксигенації та навіть підняти відкладені патогени/важкі метали/забруднювачі. Відходи знарядь лову, зокрема виготовлені з пластику, створюють багато проблем для гідробіонтів.

Фарби для покриття човнів, які використовувалися для захисту корпусів від корозії та так званого «біологічного забруднення», часто були (деякі й досі є) токсичними та мали сильний вплив на дику природу та водні екосистеми.

Підприємства аквакультури часто скидають неочищені стічні води з поживними речовинами, хвороботворними мікроорганізмами та іншими забрудненнями.

Каналізація та стічні води. По суті будь-яка використана вода вважається стічними водами. Цей термін також включає зливові стоки, які виникають, коли опади переносять дорожні солі, нафту і нафтопродукти, хімікати та сміття з непроникних поверхонь у водні екосистеми. За даними ООН, понад 80% стічних вод у світі повертаються у довілля без очищення чи повторного використання.

Забруднення атмосфери. Багато токсичних елементів потрапляють у воду з повітря, і в результаті водні маси, які можуть здаватися чистими, насправді забруднені та кислі. Явище особливо небезпечно під час дощів і відлиг. Дощ і сніг випадають із хмар, а на них впливають забруднюючі речовини в повітрі. Забруднення атмосфери також може суттєво вплинути на кругообіг води. Тверді частинки можуть зменшити кількість сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі, впливаючи на швидкість випаровування води та її переміщення в атмосферу, а також впливають на формування хмар і здатність переносити воду.

Шумове забруднення. Одними з основних джерел підводного шумового забруднення є морські судна, сейсмічні дослідження, які включають вибухові звуки в океані для картографування морського дна, ехолот, будівництво та підводні операції, такі як глибоководний видобуток корисних копалин, видобуток і переробка нафти та газу.

Багато водних тварин використовують звук, щоб знаходити здобич і партнерів, уникати хижаків, керувати переміщенням та визначати середовище проживання, а також щоб слухати та спілкуватися між собою. Шумове забруднення може заважати здатності морських тварин чути природні звуки в океані.

Нафта та нафтопродукти. Зазвичай ми відразу думаємо про великі розливи нафти, але це лише верхівка «нафтового айсберга». На розливи нафтових танкерів припадає лише 10%

нафти у водах у всьому світі, тоді як на регулярні операції судноплавства – як законні, так і нелегальні – приблизно третина. На автомобільну промисловість припадає переважна більшість нафтового забруднення гідросфери, причому нафта й бензин щодня капають із мільйонів автомобілів і потрапляють у наші води. Нафта також виділяється природним чином з-під дна океану через тріщини, відомі як протікання нафти (*англ. Petroleum seep*).

Пластмаси та пінополістирол. Щороку мільйони тонн пластику скидаються в океани, і тепер з'явився новий «острів» розміром майже з Австралію, що плаває у Тихому океані. Ось цитата з Вікіпедії: *«Велика тихоокеанська сміттева пляма (англ. Great Pacific Garbage Patch, англ. Eastern Garbage Patch, англ. Pacific Trash Vortex) – вододверть антропогенного сміття у північній частині Тихого океану. Розташована між 135°–155° західної довготи та 35°-42° північної широти. На цій ділянці сконцентровані надзвичайно щільні масиви пластику та інших відходів, занесених водами Північно-Тихоокеанської системи течій»*.

Антропогенний вплив на якість поверхневих вод також включає *видобуток корисних копалин*. Це збільшує площу поверхні порід, які зазнають дії атмосферних опадів, що вимивають з них мінеральні речовини, у т.ч. важкі метали.

Лісове господарство призводить до змивання завислих речовин з ділянок, на яких ведеться лісозаготівля. Особливо небезпечним цей напрям антропогенного впливу є у гірських місцевостях.

Наслідки для здоров'я людини. Широкий спектр хімічних забруднювачів – від важких металів до пестицидів і нітратних добрив, антибіотиків, а останнім часом і мікро- та нанопластику, – потрапляє в джерела водопостачання

Потрапивши всередину організму, ці токсичні речовини можуть спричинити низку проблем зі здоров'ям, таких як нейроендокринні порушення, проблеми з серцево-судинною системою, печінкою та нирками, порушення функції мозку, рак, а також різні проблеми з репродуктивним здоров'ям.

2. Точкові та дифузні джерела забруднення вод

Забруднення з *точкового джерела* відбувається із одного джерела. Прикладом є стічні води, що скидаються законно або незаконно виробником, нафтопереробним заводом або очисною спорудою, а також забруднення від каналізаційних систем, що протікають, розливи хімічних продуктів і нафти, а також незаконних скидів. Хоча забруднення з точкового джерела походить із певного місця, воно може вплинути на кілометри водотоків та океанів.

Дифузне (неточкове) джерело. Неточкове забруднення – це забруднення, що походить від дифузних джерел. Це сільськогосподарські або зливові стоки або сміття, яке зноситься у водні шляхи з поверхні землі. Неточкове забруднення є основною причиною забруднення води в усьому світі, але його важко регулювати, оскільки зазвичай немає єдиного ідентифікованого винуватця.

Транскордонне забруднення є результатом потрапляння забрудненої води з однієї країни у води іншої. Таке забруднення може бути наслідком аварії, наприклад розливу нафти, або потрапляння у річку промислових, сільськогосподарських чи комунальних стоків. Основні транскордонні річки України – Дніпро, Дністер та Дунай (рис. 5, табл. 1).

3. Класифікації токсичних забрудників довкілля

Існують багато різних класифікацій токсичних (отруйних) речовин. Як дослідили Дудник і Євтушенко (2013), за першою відомою класифікацією Донгерті (Dongherti, 1951) залежно від ступеня токсичності за LC_{50} (LC – *англ.* letal concentration, летальна концентрація; LC_{50} – концентрація токсичних речовин, яка викликає загибель 50 % піддослідних організмів протягом 24 год.) токсичні речовини розділяють на п'ять груп:

- високотоксичні – LC_{50} до 1 мг/л;
- сильно токсичні – $LC_{50} = 1-10$ мг/л;
- помірно токсичні – $LC_{50} = 10-100$ мг/л;
- слаботоксичні – LC_{50} понад 100 мг/л;

– низькотоксичні – LC₅₀ понад 1000 мг/л.

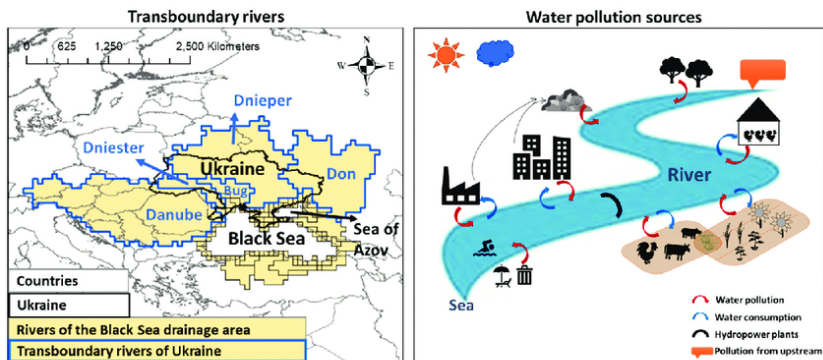


Рис. 5. Транскордонні річки України (за Strokal, 2021)

Таблиця 1.

Характеристика річок (за Strokal, 2021)

Річка	Протікає через країни	Гирло в країні	Впадає в море	Площа басейну (10 ³ км ²)
Дніпро	Україна, Білорусь, Росія	Україна	Чорне	510
Дністер	Україна, Республіка Молдова	Україна	Чорне	72
Дунай	Німеччина, Румунія, Австрія, Угорщина, Сербія, Болгарія, Хорватія, Словаччина, Україна	Румунія, Україна	Чорне	795
Дон	Росія і Україна	Росія	Азовське	436
Південний Буг	Україна	Україна	Чорне	63

До високотоксичних речовин (перша група) відносяться пестициди – ДДТ, пентахлорфенол, гексахлоран. До низько токсичних речовин (п'ята група) відносяться уротропін, борна кислота, хлористий кальцій (Дудник, Євтушенко, 2013).

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визначає чотири класи токсичності:

- клас I – a: надзвичайно небезпечні;
- клас I – b: дуже небезпечні;
- клас II: помірно небезпечні;

- клас III: незначно небезпечні.

Ця система заснована на визначенні LD₅₀ у щурів.

У системі класифікації Європейського Союзу, яка регулюється Директивою 67/548/ЕЕС, є вісім класів токсичності:

- клас I: дуже токсичні;
- клас II: токсичні;
- клас III: шкідливі;
- клас IV: їдкі;
- клас V: викликають подразнення;
- клас VI: сенсibiliзуючі;
- клас VII: канцерогенні;
- клас VIII: мутагенні.

Токсичні органічні і неорганічні речовини у водойми і водотоки можуть потрапляти зі стічними водами. Органічні забруднювачі у стічних водах у списку нижче (за Дудник, Євтушенко, 2013):

- первинні продукти тваринного походження (рештки, продукти життєдіяльності тварин, природні тваринні токсини);
 - первинні продукти рослинного походження (рештки відмерлих рослин, продукти життєдіяльності, токсини, що утворюються у процесі їх життєдіяльності – алкалоїди, глюкозиди тощо);
 - продукти термічної переробки твердого палива (кам'яного вугілля, торфу);
 - нафта, нафтопродукти і їх компоненти;
 - органічні кислоти;
 - кетони і спирти;
 - феноли;
 - органічні фарбники і їх компоненти;
 - поверхнево активні речовини (синтетичні миючі засоби);
 - пестициди (інсектициди, гербіциди, фунгіциди, нематоциди, зооциди, репеленти, хемостерилізатори, стимулятори й інгібітори росту рослин, дефоліанти тощо).
- Неорганічні забруднювачі у стічних водах:

- сірководень, сірчисті і сірчані сполуки;
- неорганічні кислоти і луги;
- мінеральні солі лужних і лужноземельних металів (хлориди, сульфати, нітрати, нітрити і т.д.);
- мінеральні солі важких металів;
- мінеральні зависі.

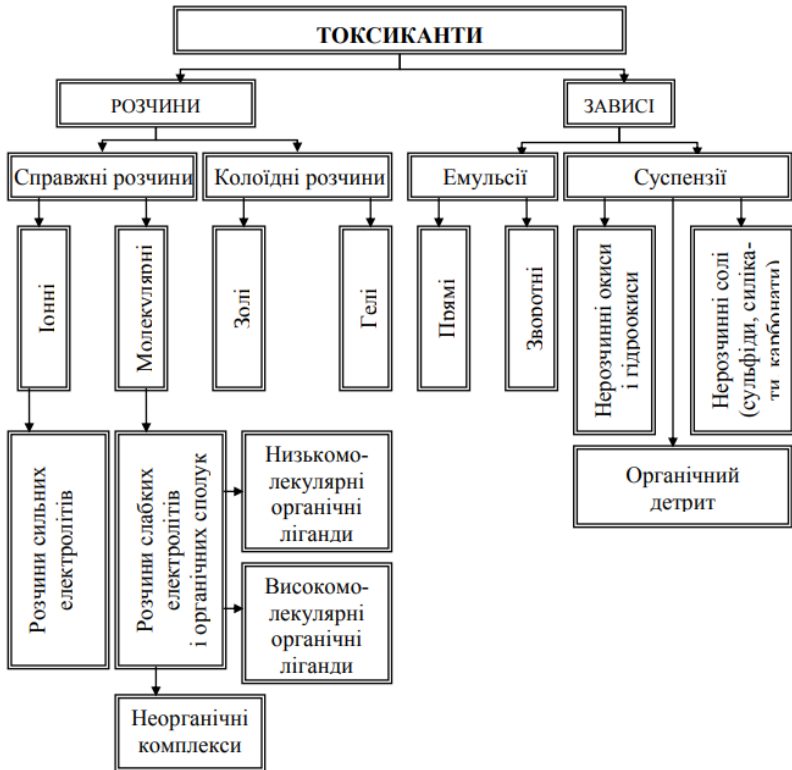


Рис. 6. Форми існування токсичних речовин у водному середовищі (за Дудник, Євтушенко, 2013)

4. Забруднення води біогенними речовинами (евтрофікація)

Евтрофікація вважається загрозою номер один для якості води в усьому світі, та в Україні зокрема. Виникає евтрофікація через надлишок поживних речовин у водному середовищі, переважно сполук азоту і фосфору. Вони можуть мати різне походження – виникають природним шляхом у результаті вивітрювання гірських порід і ґрунту, надходять з океану внаслідок змішування водних потоків, але частіше через діяльність людини (антропогенна евтрофікація). Причинами антропогенної евтрофікації є вимивання сполук азоту (N) і фосфору (P) з сільськогосподарських полів, надходження у водні об'єкти стоків від тваринницьких комплексів, господарсько-побутових і промислових стічних вод. Джерела біогенних речовин, які викликають евтрофікацію, численні та різноманітні. *Точкові джерела* – це, наприклад, промислові або побутові скиди стічних вод. Ці джерела легше виявити і знешкодити, ніж *дифузні джерела*, які, переважно, мають сільськогосподарське походження і пов'язані з використанням добрив. Через їх різноманітність, для знешкодження дифузних джерел забруднення потрібне глибше розуміння шляхів надходження біогенних речовин, а зниження їх концентрації у прісноводних екосистемах може значно відставати в часі від запровадження природоохоронних заходів (Scott, McCarthy, 2010).

Наслідками антропогенної евтрофікації є *погіршення якості води і стану водного середовища* – «цвітіння» води через масове розмноження ціанобактерій (синьо-зелених водоростей) (Hallegraeff, 1993; Codd et al., 2005). Токсичний «суп» із ціанобактерій блокує світло, необхідне для росту інших водних рослин. Коли ціанобактерії та водні рослини гинуть, вони розкладаються. У процесі розкладу фітомаси витрачається розчинений кисень, що призводить до зниження його концентрації. Це, у свою чергу, може призвести до загибелі багатьох водних тварин.

Ця проблема є причиною масової загибелі риби, погіршення смаку та запаху води, утворення канцерогенів під час хлорування питної води (Codd et al., 2005). Водорозчинні

токсини ціанобактерій впливають на функціонування печінки та центральної нервової системи людини, а в місцях водопою можуть спричинити загибель худоби (Dietrich et al., 2008).

Отже, евтрофікація є причиною зростання загроз для гідробіоти через брак кисню після відмирання і розкладання водних рослин, втрату біорізноманіття, зниження можливостей використання водних ресурсів для відпочинку, потреб промисловості, сільського господарства і питного водопостачання (Schindler & Vallentyne, 2008).

Економічні втрати. Окрім потенційної небезпеки для здоров'я населення та водних екосистем, існують фінансові втрати від евтрофікації, які можна підрахувати. Економічні втрати можуть бути пов'язані з соціальними, екологічними та політичними процесами. Підраховано, що для прісних водойм США економічні втрати у вигляді недоотриманих прибутків від рекреаційного водокористування, знецінення прибережної нерухомості, захисту видів, що знаходяться під загрозою зникнення й очищення питної води склали \$ 2,2 млрд на рік. Аналогічні оцінки в Англії та Уельсі дали цифру в 75–114 млн фунтів стерлінгів на рік (Pretty et al., 2003).

Підрахований розмір витрат на покращення екологічного стану може дуже варіювати у різних дослідників, наприклад, за оцінками J. E. Løvik (2008), для зменшення надходження фосфору в одне норвезьке озеро необхідно 110 млн євро. Важливість вирішення проблеми евтрофікації особливо загострюється в умовах глобальних змін клімату, деградації ґрунтів і погіршення умов виробництва сільськогосподарської продукції у XXI ст. (Hatfield et al., 2001).

5. Токсини фітопланктону

Зростання евтрофікації поверхневих вод може спричинити масовий розвиток фітопланктону та вищих водних рослин. «Цвітіння» води може спричинити підвищення рН води вище 10, а відмирання і подальше розкладання фітомаси може спричинити дефіцит кисню.

Крім того, деякі види водоростей виробляють токсини, які можуть впливати не тільки на рибу, а й на домашніх тварин і людину, якщо вода потрапляє в організм. До таких видів належать, зокрема, ціанобактерії родів *Microcystis*, *Aphanizomenon* і *Anabaena*.

Anabaena flos-aquae, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* – види ціанобактерій, які найпоширеніші у поверхневих водах України і найчастіше спричиняють «цвітіння» води. Токсини потрапляють у воду в період «цвітіння», особливо коли клітини ціанобактерій гинуть і розкладаються. Ці токсини можуть потрапляти в рибу через зябра і поверхню тіла; деякі також можуть бути проковтнуті з кормом.

Дія токсинів ціанобактерій на риб, полягає у збільшенні активності тіамінази та зниженні вмісту тіаміну в органах і тканинах; це призводить до дефіциту вітаміну В₁, який впливає на нормальне функціонування центральної нервової системи. Тіаміназа розщеплює тіамін дуже швидко і риби навіть не проявляють реакцій уникнення (Дудник, Євтушенко, 2013). Клінічними симптомами отруєння є ураження центральної нервової системи. Спочатку з'являється підвищена активність і дихання, потім некоординовані рухи; нарешті риба лягає на дно і гине. До основних патологоанатомічних ознак відносяться крововиливи на шкірі та зябрах, у внутрішніх органах (Svobodová et al., 1993).

Відомо, що мікроцистини, які продукують ціанобактерії роду *Microcystis* (зокрема *M. aeruginosa*), дуже токсичні для коловерток, дафній і циклопів, а риби їх здатні накопичувати. Крім того, мікроцистини стійкі до термічної обробки і навіть підвищують свою токсичність після кип'ятіння. Основною мішенню для цих токсинів є клітини печінки – гепатоцити.

Токсини *Anabaena flos-aquae* мають назву анатоксини. Дія анатоксину проявляється сильною початковою контрактурою з подальшим повним паралічем скелетної та дихальної мускулатури. Анатоксин – це потужний нейротоксин, стереоспецифічний антагоніст Н-холінорецепторів, який у високих дозах викликає смерть тварин впродовж 2-7 хв.

Механізм його дії полягає у пригніченні активності холінестерази і блокуванні нервово-м'язової передачі по деполяризуючому типу (Дудник, Євтушенко, 2013).

Ціанобактерії *Aphanisomenon flos-aquae* продукують термостабільні у кислому середовищі афантотоксини (неосакситоксин і сакситоксин). Афантотоксини за хімічною природою – похідні гуанідину, слабкі основи. Вони накопичуються всередині живих клітин і вивільнюються тільки після їх відмирання і лізису. Ці токсини блокують транспорт іонів Na^+ -каналу у мембранах клітин, відтак блокують активність нервових та м'язових тканин. Афантотоксини накопичуються в тілі молюсків-фільтраторів що несе небезпеку для тварин і людини, які споживають цих молюсків (Дудник, Євтушенко, 2013).

6. Органічне забруднення води

Важливим показником якості води є концентрація органічних речовин. Будь-який органічний матеріал під час розкладання споживає кисень. Там, де концентрація органічних речовин підвищена, вплив на концентрацію кисню істотний, і це може призвести до замору риби та інших гідробіонтів.

Отже, зниження вмісту розчиненого кисню і замори гідробіонтів у першу чергу пов'язані з органічним забрудненням. *Автохтонні* органічні речовини утворюються у самій водній екосистемі, переважно фітопланктоном і макрофітами в процесі фотосинтезу. Значна частка припадає також на детрит, який містить 4–5 % бактерій. Поверхневий стік виносить *алохтонні* органічні речовини у водні екосистеми з поверхні водозбору (Романенко, 2001). Крім того, одним із основних джерел підвищених концентрацій органічних хімічних компонентів є неочищені або недоочищені стічні води, які скидають безпосередньо у водотоки.

Вміст розчинених органічних речовин найчастіше вимірюється за допомогою тесту на біохімічне споживання кисню (БСК) або тесту на хімічне споживання кисню (ХСК). Для оцінки органічного забруднення водних об'єктів

використовується також метод біоіндикації – система сапробності (див. тему 9).

ТЕМА 7. ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ ТОКСИЧНИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЙОГО НАСЛІДКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я РИБ

План

1. Важкі метали: визначення та джерела забруднення.
2. Значення важких металів для здоров'я риб.
3. Регіональні гідрохімічні особливості.

1. Важкі метали: визначення та джерела забруднення

У переліку токсичних забруднюючих речовин 1–2 класів небезпеки більше половини складають важкі метали (ВМ) та їх сполуки, які здійснюють канцерогенну, тератогенну, мутагенну й патогенну дію навіть при низьких концентраціях, мають біологічну активність, високу технофільність і відсутність природних процесів деструкції. Погіршення якості води відбувається через *токсичне забруднення*.

До групи ВМ відносяться елементи з молекулярною масою понад 50 атомних одиниць. Група ВМ багато в чому співпадає з групою мікроелементів. Ця група елементів бере активну участь у біологічних процесах, входить до складу багатьох ферментів. З іншого боку, ВМ та їх сполуки здійснюють шкідливий вплив на організм. Особливо небезпечні ВМ внесені до списків міжнародних організацій ООН – FAO/WHO: ртуть, свинець, кадмій, кобальт, нікель, цинк, олово, мідь, молібден, ванадій. Отруйний і канцерогенний елемент Арсен (As), або миш'як, належить до групи напівметалів або металоїдів.

У водних об'єктах ВМ з'являються завдяки процесам вимивання з підстилаючих порід і ґрунтів, а також господарської діяльності – це антропогенна токсифікація водного середовища, найнебезпечнішим проявом якої для людини є накопичення токсикантів у трофічних ланцюгах до

рівня промислової іхтіофауни. ВМ часто викликають токсикози риб (Ситник та ін., 2006).

Розчинені мідь, цинк, кадмій, хром і нікель можуть бути токсичними для водних тварин. Як правило, вважається, що токсичний метал є незакомплексованим, гідратованим двовалентним катіоном. Кальцій і магній також є двовалентними катіонами, і вони конкурують з токсичними металами за місця зв'язування та поглинання в зябровому епітелії і, таким чином, знижують їх токсичність. Захисний ефект кальцію і магнію не залежить від впливу рН на токсичність металу: рН впливає на розчинність і концентрацію металу, тоді як кальцій і магній впливають на зв'язування і поглинання металу в зябрах (Boyd, Tucker, 1998).

Слідові кількості металів, які наявні у поверхневих водах, можуть мати природне походження. Якщо води забруднені металами у вищих концентраціях – це, як правило, пов'язано з господарською діяльністю людини. До відомих антропогенних джерел забруднення біосфери ВМ відносять підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, заводи з переробки акумуляторних батарей, автотранспорт. Атмосферні опади можуть вимивати метали у вигляді пилу та аерозолів, що утворюються при спалюванні викопного палива, вихлопними газами автомобілів та з інших джерел. Зокрема, половина від загальної кількості свинцю надходить у водойми в результаті спалювання етильованого бензину.

Особливі вимоги існують щодо токсикологічних показників, у тому числі і до ВМ, які можуть накопичуватися у харчових ланцюгах та у м'ясі промислової іхтіофауни (Романенко, 2001). До них відносяться свинець, цинк, кадмій, ртуть, хром, марганець, нікель, олово, мідь та ін.

2. Значення важких металів для здоров'я риб

Метали та металоїди, такі як алюміній, миш'як, кадмій, хром, свинець і селен, є токсичними або тератогенними (заважають ембріональному розвитку) для організму риб у відносно низьких концентраціях, а більшість забруднених

середовищ містять підвищені концентрації більше ніж одного важкого металу (Beyer et al., 1998). Риби поглинають зважені або розчинені метали через зябра, шкіру або корм.

Механізм токсичної дії металів на рибу різноманітний. Більшість металів мають велику спорідненість до амінокислот і SH-груп білків: вони діють як ферментні отрути. Такі метали, як залізо, мідь і цинк, є невід'ємними компонентами білків і відіграють важливу роль у багатьох метаболічних шляхах як мікроелементи. Але вони також можуть бути токсичними, коли концентрації перевищують асимілюючу та екскреторну здатність організмів, спричиняючи зниження травної функції, ріст і виживання різноманітних видів.

На токсичність металів для риб істотно впливає форма, в якій вони знаходяться у воді. Іонні форми металів або простих неорганічних сполук більш токсичні, ніж складні неорганічні або органічні сполуки. Токсична дія металів особливо виражена на ранніх стадіях розвитку риб.

Метали мають здатність накопичуватися в осадових відкладеннях і у водній флорі та фауні (біонакопичення). Ця властивість кількісно описується коефіцієнтом накопичення (концентрація в субстраті/концентрація у воді), і такі значення можуть коливатися від кількох сотень до багатьох тисяч; ртуть і кадмій мають особливо високу здатність до біоаккумуляції.

Отже, концентрація цих металів у воді не дає справжнього показника загального забруднення водного середовища; в якості індикатора краще використовувати вміст металів в осадових відкладеннях, а особливо – в тілах хижих риб, які є кінцевою ланкою харчового ланцюга.

Найважливіші метали для рибного господарства, вміст яких потрібно контролювати у водоймах – це алюміній, хром, залізо, нікель, мідь, цинк, миш'як, кадмій, ртуть і свинець.

Алюміній. Токсичність алюмінію для риб значною мірою залежить від фізико-хімічних властивостей води, зокрема від її рН. Алюміній розчинний при значеннях рН нижче 6,0; може утворюватися ряд хімічних речовин, які найтоксичніші в діапазоні рН від 5,2 до 5,8. При більш високих значеннях рН алюміній випадає в осад у вигляді гідроксиду. Можливо,

свіжоосаджений у вигляді колоїду алюміній може бути токсичним; повністю флокульований гідроксид має низьку токсичність, подібну до токсичності зважених твердих речовин загалом (Svobodová et al., 1998). ГДК алюмінію для водних об'єктів рибогосподарського водокористування (ГДКриб) в Україні – 0,04 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Хром. У поверхневих водах найбільш стійкими формами хрому є III і VI ступені окислення. З цих двох форм хром III погано розчинний і легко адсорбується на поверхні, тому набагато більш розчинний хром VI є найпоширенішою формою в прісній воді. З цієї причини максимально допустимі концентрації для хрому зазвичай базуються на даних про токсичність для шестивалентної форми.

Сполуки хрому в тривалентному стані (III) більш токсичні для риб та інших водних організмів, ніж у шестивалентному стані VI. Згідно з даними LC_{50} , отриманими для різних видів риб, сполуки хрому III належать до речовин із високою токсичністю для риб (LC_{50} від 2,0 до 7,5 мг/л), тоді як сполуки хрому VI належать до речовин середньої токсичності (LC_{50} від 35 до 75 мг/л) (Svobodová et al., 1998). На токсичність сполук хрому для риб також впливають фізико-хімічні властивості води, особливо значення рН і концентрація кальцію і магнію. При високому рН і високій концентрації кальцію токсичність хрому для водних організмів знижується в порівнянні з м'якою кислою водою.

При гострому отруєнні сполуками хрому поверхня тіла риб покривається слизом, пошкоджується респіраторний епітелій зябер і риба гине з явищами задухи. У риб, які страждають від хронічної інтоксикації хромом, в порожнині тіла накопичується оранжево-жовта рідина.

ГДКриб для хрому (III) – 0,005 мг/л, для хрому (VI) – 0,001 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Залізо. У поверхневих водах залізо зустрічається у стані двовалентного заліза II (розчинні сполуки) або стані заліза III (переважно нерозчинні сполуки). Співвідношення цих двох форм заліза залежить від концентрації кисню у воді, рН та інших фізико-хімічних властивостей води.

Рибі можуть завдати шкоди сполуки заліза у погано насиченій киснем воді з низьким рН, де залізо присутнє переважно у розчинній формі. Розчинне двовалентне залізо може окислюватися до нерозчинних сполук, які потім покривають зяброві пластинки риб та перешкоджають диханню. При низькій температурі води та за наявності заліза залізобактерії швидко розмножуються на зябрах і сприяють окисленню сполук двовалентного заліза. Їхні ниткоподібні колонії покривають зябра; спочатку вони безбарвні, але пізніше осад заліза надає їм коричневого кольору. Сполуки заліза, що випали в осад, і колонії залізобактерій зменшують дихальну площу зябер, пошкоджують респіраторний епітелій і таким чином можуть задушити рибу. При подібній токсичній дії сполуки заліза можуть випадати в осад на поверхні ікри, яка потім гине через нестачу кисню (Svobodová et al., 1998).

Смертельну концентрацію заліза для риб виміряти нелегко, оскільки вона значною мірою залежить від фізико-хімічних властивостей води. У культурі корошових зазвичай прийнято, що концентрація розчинних іонізованих форм заліза не повинна перевищувати 0,2 мг на літр; для лососевих ця межа становить 0,1 мг на літр (Svobodová et al., 1998).

ГДКриб заліза загального – 0,1 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Нікель. Нікель може скидатися в поверхневі води зі стічними водами підприємств по нанесенню металевих покриттів. Сполуки нікелю мають середню токсичність для риб. При короточасному впливі смертельна концентрація становить від 30 до 75 мг/л. Як і на токсичність інших металів, на токсичність сполук нікелю для водних організмів помітно впливають фізико-хімічні властивості води (Svobodová et al., 1998). Наприклад, у м'якій воді з низьким вмістом кальцію смертельна концентрація сполук нікелю для колючок (*Gasterosteidae*) становила менше 10 мг/л. У таких випадках нікель можна вважати високотоксичним для риб. Після токсичного впливу сполук нікелю зябра риби заповнюються слизом, а зяброві пластинки набувають темно-червоного кольору.

ГДКриб – 0,01 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Мідь. Хоча мідь дуже токсична для риб, її сполуки використовуються в рибному господарстві як альгіциди, а також для профілактики та лікування деяких хвороб риб. Фізико-хімічні властивості води сильно впливають на токсичність міді для риб. У воді з високими концентраціями органічних речовин мідь може зв'язуватися в розчинні і нерозчинні комплекси. У дуже лужній воді мідь утворює гідроксиди з низькою розчинністю, а у водах з високою концентрацією бікарбонату/карбонату мідь випадає в осад у вигляді погано розчинного або нерозчинного карбонату міді.

Характерними клінічними симптомами риб, отруєних іонами міді та сполуками міді, є утруднене дихання, а у коропоподібних – хапання повітря на поверхні води. Типовий патологоанатомічний вигляд включає велику кількість слизу на поверхні тіла, під зябровими кришками і в зябрах. Гостру інтоксикацію міддю можна діагностувати на основі хімічного аналізу зябер, в яких концентрація міді значно більша, ніж в інших частинах тіла риби. Зябра риби, виловленої у водах, вільних від забруднення міддю, містять до 10 мг міді на 1 кг сухої речовини (Svobodová et al., 1998).

В Україні ГДКриб – 0,001 мг/л, в країнах ЄС – 0,04 мг/л, у США – 0,012 мг/л, (Мацнев та ін., 2000).

Цинк. Отруєння риби цинком найчастіше зустрічається при розведенні і вирощуванні форелі. Райдужна і струмкова форель, а особливо їх мальки, надзвичайно чутливі до цинку та його сполук. Смертельні концентрації становлять близько 0,1 мг на літр для лососевих (деякі автори навіть пропонують рівень 0,01 мг на літр) і 0,5-1,0 мг на літр для коропових (Svobodová et al., 1998).

Стійкість до сполук цинку зростає з віком. На токсичність цинку для риб впливають хімічні характеристики води; зокрема, підвищення концентрації кальцію знижує токсичність цинку. Клінічні симптоми і патологоанатомічна картина отруєння риб цинком подібні до отруєння міддю. Найкращий спосіб уникнути отруєння цинком у вирощуванні форелі – уникати використання оцинкованих труб для подачі води та уникати використання

оцінюваних контейнерів та обладнання, особливо в місцях, де вода м'яка та кисла.

В Україні ГДКриб – 0,01 мг/л, в країнах ЄС – 0,3 мг/л, у США – 0,11 мг/л, (Мацнев та ін., 2000).

Миш'як, або Арсен. Як правило, металоїд миш'як зустрічається у воді у ступені окислення V, але деяка його кількість може бути присутньою і в нестабільних формах, тобто у ступені окислення III. Як і у випадку з ртуттю (див. далі), біологічна (особливо бактеріальна) активність може призвести до утворення органічних метилових похідних миш'яку.

Основні джерела забруднення поверхневих вод миш'яком включають промислові стоки (напр. рудозбагачувальних фабрик). Миш'як здатний накопичуватися у великих кількостях в осадових відкладеннях на дні водотоків і водойм, а також у гідробіонтах. Сполуки миш'яку в третьому ступені окислення (арсеніти) досить швидко всмоктуються рибою і більш токсичні, ніж сполуки миш'яку в ступені окислення V (арсенати). Виходячи з концентрацій, які виявилися смертельними для різних видів риб протягом 48 годин впливу, триоксид миш'яку, наприклад, можна включити до тих речовин, які мають середню або високу токсичність для риб; смертельна концентрація становить від 3 до 30 мг/л (Svobodová et al., 1998).

ГДКриб – 0,05 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Кадмій. Кадмій у поверхневих водах зазвичай міститься разом із цинком, але в значно нижчих концентраціях. Кадмій у поверхневих водах може бути або розчиненим, або нерозчинним. Серед розчинених форм, які можуть бути отруйними для риб, належать простий іон і різні неорганічні та органічні комплексні іони. Окрім гострої токсичної дії, подібної до дії інших токсичних металів (ураження центральної нервової системи та паренхіматозних органів), дуже малі концентрації кадмію можуть викликати специфічні ефекти після тривалого періоду впливу. Головним серед цих специфічних впливів є вплив на репродуктивні органи. Несприятливий вплив тривалого впливу кадмію на дозрівання, виводимість і розвиток личинок райдужної форелі було зареєстровано при низьких концентраціях 0,002 мг/л. Гостра летальна концентрація кадмію

для різних видів риб становить від 2 до 20 мг/л. (Svobodová et al., 1998)

Токсичність кадмію знижується зі збільшенням вмісту кальцію та магнію у воді. Для лососевих максимально допустима концентрація кадмію у воді становить 0,0002 мг на літр, а для коропових 0,001 мг/л (Schreckenbach, 1982).

ГДК_{риб} – 0,005 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Ртуть, або Меркурій. Ртуть переноситься у водне середовище в основному з промисловими стоками та атмосферними опадами. Незабруднена вода міститиме сліди ртуті, які не перевищуватимуть 0,1 мкг на літр.

Ртуть з водного середовища переноситься в осад на дні водотоків, озер і водосховищ, де вона накопичується переважно у вигляді сульфідів. Елементарна ртуть та її органічні та неорганічні сполуки можуть піддаватися метилюванню (процесу, викликаному життєдіяльністю мікроорганізмів) у відкладеннях. Токсичний кінцевий продукт цього метилювання, метилртуть, потрапляє в харчові ланцюги та біоконцентрується у все більших кількостях у організмі гідробіонтів вище у харчовому ланцюгу.

Ртуть може потрапити в організм риби через травний тракт, зябра та шкіру. Хижі риби містять найбільшу кількість ртуті, оскільки вони утворюють кінцеву ланку у водному трофічному ланцюгу.

Проблема ртуті у водному середовищі важлива не тільки з екологічних та гігієнічних міркувань, а й з точки зору рибництва. Було показано, що сполуки ртуті можуть порушувати деякі життєво важливі тканини та органи риб, а також можуть мати шкідливий вплив на розмноження. У дуже низьких концентраціях вони знижують життєздатність сперматозоїдів, знижують утворення ікри і впливають на виживання ікри та мальків, що розвиваються. Гострі смертельні концентрації неорганічних сполук ртуті знаходяться в діапазоні від 0,3 до 1,0 мг/л для лососевих і від 0,2 до 4,0 мг/л для коропових залежно від фізико-хімічних властивостей води. Гострі смертельні концентрації загальноприйнятих органічних сполук ртуті становлять від 0,025 до 0,125 мг/л для лососевих і

від 0,20 до 0,70 мг на літр для коропових (Svobodová et al., 1998).

В Україні ГДКриб – 0,00001 мг/л, у США – 0,000012 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

Свинець. Основним джерелом забруднення повітря і поверхневих вод свинцем є вихлопні гази автотранспорту, які містять продукт розпаду тетраетилсвинцю. У поверхневих водах свинець значною мірою накопичується в донних відкладеннях у концентраціях приблизно на чотири порядки вищих, ніж у воді.

Токсичність свинцю для риб та інших гідробіонтів значною мірою залежить від якості води та залежить від розчинності сполук свинцю та концентрації кальцію та магнію у воді. Розчинність сполук свинцю у воді знижується зі збільшенням лужності та значення рН води. Крім того, відомо, що токсичність свинцю знижується зі збільшенням концентрації кальцію та магнію у воді. Концентрації гострої токсичності в різних типах води знаходяться в межах від 1 до 10 мг/л для лососевих і від 10 до 100 мг/л для коропових (Svobodová et al., 1998).

Гостра свинцева токсичність спочатку характеризується пошкодженням зябрового епітелію; уражені риби гинуть від задухи. Характерними симптомами хронічної свинцевої інтоксикації є зміни показників крові з вираженим ураженням еритроцитів і лейкоцитів, дегенеративні зміни паренхіматозних органів і ураження нервової системи. У форелі характерна ознака — почорніння хвостового стебла. Гранично допустима концентрація свинцю у воді становить від 0,004 до 0,008 мг/л для лососевих і 0,07 мг/л для коропових (Svobodová et al., 1998).

В Україні ГДКриб – 0,1 мг/л (Мацнев та ін., 2000).

3. Регіональні гідрохімічні особливості

Відомо, що для правобережних приток Прип'яті характерним є підвищений вміст у воді ВМ – марганцю, міді, заліза, а також інших елементів не техногенного, а геологічного походження, обумовленого їх вилуговуванням з поліметалічних руд. Високий вміст міді у поверхневих водах регіону

зумовлений природними чинниками – на Волині та Рівненщині розташовані поклади мідних руд. За даними Рівненської геологічної експедиції визначено два перспективні для промислового видобутку рудні вузли, пов'язані з самородною та сульфідною мідною мінералізацією, які відносяться до Волинського рудного району: Рафалівський у Рівненській та Гірницький у Волинській областях (Маланчук З. Р., Козяр, 2009; Програма розвитку..., 2006). Аналіз відповідності якості поверхневих вод рибогосподарським вимогам показав, що вміст міді у воді не відповідав рибогосподарським вимогам на 100 % досліджених ділянок, марганцю – 96 %, заліза – на 96 %, цинку – 86 %.

ТЕМА 8. ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ ТОКСИЧНИМИ ОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ ТА ЙОГО НАСЛІДКИ

План

1. Феноли.
2. Поліхлоровані біфеніли (ПХБ).
3. Поверхнево-активні речовини.
4. Пестициди.
5. Нафта та нафтопродукти.

1. Феноли

Феноли потрапляють у поверхневі води з промисловими стоками, особливо від термічної обробки вугілля, нафтопереробних заводів і виробництва синтетичних тканин. Феноли бувають одноосновними (наприклад, фенол, крезол, нафтол, ксиленол) або багатоосновними (наприклад, пірокатехол, резорцин, гідрохінон, пірогалол).

Феноли можуть зіпсувати якість води та риби, особливо хлорфеноли, які утворюються в результаті хлорування фенолів. Максимально допустимі концентрації для рибництва за даними Svobodová et al., (1998) – 0,001 мг/л хлорфенолу, 0,003 мг/л крезолу, 0,004 мг/л резорцину, 0,001 мг/л гідрохінону. Концентрації 0,1 мг/л фенолів та 0,02 мг/л хлорфенолів

достатньо високі, щоб викликати зміни запаху і смаку м'яса риби, яких не можна позбутися термічною обробкою.

Спостерігалось, що на початкових етапах забруднення фенолами риби мігрують із забрудненого місця водойми чи водотоку. Пізніше тварини втрачають здатність виявляти забруднені зони через ушкодження рецепторного апарату, у них розвивається фенольна інтоксикація і вони гинуть. Отруєння фенолами проявляється у зміні поведінкових реакцій і протікає у п'ять фаз: I – занепокоєння; II – розлад чутливості; III - розлад рівноваги; IV – агонія; V – трупне залякнення. У хижих риб фази отруєння фенолами протікають швидше, ніж у мирних риб (Дудник, Євтушенко, 2013).

За смертельними концентраціями для риб, різні сполуки фенолу можна класифікувати наступним чином: гідрохінон (0,2 мг/л), нафтоли (2-4 мг/л), фенол, крезол, пірокатехол і ксиленол (2-20 мг/л), резорцин і пірогалол (10-50 мг/л), флороглуцин (400-600 мг/л) (Svobodová et al., 1998).

В Україні ГДКриб – 0,001 мг/л, в країнах ЄС – відсутність присмаку, у США – 2,56 мг/л, (Мацнєв та ін., 2000).

Феноли є анестетиками, які впливають на центральну нервову систему. Клінічні ознаки інтоксикації характеризуються підвищеною активністю і дратівливістю, вистрибуванням з води, втратою рівноваги і м'язовими судомами. Посмертний вигляд включає помітне побіління шкіри, яка густо вкрита слизом; при високій температурі це може супроводжуватися крововиливами на нижньому боці тіла. Тривала дія низьких концентрацій призводить до дистрофічних та некробіотичних змін головного мозку, паренхіматозних органів, кровоносної системи та зябер (Svobodová et al., 1998). У серцевому м'язі, селезінці і нирках спостерігається накопичення жовтого пігменту (гематоїдину). Кишечник заповнений слизом жовто-солон'яного кольору (Дудник, Євтушенко, 2013).

2. Поліхлоровані біфеніли (ПХБ)

ПХБ використовуються як теплоносії і хладагенти, пластифікатори і наповнювачі пластмас і еластомерів, як рідкі

діелектрики для трансформаторів і конденсаторів, змащувальні матеріали і розчинники, входять до складу фарб і лаків тощо. З 1929 року почалося масове виробництво ПХБ, у 1986 році воно припинене. За цей час обсяги наявних ПХБ у світі склали понад 2 млн. тон. (Дудник, Євтушенко, 2013).

ПХБ – високотоксичні для риб і водних ссавців, найнебезпечніші забруднювачі довкілля і одні з найстійкіших органічних сполук. Хоча їх розчинність у воді дуже низька, вони добре розчиняються в неполярних розчинниках і можуть накопичуватися в жирах. ПХБ мають високу здатність до накопичення в донних відкладеннях і у гідробіонтах, для яких коефіцієнт біонакопичення становить від 103 до 105 залежно від вмісту жиру (Svobodová et al., 1993).

ПХБ проявляють низьку гостру токсичність, але найбільш небезпечним є хронічне отруєння. ПХБ вражають внутрішні органи, особливо печінку і нирки, порушують репродуктивну функцію і накопичуються в гонадах, мають канцерогенну і мутагенну дію. ГДК для водойм комплексного призначення складає 0,001 мг/л. У воді рибогосподарських водойм наявність ПХБ не допускається (Дудник, Євтушенко, 2013).

3. Поверхнево-активні речовини

Поверхнево-активні речовини знижують поверхневий натяг води, можуть сприяти утворенню водних емульсій з незмішуваними рідинами, такими як олії та жири. Вони широко використовуються в домашньому господарстві і в промисловості. На заміну традиційному милу прийшли мийні засоби, що містять синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) та інші інгредієнти.

СПАР мають широкий спектр токсичної дії на гідробіонтів. Вони можуть пошкоджувати ліпідні компоненти клітинних мембран. Оскільки поверхневий натяг води знижується, ліпіди частково втрачають гідрофобні властивості, що призводить до гідратації та збільшення об'єму клітин. При низьких концентраціях СПАР це збільшення є оборотним. Висока концентрація може викликати пригнічення обмінних

процесів у клітинах. Тривалий вплив може пошкодити клітини, які на пізніх стадіях стають некротичними. Ці зміни призводять переважно до ураження зябрового респіраторного епітелію. Крім того, вплив на рибу деяких СПАР може викликати зміни активності дихальних ферментів. Поверхнево-активні речовини також можуть пошкодити захисний шар слизу на шкірі і стійкість риби до інфекції знижується. Сублетальні концентрації СПАР також можуть пошкодити ікру та сперму.

На токсичність СПАР для риб впливає ряд біотичних і абіотичних факторів. Особливо важливим біотичним фактором є вік риби. Під час ембріонального і личинкового розвитку чутливість риб до СПАР іноді на порядок вища у порівнянні з ювенільними і дорослими стадіями. З абіотичних факторів на їх токсичність найбільше впливають молекулярна структура СПАР і фізико-хімічні властивості води (Svobodová et al., 1993).

Гостра токсичність поверхнево-активних речовин значно відрізняється в залежності від виду риби. Тим не менш, ці сполуки та миючі засоби, що їх містять, у більшості випадків дуже токсичні для риб, 48-годинна LC_{50} коливається від 1 до 10 мг/л. Невелику частину СПАР можна класифікувати як такі, що мають середню токсичність (48-годинний LC_{50} від 10 до 100 мг/л), а деякі мають дуже низьку токсичність (48-годинна LC_{50} до 10 000 мг/л) (Svobodová et al., 1993).

ГДК для СПАР у рибогосподарських водоймах – 0,1 мг/л.

Невисокі концентрації СПАР знижують резистентність риб до хвороб, на поверхні тіла розвиваються екзопаразити та грибкові ураження, які руйнують плавці та шкіряні покриви (Дудник, Євтушенко, 2013). СПАР можуть спричинити ушкодження дихального епітелію зябер. Тому клінічними ознаками отруєння є дихальні розлади (часте дихання, коропові хапають повітря біля поверхні води, а згодом припиняють рухатися). Характерними ознаками патологоанатомічного дослідження є збільшення кількості слизу на шкірі та в зябрах, гіперемія до набряку зябрового апарату. Слиз легко видаляється з поверхні тіла і зябер (Svobodová et al., 1993).

4. Пестициди

Пестициди – це речовини, які використовуються для боротьби зі шкідниками (ЕРА, 2018). До них належать гербіциди, інсектициди, нематоциди, фунгіциди та багато інших (Randall et al., 2014). Пестициди призначені для знищення живих організмів – шкідників і бур'янів, тому не дивно, що і риба страждає від їхнього впливу.

Пестициди – це хімічні речовини, які мають специфічну токсичну дію, до якої особливо чутливі види шкідників.

Альгіциди – це біоциди, які використовуються для знищення та запобігання росту водоростей, у т.ч. ціанобактерій («синьо-зелені водорості»).

Гербіциди використовуються для боротьби з небажаними рослинами (бур'янами). У водоймах гербіциди використовуються для боротьби з вищою водною рослинністю.

Арборициди використовуються для боротьби з залісненням чагарниками.

Інсектициди використовуються для знищення комах.

Акарициди використовуються для знищення кліщів.

Нематоциди використовуються для знищення фітопатогенних нематод (фітогельмінтів).

Молюскоциди використовуються для знищення молюсків.

Лимациди – це молюскоциди, які використовуються для знищення голих слимаків роду *Limax*.

Родентициди використовуються для знищення гризунів.

Іхтіоциди використовуються для знищення непромислових видів риб у рибогосподарських водоймах. Наприклад, іхтіоцид ротенон використовується для знищення небажаної риби. Також його використовують як інструмент для видалення чужорідних видів риб (Rytwinski et al., 2018), оскільки він має відносно короткий період напіврозпаду (дні) і зникає з річок протягом кількох днів, а з озер – протягом кількох місяців, залежно від (сезонного) перемішування, вмісту органічних речовин, доступність сонячного світла та температуру (Finlayson et al., 2010). Ротенон часто

використовується у США і Канаді, у ЄС використовують рідше через суворі правила.

До пестицидів відносять також:

репеленти – це хімічні сполуки для відлякування комах;

дефоліанти – це хімічні сполуки, які спричиняють опадання листя з рослин (на відміну від гербіцидів дефоліанти не вбивають рослину, а пригнічують її, через втрату фотосинтезуючих елементів рослини – листків)

ретарданти – це хімічні сполуки, які здатні уповільнювати ріст рослин, як правило, не викликаючи при цьому аномальних відхилень;

антисептики – протимікробні засоби, які використовуються у різних галузях, наприклад. медицині і харчовій промисловості, а також для захисту споруд від гниття і грибкового ураження;

хемостерилізатори, які перешкоджають розвитку і розмноженню живих організмів та ін.

Ідеальний пестицид – це хімічна речовина, яка специфічна щодо шкідників; для користувача пестицидів він також повинен бути стійким, щоб уникнути необхідності повторного застосування. Однак, з екологічних міркувань, пестициди повинні бути нестійкими, щоб уникнути накопичення та спричинення непередбачуваних побічних ефектів (як, наприклад, трапилося з дуже стійким інсектицидом ДДТ, щодо якого діє міжнародна заборона від ООН на використання) (Svobodová et al., 1993).

Серед органічних пестицидів виділяють такі групи (Дудник, Євтушенко, 2013):

- хлорорганічні сполуки, (ХОС);
- фосфорганічні сполуки, (ФОС);
- ртутьорганічні сполуки, (РОС);
- нітрофенольні сполуки;
- карбамати;
- синтетичні піретроїди та ін.

ХОС відносяться до групи речовин з надвисокою кумуляцією – коефіцієнт накопичення ХОС становить у ґрунті –

100, у зоопланктоні і бентосі – від 100 до 300, у рибах – від 300 до 3000 і більше (Дудник, Євтушенко, 2013).

В організм риб ХОС потрапляють через зябра і травний тракт, акумулюються переважно у вісцеральному жирі, пілоричних придатках і статевих продуктах, печінці та нирках. З віком риби їх концентрація зростає. У нерестовий період, або під час голодування чи міграцій, коли організм інтенсивно використовує жирові запаси, ХОС надходять у кров'яне русло і викликають гостре отруєння риб, вражаючи, переважно, центральну нервову систему і паренхіматозні органи, особливо печінку. Крім того, викликають розлад функцій серцево-судинної та ендокринної системи, нирок. ХОС мають ембріотоксичну, мутагенну та тератогенну дію, знижують імунітет і підвищують уразливість риб до інфекційних хвороб (Дудник, Євтушенко, 2013).

Отруєння риб пестицидами трапляються через випадкові викиди внаслідок дорожньо-транспортних пригод, аварій на виробництві, недбалої утилізації контейнерів з пестицидами і т.д. Ці випадки можна чітко визначити як причину смертності, особливо якщо виміряні або розраховані концентрації у воді значно перевищують 96-годинний експеримент LC_{50} . Важче ідентифікувати випадки, які трапляються внаслідок тривалого вимивання стійких пестицидів з полів і лісів.

Крім цих гострих і хронічних прямих ефектів, трапляються випадки непрямої дії. Некваліфіковане застосування водних гербіцидів або альгіцидів, або випадкове забруднення поверхневих вод ними може призвести до знищення надмірної кількості макрофітів і водоростей. Швидке розкладання фітомаси створює дефіцит розчиненого кисню, і риба може загинути від задухи.

Іншим потенційно серйозним непрямим наслідком забруднення водної біоти пестицидами є зменшення або повне знищення природних кормових запасів риби. Багато організмів, якими живляться риби, набагато чутливіші до пестицидів (особливо до інсектицидів), ніж самі риби. Наприклад, LC_{50} для фосфорорганічної інсектицидної форми «Soldep» (діюча речовина 25% трихлорфон) для звичайного коропа становить

545 мг/л, тоді як для *Daphnia magna* — від 0,0002 до 0,001 мг/л (Svobodová et al., 1993).

Крім активного інгредієнта, рецепти пестицидів містять ряд інших хімічних речовин, які іноді можуть бути набагато токсичнішими для риб, ніж сам активний інгредієнт.

Коли пестицид потрапляє у водне середовище, активний інгредієнт може зазнати хімічного та біологічного розкладання. У деяких випадках продукти розпаду можуть бути більш токсичними для риб, ніж оригінальний активний інгредієнт. Наприклад, трихлорфон розкладається з утворенням більш токсичної сполуки дихлофосу. З цього випливає, що відсутність певного активного інгредієнта у воді не може гарантувати відсутність шкідливих продуктів його розкладу.

Деякі гербициди використовуються в рибористві та управлінні водними ресурсами для знищення небажаних водних рослин. Фосфорорганічні інсектициди на основі трихлорфону використовують для знищення хижих циклопів перед зарибленням водойми, для боротьби з паразитами, що вражають корокових, та для інших цілей управління. Пестициди на основі оксихлориду міді можуть бути використані для боротьби з паразитами риб, включаючи контроль червононогих проміжних господарів, а також для знищення надмірного росту водоростей (Svobodová et al., 1993).

Більшість пестицидів, які використовуються зараз, розкладаються до нетоксичних форм протягом кількох днів, проте усі вони є потенційно шкідливими. Пестициди, розпорошені на поля, можуть поширюватися на значні території та досягати риборицьких водойм.

Ключовими факторами для захисту ставів від пестицидів є наступні (Boyd, Tucker 1998):

- розмістити стави на значній відстані від полів, які обробляють пестицидами,
- посадити дерева або іншу високу рослинність між ставами та полями, які обробляються пестицидами, щоб перехопити перенос пестицидів повітрям;
- не допускати розривів рослинних кордонів, які сприяють поширенню вітром;

- споруджувати топографічні бар'єри (канави або тераси) для запобігання потраплянню стоку з полів у стави;
- використовувати належні методи застосування пестицидів на полях. Правильні методи застосування включають повідомлення про намір застосувати пестициди на полях, прилеглих до ставів, не застосовуючи пестициди в межах 10-20 м від граничних зон і застосовуючи пестициди лише у безвітряну погоду, або далеко від ставів.

Утилізацію пестицидів і контейнерів з пестицидами слід здійснювати таким чином, щоб пестициди не забруднювали водні об'єкти. Якщо вживати відповідних запобіжних заходів і дотримуватись політики «доброго сусідства», сільськогосподарські культури та продукцію аквакультури можна вирощувати поруч одночасно (Boyd, Tucker 1998).

5. Нафта та нафтопродукти

Нафта та продукти її переробки спричинюють численні випадки забруднення поверхневих і підземних вод, внаслідок аварій, зареєстрованих в усьому світі. Ці аварії не були пов'язані з проблемами на очисних спорудах; більшість з них були спричинені недбалістю, транспортними аваріями та несправним обладнанням; усе це можна пояснити людською помилкою.

Однак нафта та продукти її переробки також можуть потрапляти у водне середовище з промисловими стоками нафтохімічної, машинобудівної та металургійної промисловості, а також транспортної галузі. Значна кількість зареєстрованих інцидентів забруднення нафтою виявляється дуже помітною плівкою на поверхні води; тому для його виявлення не потрібен хімічний аналіз. Навіть дуже невеликий об'єм може утворювати велику пляму блискучої плівки, в якій товщина нафти становить близько 1 мікрона. З цієї причини деякі викиди нафти і нафтопродуктів залишаються непоміченими.

За візуальною шкалою кольору нафтової плівки можна оцінити рівень нафтового забруднення (табл. 2). Оцінка забруднення в 4-5 балів свідчить про екологічну катастрофу для водойми. Коли нафта розтікається по поверхні вона зменшує (особливо в стоячих водах) перенесення кисню з повітря у воду.

Таблица 2

Оцінка нафтового забруднення водойм за візуальною шкалою
(Дудник, Євтушенко, 2013)

Колір плівки	Товщина плівки, мкм	Обсяги надходження нафти, л/км ²	Бальна оцінка забруднення
Світло-сірі плівки незначної площі	0,038	44	1 бал
Сріблясті плівки і плями	0,076	88	2 бали
Ненасичені різнокольорові (веселкові) плівки	0,152	176	3 бали
Насичені яскраві різнокольорові (веселкові) плівки	0,305	352	
Темно-сірі або чорно-коричневі плівки нафти на більшій частині водойми	1,016	1170	4 бали
Чорна суцільна плівка, яка не розмивається при утворенні хвиль	2,032	2310	5 балів

У випадках забруднення текучих бурхливих вод нафта не утворює плівку на поверхні, а розсіюється у вигляді крапель. У таких випадках зябра риби можуть бути механічно забруднені, а їх дихальна здатність знижена.

Деякі компоненти нафти та нафтопродуктів легко розчиняються у воді. Їх токсичність для риби має значення LC₅₀ за 48 годин у діапазоні від 0,5 до 200 мг/л. Токсичність залежить від хімічного складу продуктів, від їх розчинності у воді і від ступеню емульгування нерозчинних компонентів у воді. Загальновідомо, що легші фракції нафти (включаючи гас, бензин, бензол, толуол і ксилол) набагато токсичніші для риб, ніж важкі фракції (важкі парафіни та смоли). Існують також відмінності в чутливості до нафти і нафтопродуктів між різними видами риб. Найбільшу чутливість до нафтопродуктів виявляють мальки хижих риб (особливо судака і форелі).

Нафтопродукти можуть містити різні високотоксичні речовини, такі як бензол, толуол і ксилол, які певною мірою розчиняються у воді; вони проникають в організм риби і можуть мати пряму токсичну дію. Ці токсичні компоненти включають нафтені кислоти, які є гострою нервово-паралітичною отрутою і здатні вбивати рибу в концентраціях від 0,03 до 0,1 мг/л (Svobodová et al., 1993)

Взагалі нафта та більшість нафтопродуктів здійснюють наркотичну дію на рибу; гострими симптомами є вплив на нервову систему і дихальну діяльність. Основні клінічні симптоми включають початкове підвищення активності та частоти дихання з подальшою втратою рівноваги (риба лежить на боці), втратою реакції на подразники, зниження активності, поверхневі дихальні рухи та, зрештою, смерть.

Тіло загиблої риби набуває тьмяного кольору і вкрите слизом; на шкірі спостерігаються локальні застійні явища, епідерміс ламається і відшаровується, у деяких випадках можуть виникати поверхневі рани. Пошкодження рогівки ока може призвести до сліпоти. На зябрах з'являються дистрофічні ушкодження та некроз, також може спостерігатися проліферація респіраторних епітеліальних клітин та гіпертрофія клітин слизу. Тривалий вплив нафтопродуктів у низьких концентраціях може спричинити серйозні дегенеративні некробіотичні ефекти в нирках риб та ікрі. Мертва риба має бензиновий запах і смак. Тому токсичність не є єдиним шкідливим наслідком, пов'язаним із забрудненням нафтою. Риба може набути запаху і присмаку нафтопродуктів, що робить неможливим вживання її в їжу (Svobodová et al., 1993). З цієї причини сенсорна оцінка є необхідною перед повним токсикологічним аналізом риби і води. В країнах ЄС щодо нафтопродуктів у водоймах рибогосподарського використання є вимога відсутності візуальних ознак і присмаку (Мацнев та ін., 2000).

ГДК для нафти і нафтопродуктів в Україні становить (Шекк, Захарова, 2008):

- для водойм загального використання – 0,3 мг/л;
- для рибогосподарських водних об'єктів – 0,05 мг/л.

ТЕМА 9. БІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ. БІОІНДИКАЦІЯ

План

1. Біологічні забруднювачі (патогени та паразити).
2. Біологічне забруднення в аквакультурі.
3. Наслідки забруднення вод для здоров'я людей та екосистем.

4. Використання водних організмів – біоіндикаторів для оцінки здоров'я екосистеми.
5. Сапробність водних об'єктів.

1. Біологічні забруднювачі (патогени та паразити)

Біологічні забруднювачі водного середовища – це бактерії, віруси, гриби та паразити, які викликають захворювання у риб і передаються людині через воду чи хвору рибу. Поширення хвороб може відбуватися в обох напрямках:

- 1) діяльність людини спричинює появу нових захворювань у водних тварин (іноді їх називають зворотними зоонозами) – збудники потрапляють переважно з неналежно очищеними стічними водами.
- 2) водні тварини – переносники, які передають патогенні організми людям (зоонози) – зазвичай через використання м'яса тварин в їжу, але також через контакт із зараженими тваринами або водою.

Люди також часто сприяють поширенню захворювань по всьому світу через випадкове або навмисне заселення водних тварин в інші екосистеми та природні зони.

До числа несподіваних причин забруднення води можна віднести релігійні ритуали. Наприклад, в Індії існує релігійна практика занурення у воду ідолів, яка є причиною поширення збудників захворювань і збільшення біологічного забруднення прісних водойм.

2. Біологічне забруднення в аквакультурі

Дика риба та інші водні тварини можуть потрапляти у рибницькі стави з поверхневими водами. Ці тварини можуть тут розмножуватися і конкурувати з культивованими видами риб за корм або полювати на них. Тому водозабори повинні бути захищеними, щоб мінімізувати інтродукцію дикої риби. Так само в рибницькі стави можуть потрапляти збудники захворювань (детальніше у темі 12). Організми, які викликають хвороби, можуть вільно жити у воді або в/на тваринах-носіях.

Вільноживучі збудники та навіть деякі носії здебільшого мають дуже малий розмір, непридатний для відсіювання. При організації аквакультурного господарства слід подбати про уникнення перехресного забруднення між ставами, щоб зменшити імовірність поширення хвороб з одного ставу в інший або з одного господарства в інше (Boyd, Tucker 1998).

Вода, яка потрапляє у стави, може бути забруднена коліформними мікроорганізмами. Коліформні мікроорганізми, включаючи кишкову паличку (*Escherichia coli*), мешкають у кишковому тракті людини та інших теплокровних тварин. Наявність кишкової палички у воді (приблизне число у 100 мл) інтерпретується як показник можливої присутності людських патогенів у воді або в харчових продуктах. Їх також можна знайти в рибі та інших водних тваринах, виловлених у ставах.

Поверхневі води, які використовуються для наповнення ставів, можуть бути забруднені фекальними коліформами. У деяких країнах, і в Україні у т.ч., для удобрення ставів використовуються гній і навіть відходи людської життєдіяльності, і ці матеріали є джерелами фекальних коліформ.

Дефіцит кисню внаслідок надмірної кількості водоростей фітопланктону є поширеною причиною задухи риби та ракоподібних в аквакультурних ставах. Крім того, деякі водорості виробляють токсичні речовини, які виділяються у воду. Токсини ціанобактерій (синьозелених водоростей) розглядаються в темі 6 (п. 5).

3.Наслідки забруднення вод для здоров'я людей та екосистем

Щороку з причини забруднення води хворіють близько 1 мільярда людей. Приблизно 3,6 мільярда людей – половина населення світу – все ще не мають безпечних санітарних умов життя, а 1,8 мільярда живуть у домівках без безпечної питної води. Громади з низькими доходами наражаються на непропорційно більший ризик, оскільки їхні оселі найчастіше розташовані найближче до забруднюючих підприємств. Щороку

близько 829 тис. людей помирають від хвороб, які безпосередньо пов'язані з небезпечною водою, невідповідною санітарією та поганою гігієною (UNICEF, 2023). За оцінками, у 2019 році близько 1,4 мільйона смертей у всьому світі були пов'язані із забрудненням води.

Хвороботворні бактерії та віруси, які передаються через воду з відходів життєдіяльності людини і тварин є основною причиною захворювань, викликаних забрудненою питною водою. До таких захворювань належать холера, лямбліоз, черевний тиф та багато інших, які створюють величезне навантаження на систему охорони здоров'я. Навіть плавання може бути небезпечним – щороку мільйони людей отримують шкірні висипання, мікози, респіраторні інфекції та гепатит через забруднені стічними водами прибережні води.

Наслідки для екосистем. Здорові екосистеми опираються на складну сітку тварин, рослин, бактерій та грибів, які прямо чи опосередковано взаємодіють одні з одними. Шкода, завдана будь-якому з цих організмів, може створити ланцюговий ефект, що ставить під загрозу все водне середовище.

Наприклад, евтрофікація спричинює задуху гідробіонтів і може створити «мертві зони», де вода фактично позбавлена життя. У деяких випадках у процесі «цвітіння» води також можуть виробляти нейротоксини, які впливають на гідробіонтів, у т.ч. риб.

Наприклад, ось як формується «мертва зона» в затоці річки Міссісіпі (NOAA, 2021).

1. Впродовж весни, нагріта сонячним промінням прісна вода річки Міссісіпі створює бар'єрний шар в затоці, відрізаючи солонішу воду знизу від контакту з киснем повітря.
2. Азот і фосфор добрив і побутових стоків у прісноводному шарі викликає потужне «цвітіння» води. Коли водорості відмирають, вони опускаються у солонішу воду знизу і розкладаються, використовуючи залишки кисню з глибоких шарів води.
3. У бідних на кисень і відрізаних від надходження з повітря глибших водах формується «мертва зона». Риби

уникають таких місць, або гинуть у масовій кількості від задухи. Дрібні організми, які формують основу харчового ланцюга затоки також гинуть. Зима приносить передишку, але весняний стік починає цикл заново.

Хімічні речовини та важкі метали з комунально-побутових та промислових стічних вод, які токсичні для водної флори та фауни, найчастіше викликають захворювання та скорочують тривалість життя та здатність організму до розмноження. Вони також просуваються вгору трофічним ланцюгом, накопичуються максимально в організмі хижаків.

Водним екосистемам також загрожує сміття, яке може спричинити задуху та загибель від голоду. Більшість твердого сміття, такого як пластикові пакети і пляшки з-під газованої води, потрапляє в каналізацію та зливові стоки, і зрештою викидається в море, перетворюючи океани на сміттєвий «суп», а іноді утворюючи плавучі сміттєві плями – «острови».

Відомо, що океани поглинають близько чверті вуглецевого забруднення, що утворюється щороку внаслідок спалювання викопного палива. Проте, води океанів стають дедалі кислішими. Закислення океану ускладнює виживання молюсків та коралів, оскільки ускладнює побудову їх черепашок і може вплинути на нервову та імунну системи багатьох морських мешканців.

4. Використання водних організмів - біоіндикаторів для оцінки здоров'я екосистем

Під *біологічним моніторингом* розуміють систему спостережень, оцінки і прогнозу будь-яких змін у біоті, які викликані факторами антропогенного походження. Оскільки на земній кулі практично немає ділянок, які не зазнали прямого чи опосередкованого антропогенного впливу, біологічний моніторинг повинен охоплювати усю біоту нашої планети. В багатьох країнах розробляють програми моніторингу, оскільки необхідність спостережень визнана на загальнодержавному рівні. Реальна система біомоніторингу вимагає створення

служби, яка проводить спостереження за живими організмами і комплексом факторів довкілля у різних регіонах країни.

Біоіндикацію широко використовують для оцінки антропогенного впливу і, зокрема, забруднення навколишнього середовища. Забруднення і антропогенні зміни природних умов діють на живі організми аналогічно до природних факторів. Фізичні та хімічні методи індикації дають кількісні та якісні характеристики фактора, але дозволяють лише опосередковано судити про його біологічну дію. За допомогою біоіндикації можна отримати інформацію про біологічні наслідки і зробити лише опосередковані висновки про особливості самого фактора.

Для біоіндикації придатні два методи: пасивний і активний моніторинг.

Пасивний моніторинг – у вільноживучих організмів досліджують видимі і непомітні пошкодження або відхилення від норми, які є ознаками стресового впливу. При *активному моніторингу* намагаються виявити ті ж самі впливи на *тест-організмах*, які перебувають в стандартних умовах на досліджуваній території чи акваторії.

З метою біоіндикації антропогенних змін водних екосистем можна використати усі групи організмів, які живуть у водному об'єкті. Кожна група організмів у ролі біоіндикатора має свої переваги та недоліки. Найчутливішими біоіндикаторами є стенотопні види, які здатні існувати в обмеженій зоні зміни фактора, більшість з яких зазвичай рідкісні.

Біоіндикатор можна визначити як організм або біологічна реакція, яка виявляє присутність забруднюючих речовин щодо появи типових симптомів або вимірних реакцій. Ці організми (або спільноти організмів) передають інформацію про зміни в навколишньому середовищі або кількість забруднювачів навколишнього середовища, змінюючись одним із таких способів: фізіологічним, хімічним або поведінковим.

Як біоіндикатори можна використовувати цілий ряд водних організмів. Для ефективного відбору водних організмів як біоіндикаторів вони повинні відповідати таким критеріям: Хороша індикаторна здатність:

- надає вимірювані відповіді;

- реакція відбиває реакцію всієї популяції/ угруповання/ екосистеми;
- реагує пропорційно до ступеня забруднення або деградації.

Численні та поширені види:

звичайний вид, включаючи поширення у межах зони дослідження;

- відносно стабільний, незважаючи на помірну мінливість клімату та навколишнього середовища.

Добре вивчені види:

- еколого-біологічні характеристики добре досліджені;
- таксономічно добре документований та стабільний.

Економічно/комерційно важливі:

- види, які вже виловлюються для інших цілей (види рибальства та аквакультури часто використовуються як біоіндикатори);
- існує суспільний інтерес до цього виду чи поінформованість про нього;
- легко та недорого провести обстеження.

Можна відстежувати декілька параметрів:

- біорізноманіття загальне;
- наявність або відсутність певних видів: багато видів чутливі до певних забруднюючих речовин, інші стійкі, а треті «процвітають» у несприятливих умовах;
- рівні різних відомих забруднювачів (важких металів, антибіотиків, нафтопродуктів тощо);
- морфологічні зміни;
- біохімічні зміни;
- генетичні зміни;
- поведінкові зміни;
- і т.д.

Мікрводорості є біоіндикаторами евтрофікації і ефективно використовуються для оцінки якості води. Домінування зелених і діатомових водоростей вказує на оліготрофність водойм, тоді як велика кількість ціанобактерій

(синьо-зелених водоростей) свідчить про високу трофічність водойм.

Макрофіти як біоіндикатори. Водна рослинність відіграє важливу роль у геохімії води та донних відкладень, оскільки поглинає поживні речовини з донних відкладень та води через корені/кореневища. Здатність накопичувати забруднювачі робить макрофіти хорошим індикатором локального забруднення, оскільки вони постійно «перебувають на місці» де і зазнають впливу забруднень.

Земноводні, особливо безхвості тварини (жаби і ропухи), все частіше використовуються як біоіндикатори накопичення забруднюючих речовин у наукових дослідженнях. Безхвості тварини поглинають токсичні хімічні речовини через шкіру та личинкові зяброві мембрани і дуже чутливі до змін у навколишньому середовищі.

Молюски, особливо двостулкові, часто використовуються як біоіндикатори, оскільки це сидячі організми – фільтратори, які постійно зазнають впливу місцевих умов і є репрезентативними для середовища, де їх відбирають.

Риби, є відносно довгоживучими тваринами і зустрічаються на різних трофічних рівнях, отже, часто використовуються як біоіндикатори, оскільки можуть реагувати на безліч фізичних, хімічних і біологічних процесів у водному середовищі в широких часових масштабах.

Водні ссавці, особливо морські, також часто використовуються як біоіндикатори для оцінки екологічного стану. Подібно до риб, завдяки своєму положенню на вершині харчового ланцюга, довгому терміну життя та довгому біологічному періоду напіврозпаду забруднюючих речовин, ссавці накопичують значні обсяги різних токсичних речовин.

5. Сапробність водних об'єктів

Розробка методів біоіндикації триває від початку ХХ ст. з робіт Р. Кольквітца і М. Марссона, які склали перші списки індикаторних організмів зон сапробності в 1908–1909 роках, як дослідження біологічних наслідків органічного забруднення

водних об'єктів. Впродовж усього ХХ-го ст. ці списки розширювалися, накопичувалися результати досліджень і оцінки видових коефіцієнтів сапробності. До переліку сапробних організмів включені організми різних систематичних груп – від вищих водних рослин і водоростей до безхребетних різних екологічних груп та риб.

Отже, за рівнем органічного забруднення розрізняють полі-, мезо-, оліго- та ксеносапробні води, а гідробіонтів, які живуть в них – полі-, мезо- і олігосапроби. Розрізняють класи якості води, наприклад, якщо вода дуже чиста, то зона сапробності – катаробна або ксеносапробна (табл. 3). Відповідно, катароби – це мешканці особливо чистих, багатих киснем вод. Гіперсапроби – це мешканці особливо брудних вод.

Таблиця 3

Співвідношення класів якості вод та сапробності
(Дудник, Євтушенко, 2013)

Клас якості води	Індекс сапробності	Зона сапробності
Дуже чиста	<0,50	ксеносапробна
Чиста	0,50 – 1,50	олігосапробна
Помірно забруднена	1,51 – 2,50	β-мезосапробна
Забруднена	2,51 – 3,50	α-мезосапробна
Дуже брудна	>3,50	полісапробна

Полісапробна зона. Полісапробні води дуже забруднені, утворюються в місцях скиду комунально-побутових стічних вод, стоків харчової промисловості тощо. Тут у воді містяться біополімери – білки, поліпептиди, вуглеводи, а також гази – діоксид вуглецю, метан, сірководень. Розчиненого кисню або немає, або містяться його сліди, БСК₅ – 40 мгО₂/дм³ (Романенко, 2001). Тут живе обмежене число видів, але вони розвиваються масово: бактерії, інфузорії, джгутикові, черви і личинки мух. В полісапробних водах може виявлятися кишкова паличка у значній кількості.

Мезосапробна зона. У мезосапробних водах відсутні складні біополімери, такі як білки і поліпептиди, проте присутні слобоокиснені азотисті сполуки – аміак, аміно- та амідокислоти. Тут більше кисню, значно менше діоксиду вуглецю та

сірководню. У мезосапробних водах живуть організми, які витримують помірне забруднення органічними речовинами. На відміну від полісапробів, мезосапроби більш вимогливі до наявності вільного кисню у воді й продуктів розкладу білків, а саме амонію та нітратів. Мезосапробні води поділяються на α - і β -мезосапробні.

В *α -мезосапробних* водах наявні аміак, нітрити, амідо- й амінокислоти. Показник БСК₅ становить близько 4–12 мгО₂/дм³. α -Мезосапробні організми: бактерії, деякі гриби, різні види водоростей, війчасті інфузорії, коловертки, ракоподібні, молюски, личинки двокрилих, олігохети та інші бентосні безхребетні. Усі вони витримують значний дефіцит кисню у воді. Тут трапляється кишкова паличка. Іхтіофауни в цих водах немає (Романенко, 2001).

β -мезосапробна зона характеризується меншим вмістом амонійного та нітритного азоту і переважанням нітратів, а також слідами сірководню. Є певний дефіцит кисню у воді. БСК₅ становить близько 1,7–4,0 мг О₂/дм³. Тут спостерігається велике біорізноманіття: водорості, водні макрофіти, найпростіші тварини (корененіжки, джгутикові, інфузорії, коловертки), війчасті черви, трапляються молюски, ракоподібні, губки, моховатки. Тут можуть жити невибагливі до вмісту розчиненого кисню види риб – карась, короп, лин, в'юн, голец та ін. (Романенко, 2001).

Олігосапробна зона характеризується вищим вмістом розчиненого кисню, зі сполук азоту можуть виявлятися нітрати, сірководню немає, показник БСК₅ не перевищує 1,6 мг О₂/дм³. Біорізноманіття велике, тут виявляють різноманітні водорості та безхребетних (коловерток, ракоподібних, молюсків). Серед рибного населення – форель, судак, окунь, стерлядь, гольян, синець, сиг, мінога, харіус та ін.

Зміну зон сапробності найзручніше спостерігати на прикладі малих річок із повільною течією й одним джерелом забруднення, яке формує умови полісапробної зони, що вниз за течією змінюється послідовно α -, β - та олігосапробними зонами (Романенко, 2001). Відомо, що зообентос є добрим, а у ряді випадків єдиним біоіндикатором забруднення донних

відкладень і придонного шару води. Гуднайт і Л.Уїтлей запропонували визначати стан донних відкладень і придонного шару води за відносною чисельністю олігохет, які у місцях скиду стічних вод розвиваються у масових кількостях.

ТЕМА 10. НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА АКВАКУЛЬТУРИ, МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ

План

1. Огляд національних і міжнародних організацій та нормативних актів щодо здоров'я риб, аквакультури та рибальства.
2. Аквакультура. Види аквакультури.
3. Принципи сталої аквакультури.
4. Рекомендації щодо сталого розвитку аквакультури від FAO.
5. Моніторинг та оцінка якості води в Україні.

1. Огляд національних і міжнародних організацій та нормативних актів щодо здоров'я риб, аквакультури та рибальства

Європейське законодавство. Європейський Союз (ЄС) заснований на верховенстві права. Це означає, що кожна діяльність, яку здійснює ЄС, ґрунтується на договорах, які були схвалені його членами. Закони допомагають досягати цілей договорів і втілювати політику ЄС на практиці. Однак це не означає, що всі країни – члени ЄС мають однакові закони. Єдиною вимогою є те, що кожна країна-член ЄС інтегрує європейське законодавство у своє національне законодавство, але кожен член має право додавати додаткове законодавство, якщо воно не суперечить загальноєвропейському. Наприклад, країни ЄС мають різну політику щодо використання антибіотиків в аквакультурі та різні списки хвороб, які підлягають обов'язковому декларуванню.

Оприлюднення інформації про те, хто отримує фінансування від ЄС, є одним із ключових завдань Європейської

ініціативи прозорості. Є фонд, який напряду стосується нашої спеціальності – Європейський фонд морського господарства, рибальства та аквакультури (*англ.* European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund, EMFAF) із загальним бюджетом на 2021-2027 роки становить 6,108 млрд. євро.

Загальноєвропейський спільний проект, започаткований Європейською комісією з метою вивчення ролі рибалок у суспільстві до 2050 року – це форсайт-дослідження «Рибалки майбутнього» (*англ.* Fishers of the Future). Це дослідження триває з жовтня 2023 року до кінця 2024 року, розглядає рибалок, їхні «надії, страхи, очікування та потреби, щоб зрозуміти, як ця професія, ймовірно, буде розвиватися до 2050 року». Дослідження зосереджено на рибалках, які працюють у прибережних водах 22 держав-членів ЄС. Як вказує Європейська комісія: «Краще розуміючи можливості траєкторії ролі рибалок і галузі в цілому, ми можемо краще розробляти політику, яка підтримує стале, процвітаюче та інклюзивне рибальство в довгостроковій перспективі».

Референс-лабораторія Європейського Союзу (*англ.* European Union Reference Laboratory, EURL) із захворювань риби та ракоподібних, яка фінансується Європейською комісією та розташована у відділі хвороб риби та молюсків Національного інституту водних ресурсів Технічного університету Данії. Функції та обов'язки лабораторії пов'язані з гармонізацією діагностичних процедур для захворювань риб та ракоподібних, які підлягають реєстрації в Європі.

На сайті Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (*англ.* Food and Agriculture Organization, FAO) можна подивитися короткий огляд національного законодавства про аквакультуру, він включає багато корисної інформації, зокрема закони та міжнародні угоди.

Українське законодавство. Усі закони прийняті Верховною Радою України (ВРУ) можна переглянути на сайті ВРУ. Зокрема, і прийнятий у 2013 році Закон України «Про аквакультуру».

Міністерство аграрної політики та продовольства. Це, як зазначено на сайті: «Головний орган у системі центрального

уряду, відповідальний за нагляд та реалізацію національної сільськогосподарської політики, включаючи політику щодо сільського господарства та продовольчої безпеки, державну політику у сфері рибальства та охорони рибальства, використання та відтворення водних ресурсів, регулювання рибальства та морської безпеки, ветеринарна медицина, охорона видів, земельні питання, картографування та топографування, лісове та мисливське господарство, нагляд (моніторинг) у сільському господарстві».

Державне агентство меліорації та рибного господарства України (Держрибагентство) — центральний орган виконавчої влади, діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра аграрної політики та продовольства України.

Міжурядова організація – Всесвітня організація охорони здоров'я тварин (*англ.* World Organisation for Animal Health, WOAH). Як зазначено на сайті організації: «Ми є світовим авторитетом у галузі охорони здоров'я тварин. Заснована в 1924 році як Міжнародне бюро епізоотій, у травні 2003 року ми прийняли загальну назву Всесвітня організація охорони здоров'я тварин. Будучи міжурядовою організацією, ми зосереджуємося на прозорому поширенні інформації про хвороби тварин, покращенні здоров'я тварин у всьому світі та, таким чином, на побудові безпечнішого, здоровішого та стійкішого світу».

2.Аквакультура. Види аквакультури

Відповідно до визначення у Законі України «Про аквакультуру»: «Аквакультура (рибництво) – сільськогосподарська діяльність із штучного розведення, утримання та вирощування об'єктів аквакультури у повністю або частково контрольованих умовах для одержання сільськогосподарської продукції (продукції аквакультури) та її реалізації, виробництва кормів, відтворення біоресурсів, ведення селекційно-плеємної роботи, інтродукції, переселення, акліматизації та реакліматизації гідробіонтів, поповнення

запасів водних біоресурсів, збереження їх біорізноманіття, а також надання рекреаційних послуг» (ВРУ, 2013).

Аквакультура – це розведення і вирощування риби, молюсків, водоростей та інших організмів у всіх типах водного середовища. Однією з головних цілей аквакультури є забезпечення сталого джерела білка для виробництва їжі. Однак аквакультура має багато інших функцій – від рекреаційного рибальства до науки:

- декоративні види риб для акваріумів (чим більше екзотики, тим більше прибуток);
- живий корм для інших видів аквакультури або для відновлення природних популяцій;
- водні екосистеми для рекреаційної діяльності (спортивне рибальство);
- боротьба з шкідниками (введення виду для боротьби з іншим видом або хворобою);
- наукові дослідження.

Розрізняють три основні форми аквакультури: екстенсивна, напівінтенсивна та інтенсивна (табл. 4).

Екстенсивні системи характеризуються такими рисами:

- втручання людини дуже обмежене;
- використовуються природні або штучні водойми;
- зазвичай використовується природні кормові ресурси (що часто призводить до явища канібалізму);
- виробництво зазвичай невелике, як і прибуток;
- здебільшого розташовані в сільській місцевості з низьким рівнем доходу (населення бере лише те, що йому потрібно);
- незначний вплив на екосистеми та якість води.

Напівінтенсивні системи характеризуються такими рисами:

- вбудовуються в естуарії, річки або моря, а також розташовуються на суші;
- вибирають види, які будуть вирощуватися, і годують їх, як правило, комерційними кормами;
- використовуються або монокультура або полікультура;

Таблица 4

Форми аквакультури: визначення (ВРУ, 2013)

Форма аквакультури	Визначення
Екстенсивна	організаційно-технологічна форма рибогосподарської діяльності у сфері аквакультури, за якої вирощування об'єктів аквакультури здійснюється з використанням природних кормових ресурсів рибогосподарських водних об'єктів (їх частин) без застосування засобів інтенсифікації
Напівінтенсивна	організаційно-технологічна форма рибогосподарської діяльності у сфері аквакультури, що здійснюється із застосуванням окремих засобів інтенсифікації, у тому числі з обмеженою штучною підгодівлею кормами різної поживності
Інтенсивна	організаційно-технологічна форма рибогосподарської діяльності у сфері аквакультури, за якої вирощування об'єктів аквакультури здійснюється з ущільнених посадок з інтенсивною штучною годівлею комбікормами, збалансованими за складом відповідно до біологічних потреб конкретних гідробіонтів, та іншими кормами з високою поживністю

- проводять калібрування тварин, що зводить до мінімуму самохижацтво;
- це продуктивніша система, ніж екстенсивна (більше тварин на м³);
- дорожча, інвестиції набагато вищі;
- використовується більше води → більше відходів, більше забруднення, більша ймовірність інших екологічних проблем...

У напівінтенсивних системах використовують:

- 1) *Проточні системи* з прісною або солоною водою – для видів, яким потрібен постійний потік води, таких як форель, сом, тиляпія, молодь лосося. Іноді тварин розташовують послідовно, щоб зменшити витрати –

тварини меншого розміру розміщуються вгорі за течією і вони переміщуються вздовж проточної системи по мірі росту.

- 2) *Басейни* з прісною або солоною водою. Використовуються у контрольованих/закритих приміщеннях для виробництва ікри і мальків, а також утримання плідників. Ретельно контролюється кожен басейн, який є практично незалежним.
- 3) *Водні об'єкти на відкритому повітрі* для вирощування та відгодівлі тварин. Така система зазнає впливу умов навколишнього середовища, наприклад стави з солоною водою. Маючи високу продуктивність, вони можуть займати дуже великі площі в прибережних або гирлових районах. Тут легкий доступ до води необхідної для обслуговування системи.

У глобальному вимірі прісноводне ставове рибництво менш розповсюджене. В цілому ці технології дорожчі та проблематичні, оскільки використовують ресурс, важливий для виживання людини – прісну воду. В багатьох країнах діють обмежувальні закони щодо їх реалізації.

Плаваючі садки

- прісна вода (розташовують на річках);
- солонуваті води (естуарії);
- солоні води (шельф/відкрите море).

Плюси:

- висока продуктивність;
- більш «природне» середовище та постійне самоочищення води.

Мінуси:

- контроль якості води відсутній;
- вплив умов довкілля та можливих хижаків;
- для доступу зазвичай використовуються плавзаоби (це зумовлює зростання витрат – весь персонал, обладнання, продукти харчування та тварини повинні перевозитися з суші на систему та з системи на сушу);
- вищі витрати на годівлю.

Інтенсивні системи характеризуються такими рисами:

- вони продуктивніші та прибутковіші, мають найкращий імідж на ринку;
- за ідеєю повинні займати менше місця через більшу щільність посадки тварин на м³, але насправді займають стільки ж або навіть більше (більше риби = більше прибутку);
- вироблена риба вважається свіжішою (це зазвичай пов'язано з підрозділами переробки та розподілу товарів);
- більше забруднюючих речовин, більше органічних речовин та відходів;
- повинні бути забезпечені власними системами очищення стічних вод;
- найдорожче – це початкові інвестиції, обслуговування, та вартість робочої сили.

В даний час багато цих систем контролюються великими транснаціональними корпораціями та практично незалежні від зовнішнього світу. Вони мають зони розведення, вирощування/відгодівлі та переробки/розподілу товарів. Органічні відходи переробляються та використовуються для удобрення прилеглих сільськогосподарських полів. Надлишки продукції тваринництва та рослинництва використовуються для виробництва кормів для риб.

3.Принципи сталої аквакультури

Стала аквакультура (*англ.* Sustainable aquaculture) означає відповідальне та екологічно чисте вирощування гідробіонтів. Для досягнення сталості в аквакультурі зазвичай рекомендуються кілька принципів і практик (також відомих як найкраща практика управління (*англ.* Best Management Practices, BMP), а також прийнято багато законів, щоб забезпечити їх ефективність, які, на жаль, здебільшого не виконуються. Мета цих принципів полягає в тому, щоб підтримувати корисний і мінімізувати негативний вплив на довкілля, забезпечити

соціальну відповідальність і, звичайно, підтримувати економічну життєздатність.

Рекомендації щодо сталого розвитку аквакультури (англ. Guidelines for Sustainable Aquaculture). Керівні принципи (GSA, 2024):

а) *Стійкість*: прагнення досягти економічної, соціальної та екологічної стійкості, здоров'я та добробуту тварин і життєздатності в аквакультурі за допомогою структур управління та стратегій, які відображають місцеві, національні чи регіональні реалії, є кліматичними, соціально, економічно та екологічно безпечними.

б) *Охорона довкілля*: відповідальне використання та захист природного середовища за допомогою природоохоронних та стійких практик для кількісного підвищення стійкості екосистеми та добробуту людей.

в) *Верховенство права*: ухвалення законів і нормативних актів, які є широко доступними, застосовуються до всіх, однаково застосовуються та виносяться незалежними рішеннями, відповідають зобов'язанням згідно з національним, регіональним та/або міжнародним правом, а також з належним урахуванням зобов'язань відповідно до добровільно застосовуваних регіональних і міжнародних інструментів.

г) *Відсутність дискримінації та повага до культур*: сприяння усуненню всіх видів дискримінації в політиці та на практиці в аквакультурі, визнання та повага до існуючих форм організації, традиційних і місцевих знань, а також практики спільнот аквакультури.

д) *Рівність і справедливість*: сприяння справедливості та справедливому поводженню – як юридично, так і на практиці – для всіх, включаючи дотримання всіх прав людини, використовуючи позитивні дії або преференційне ставлення, де це необхідно, для досягнення справедливих результатів і рівних можливостей, особливо для жінок, молоді, уразливих та маргіналізованих груп, корінних громад та етнічних меншин, дрібних фермерів та людей з обмеженими можливостями.

е) *Консультації та участь*: забезпечення вільної ефективної та поінформованої участі всіх зацікавлених сторін в

прийнятті рішень, сприяння міцному партнерству між різними учасниками та механізмам вирішення конфліктів з урахуванням існуючого дисбалансу сил між різними особами та групами.

г) *Прозорість і підзвітність*: чітке визначення, широке оприлюднення та забезпечення доступності політики, законів, нормативних актів, процедур і рішень, покладення відповідальності на окремих осіб, державні установи та недержавні суб'єкти відповідальності за їхні дії та рішення відповідно до принципів верховенства права.

h) *Цілісний та інтегрований підходи*: визнання, прийняття та впровадження екосистемного підходу до аквакультури (*англ.* Ecosystem Approach to Aquaculture, ЕАА) як ключової стратегії для інтеграції діяльності аквакультури в більш широку екосистему, щоб вона сприяла сталому розвитку, справедливості та стійкості взаємопов'язаних соціально-екологічних систем та забезпечувала ефективну координацію між різними відповідними секторами та узгоджувала економічні, соціальні та екологічні цілі; а також забезпечення інтеграції аквакультури в підхід сталої продовольчої системи.

«Блакитна трансформація» (*англ.* Blue transformation) – це ініціатива Організації Об'єднаних Націй, спрямована на реалізацію потенціалу океанів для підтримки глобальної продовольчої безпеки (FAO, 2022).

«Блакитна трансформація» – це втілення стійких, продуктивних, гнучких і справедливих водних продовольчих систем. Водні продовольчі системи охоплюють увесь спектр суб'єктів та їхню взаємопов'язану діяльність із створенням доданої вартості, яка бере участь у виробництві, накопиченні, обробці, розподілі, споживанні та утилізації продовольчих продуктів, які походять від рибальства та аквакультури, а також частин більш широкого економічного, соціального та природного середовища, в яких вони розміщені (наприклад, відкритий океан, прибережні води, водно-болотні угіддя, озера, річки, ставки, канали, поля та басейни) (FAO, 2008).

Таблиця 5

 Цілі та завдання дорожньої карти «Блакитної трансформації»
(FAO, 2022)

ДОРОЖНЯ КАРТА БЛАКИТНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ		
АКВАКУЛЬТУРА	РИБАЛЬСТВО	ЛАНЦЮЖКИ ВАРТОСТІ
<p>Мета: стала інтенсифікація та розширення аквакультури задовольняє глобальний попит на продукти харчування з водного середовища та справедливо розподіляє вигоди.</p>	<p>Мета: ефективне управління всіма рибними промислами забезпечує здорові запаси та забезпечує справедливі засоби до існування</p>	<p>Мета: оновлені ланцюжки вартості забезпечують соціальну, економічну та екологічну життєздатність водних харчових систем. Ціль: Модернізовані виробничо-збутові ланцюжки забезпечують соціальну, економічну та екологічну життєздатність водних продовольчих систем.</p>
<p>Завдання: Ефективне глобальне та регіональне співробітництво, планування та управління. Блакитна трансформація. Інноваційні технології та управління підтримують розширення стійких і стійких систем аквакультури. Рівний доступ до ресурсів і послуг створює нові та захищає існуючі засоби до існування, засновані на аквакультурі. Діяльність аквакультури мінімізує вплив на навколишнє середовище та ефективно використовує ресурси. Регулярний моніторинг і звітність про зростання та екологічні, соціальні та економічні наслідки розвитку аквакультури</p>	<p>Завдання: Ефективна політика, структури управління та інституції підтримують рибальство. Рівний доступ до ресурсів і послуг покращує засоби до існування рибалок і рибальських працівників. Ефективні системи управління рибальством спрямовані на досягнення екологічних, соціальних та економічних цілей, враховуючи при цьому компроміси. Рибальський флот є ефективним, безпечним, інноваційним і прибутковим.</p>	<p>Завдання: Ефективні ланцюжки створення вартості, що підвищують прибутковість і зменшують втрати харчових продуктів і відходи. Прозорі, інклюзивні та гендерно справедливі ланцюжки створення вартості підтримують стійкі засоби до існування. Більш ефективний доступ продуктів рибальства та аквакультури до міжнародних ринків. безпека харчування Розширений доступ до здорової, безпечної та високоякісної водної їжі</p>

4. Рекомендації щодо сталого розвитку аквакультури від FAO

Вибір ділянки. Для об'єктів аквакультури потрібно вибрати відповідні місця, щоб мінімізувати вплив на довкілля, враховуючи такі фактори, як наявність і якість води, стан екосистеми та вразливість сусідніх екосистем. Раніше аквакультурні господарства розміщувалися майже скрізь і часто дуже близько одне від одного. Тому, якщо якість захворювання риби чи інших гідробіонтів з'являлося в одному господарстві – через деякий час воно з'являлося в усіх інших поруч. На даний час рекомендована мінімальна відстань, якої необхідно дотримуватися між різними об'єктами аквакультури.

Управління водними ресурсами. Вода життєво важлива для аквакультури, тому потрібно гарантувати її доступність та якість, здійснювати моніторинг і контроль параметрів якості для забезпечення здорового середовища для культивованих видів.

Обов'язково потрібно впроваджувати заходи щодо ефективного використання води. Уся вода яка використовується повинна бути очищена через системи очищення для відновлення її якості та зниження ризиків забруднення, зараження або поширення хвороб. В ідеалі система має бути максимально закритою, з мінімальними втратами та якомога меншим потраплянням нової води в систему.

Вибір виду. В ідеалі будь-яка інтродукція в аквакультури вважається небажаною, але якщо це справді необхідно, потрібно обирати місцеві види, або види добре пристосовані до місцевого середовища, зменшуючи ризик інтродукції інвазивних видів.

Нові інтродукції повинні відповідати набору вимог, перш ніж отримати дозвіл від відповідних органів. Наприклад, Американське товариство рибальства обґрунтовує наступні вимоги:

- причини введення повинні бути чітко викладені та продемонстровані;
- пошук інформації про ті види, які можуть бути найуспішнішими, разом із позитивними та небажаними аспектами у кожному випадку;

- попередня оцінка впливу: враховується вплив на екосистему (спочатку потрібно вивчити вплив виду на його природне середовище існування);
- експериментальне дослідження інтродукції виду в обмежений простір (наприклад, експериментальні стави); таке дослідження повинні проводити компетентні органи;
- огляд: проведені дослідження має бути доступним для перегляду відповідальною, досвідченою та компетентною групою експертів;
- оцінка або рекомендація: слід підготувати та опублікувати повні звіти;
- інтродукція виду якщо відгук схвальний; її потрібно відслідковувати та оприлюднювати результати (такого насправді ніколи не робиться, багато видів було завезено по всьому світу без особливого розгляду можливого впливу з єдиної причини: «це добре для економіки» або «це забезпечить їжею»);
- запобігання втечі культивованих видів: потрібно застосовувати заходи для запобігання втечі вирощуваних видів для захисту диких популяцій та екосистем; і у протилежному напрямку – гарантувати, що дика природа не заважатиме виробництву і не завдасть йому шкоди;
- стійкі корми: використовувати екологічно чисті та відповідально отримані корми, зменшуючи залежність від виловленої в дикій природі риби для годівлі та забезпечуючи збалансоване харчування для вирощуваних тварин (але це може створити додаткові проблеми, оскільки передбачає вирощування інших видів риб для годування видів, які добре себе почувають, харчуючись живим кормом...)

Конверсія корму. Потрібно оптимізувати ефективність перетворення корму на біомасу риби, щоб зменшити кількість, необхідну для виробництва певної кількості рибопродуктів. Багато наукових колективів і виробників у всьому світі постійно працюють над розробкою нових ефективніших кормів.

Заходи біозахисту. Необхідно впроваджувати суворі протоколи біозахисту, щоб запобігти інтродукції та поширенню

захворювань усередині та між об'єктами аквакультури (у поєднанні з вибором місця): захворювання проникає в систему – погано; захворювання виходить за межі – ще гірше.

Моніторинг здоров'я. Необхідно регулярно стежити за станом здоров'я тварин, які вирощуються, і вживати відповідних заходів для запобігання та боротьби із захворюваннями. Навіть якщо все здається добре, це може бути не так...

Соціальна відповідальність. Потрібно залучати місцеві громади до процесів прийняття рішень і враховувати соціальні та культурні особливості. Забезпечити справедливу заробітну плату та безпечні умови праці для працівників аквакультури та сприяти справедливій торговельній практиці та доступу на ринок для сталої продукції аквакультури (особливо в країнах третього світу). Крім того, фахова освіта має вирішальне значення (краще мати одного висококваліфікованого високооплачуваного спеціаліста, ніж 5 некваліфікованих і низькооплачуваних).

Сертифікація третьою стороною. FAO рекомендує отримати сертифікат від компетентних органів. Наприклад таких, як Наглядова рада з аквакультури (*англ.* Aquaculture Stewardship Council, ASC) або Найкращі практики аквакультури (*англ.* Best Aquaculture Practices, BAP), щоб продемонструвати дотримання екологічних вимог.

Багато з цих процесів ґрунтуються на взаємній довірі, що сертифікатор підтримуватиме сертифікацію до тих пір, поки дотримуються умов (іноді правила змінюються без причини, і виникає потреба в повторній сертифікації), і що сертифікований продовжуватиме дотримуватися умов і не почне їх порушувати.

Запроваджено Національні програми сертифікації:

Нідерланди. Встановлення стандарту для морепродуктів.

Сайт – <https://asc-aqua.org/>

США. Найкращі практики аквакультури (BAP) гарантує, що аквакультура ведеться відповідально через свою програму сертифікації третьою стороною.

Сайт – <https://www.bapcertification.org>

Дослідження та інновації. Постійні інвестиції в дослідження та розробки мають вирішальне значення для

вдосконалення технологій аквакультури, зменшення впливу на довкілля, підвищення ефективності запобігання захворюванням і боротьби з ними та підвищення загальної стійкості цієї галузі.

Не завжди можна отримати короткостроковий прибуток, тому іноді інвестиція вважається не вигідною. Не будьте недалекоглядними, завжди думайте наперед!

4. Моніторинг та оцінка якості води в Україні

Найчастіше термін «якість води» використовується як посилання на набір стандартів (хімічні, фізичні та біологічні характеристики), за якими можна оцінити придатність води для різних потреб: питного водопостачання, рекреації, для ведення рибного господарства тощо (Cordy, 2001; Johnson et al., 1997).

Стандарти використовуються для моніторингу та оцінки якості води, наприклад, відповідність рибогосподарським вимогам ($ГДК_{\text{риб}}$) встановлюють за формулою (1):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_3}{ГДК_3} \dots \frac{C_n}{ГДК_n} < 1, \quad (1)$$

де $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ – концентрації окремих речовин; $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_3 \dots ГДК_n$ – гранично допустимі концентрації цих речовин.

Результати гідрохімічних аналізів за безліччю показників дають можливість визначати перевищення, проте наведена формула не враховує ні взаємодії між речовинами, ні можливості утворення з них більш чи менш токсичних речовин, ні характеру їх спільної дії на живі організми, який може бути антагоністичним або синергічним (Романенко, 2001).

Крім господарських потреб, якість води оцінюють з екологічної точки зору, або здійснюють оцінку здоров'я водної екосистеми. В Україні, зокрема, для гідроекологічної оцінки застосовують «Методику екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями», кількісним узагальненням якої є інтегральний екологічний індекс (I_e), який встановлюється за трьома блоковими індексами (за компонентами сольового складу, трофо-сапробіологічними показниками і специфічними показниками токсичної та радіаційної дії) (Романенко та ін.,

1998). Узагальнені блокові індекси якості води визначають за середніми і найгіршими значеннями. Екологічний індекс якості поверхневих вод за нормативами комплексної екологічної класифікації обчислюється за формулою (2):

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (2)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу; I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників; I_3 – індекс специфічних показників.

Узагальнені результати гідроекологічної оцінки подаються у вигляді категорій (від 1 до 7) і класів якості води (від I до V) та відображають ступінь її чистоти чи забрудненості (Мацнев та ін., 2000).

ТЕМА 11. АКВАКУЛЬТУРА ТА ЯКІСТЬ ВОДИ

План

1. Вплив аквакультури на якість води.
2. Успішна і неуспішна аквакультура.
3. Україна на шляху до успішної аквакультури.

1. Вплив аквакультури на якість води

Аквакультура може мати різний вплив на якість води, і ці ефекти залежать від таких факторів:

- масштаб аквакультурного господарства,
- види, які культивуються,
- методи управління, які застосовуються,
- характеристики місцевого середовища.

Збагачення поживними речовинами. Нез'їдений корм та фекалії культивованих організмів можуть сприяти збагаченню води поживними речовинами. Таке збагачення може призвести до підвищення рівня азоту та фосфору, що потенційно може спричинити «цвітіння» води та виснаження вмісту розчиненого кисню. Це також може змінити процеси кругообігу поживних речовин у водних екосистемах, впливаючи на баланс між надходженням поживних речовин та процесами їх видалення.

Виснаження концентрації розчиненого кисню.

Розкладання нез'їденого корму, фекалій та мертвих організмів споживає кисень у воді. В інтенсивних системах аквакультури висока щільність посадки може посилити потребу в кисні, що призводить до зниження рівня розчиненого кисню та створення «мертвих зон» (гіпоксії).

Розсіювання та накопичення забруднюючих речовин і хімічних речовин. Використання антибіотиків та інших хімічних речовин в аквакультурі для профілактики та боротьби з хворобами може призвести до потрапляння забруднюючих речовин у воду. Неправильне або надмірне використання цих речовин може мати негативний вплив на водні екосистеми та нецільові види. Однією з найбільших проблем є мультирезистентність мікроорганізмів до антибіотиків.

Перенесення збудника/поширення хвороби. Об'єкти аквакультури можуть переносити патогени, а спалахи захворювань у господарствах можуть призвести до викиду інфекційних агентів у навколишні води, вражаючи дикі популяції. Ризик захворювань протікає в обидва боки: фермерські та дикі популяції мають потенціал для передачі хвороб та занесення немісцевих патогенів та паразитів.

Втечі тварин. Основна проблема, яка пов'язана з рибами-втікачами, полягає в тому, що вони впливають на дику рибу або через конкуренцію за їжу або середовище проживання, хвороби, або через репродуктивне змішування (яке часто знижує генетичну різноманітність). Як правило, одомашнена риба, виведена в неволі, погано приживається і погано пристосована до життя в дикій природі. Втікачі швидко стають здобиччю інших хижаків, що знижує їх потенціал конкуренції за їжу та місце існування.

Як мінімізувати вплив аквакультури на якість води. Щоб пом'якшити ці наслідки та сприяти стійкій аквакультурі, операторам важливо застосовувати найкращі практики управління (англ. Best management practices, BMP). Правильний вибір місця, ефективне керування водними ресурсами, утилізація відходів, використання екологічно безпечних кормів тощо. Нормативно-правова база та програми сертифікації,

наприклад, опікунська рада з аквакультури (*англ.* Aquaculture Stewardship Council, ASC), Краща практика аквакультури (the Best Aquaculture Practices, BAP), також відіграють роль у заохоченні відповідальних практик аквакультури, що мінімізують вплив на навколишнє середовище.

2. Годівля риб та якість води

Як правило при штучній годівлі риба з'їдає лише частину внесеного корму. Тварини швидко поглинають гранули корму, і при обережному годуванні споживається 90% корму або більше. Приблизно 80-90% корму, який їдять культивовані тварини, всмоктується через кишечник, а решта виділяються як екскременти (Boyd & Tucker, 2019). Засвоєні поживні речовини використовуються для підтримання загального метаболізму і, меншою мірою, для росту. Вода, вуглекислий газ, аміак, фосфат та інші сполуки виділяються як відходи обміну речовин.

Відносно невелика кількість поживних речовин з корму втілюється в біомасі тварин. В одному прикладі (за Boyd & Tucker, 2019), вирощені в аквакультурі креветки містили лише 12,2% вуглецю, 25,8% азоту та 14,2% фосфору зі складу корму. При вирощуванні риб, відсоток кормового вуглецю та азоту, засвоєні рибою, такий же, як і для креветок. Однак, на відміну від креветок, кістки риби складаються з фосфату кальцію і, отже, містять більше фосфору, ніж креветки. Відсоток кормового фосфору, видаленого в рибі під час вилову, зазвичай становить близько 25–35% (Boyd & Tucker, 2019).

Відходи від годівлі значно впливають на якість води ставів. На додаток до аміаку, фосфату та інших речовин, які виділяються безпосередньо тваринами, мікроорганізми розкладають органічні речовини в нез'їденому кормі та фекаліях і виділяють ті самі речовини в процесі мінералізації. У процесі розкладу також використовується розчинений кисень та виділяється вуглекислий газ.

Аміак і фосфат стимулюють ріст планктонних і бентосних водоростей. Чисельність водоростей у ставах зростає зі збільшенням надходження корму. Стави з великою біомасою

водоростей до рівня «цвітіння» води зазвичай мають високу концентрацію розчиненого кисню вдень, але низьку вночі, що може викликати стрес або задуху видів, які вирощуються.

Коли добові норми годування перевищують 30–40 кг/га, концентрація кисню часто падає до рівня менше 3–4 мг/л вночі. Низький вміст кисню створює стрес для культивованих видів, тому при вищих добових нормах годування необхідна механічна аерація. Також необхідно контролювати рівень розчиненого кисню, навіть у ставах з механічною аерацією, щоб уникнути надмірного введення корму щодо обсягу застосованої аерації (Boyd & Tucker, 2019).

Іноді використовується інтенсивний водообмін для вимивання планктону та поживних речовин зі ставів і покращення якості води. Однак така практика може призвести до погіршення якості води у водоймах-приймачах.

Стави мають значну здатність асимілювати відходи, що утворюються в результаті додавання кормів. Як згадувалося вище, бактерії мінералізують органічну речовину до вуглекислого газу, аміаку та фосфату. Аміак виділяється в атмосферу шляхом випаровування (дифузії). Він також окислюється до нетоксичного нітрату нітрифікуючими бактеріями. Нітрат можна денітрифікувати до газоподібного азоту, який дифундує в атмосферу.

Вуглекислий газ перетворюється на органічний вуглець шляхом фотосинтезу або дифундує з водойм до атмосфери. Бактерії можуть перетворювати вуглекислий газ в мулі на метан, який також дифундує в атмосферу.

Муловий осад на дні має здатність фіксувати фосфор у нерозчинних фосфатах заліза, алюмінію та кальцію.

Деякі з органічних речовин у ставах є відносно стійкими до мікробного розкладу та накопичуються в мулі у вигляді стійких органічних речовин. Хоча водні екосистеми мають значну потужність щодо переробки відходів, у багато водойм з кормом вноситься більше поживних речовин, ніж вони можуть швидко засвоїти, і якість води погіршується. Коли це стається, культивовані види зазнають негативного впливу, а ефективність переробки корму знижується.

Коли стави спускають для облову, органічні речовини та поживні речовини скидаються з водою. Розкладання нової органічної речовини на дні можна прискорити, дозволивши йому висохнути й потріскатися, щоб полегшити аерацію.

Слід враховувати, що певні відносно низькі концентрації органічної речовини можуть утримуватися необмежений час на дні ставу. І з часом мул може насититися фосфором, що може призвести до збільшення концентрації розчиненого фосфору та «цвітіння» води.

Обсяг кормів внесених у стави не повинен перевищувати їхню здатність переробляти отримані відходи. Найнадійніший спосіб визначити, наскільки добре екосистема ставу засвоює рештки від годівлі, – вимірювати ранкову концентрацію розчиненого кисню. Необхідно регулювати швидкість подачі корму та механічної аерації для підтримки концентрації кисню вище 3–4 мг/л рано вранці, коли зазвичай спостерігається найнижчий його вміст (Boyd & Tucker, 2019).

3. Успішна та неуспішна аквакультура

Широке розмаїття аквакультурних систем за видами, географічними регіонами, виробниками та споживачами перешкоджає розробці єдиної стратегії з виробництва сталої та здорової продукції. Спроба реалізувати одну і ту саму стратегію в різних умовах часто призводить до невдачі. Потрібна гнучкість, щоб адаптуватися до кожної окремої ситуації, якщо ми хочемо збудувати світ, в якому аквакультура є сталою.

Можна знайти багато інформації як про успішні, так і про невдалі спроби організації виробництва аквакультури. Найпоширеніші причини невдач можна згрупувати так:

- відсутність інвестицій та очікування швидкого прибутку;
- політичні причини;
- фахова неосвіченість.

Коли ви недостатньо інвестуєте, у вас не вистачає персоналу, але все ще очікуєте чудових результатів... Цілісний підхід включає обмін передовим досвідом, використання

якісних кормів, належну технічну підтримку, контроль якості води та турботу про довкілля.

Успіх, невдача, успіх? Приклад з Португалії.

В 2009 р. компанія «Pescanova» створює одне з найбільших підприємств аквакультури в Португалії з метою виробляти 7-10 тис. тонн камбали на рік (інвестиції 140 мільйонів євро).

В 2012 р. виробництво досягає максимуму за всю історію, трохи менше 4,4 тис. тонн, і накопичує мільйонні збитки через поганий менеджмент. Виникли екологічні проблеми і виявилися недоліки в будівництві – проблеми з одним із водозабірників солоної води призвели до загибелі тисяч риб...

В 2017 р. збиткове підприємство придбала корпорація «Flatlantic» та відновила виробництво, тепер з європейською камбалою та палтусом. Станом на 2023 р. працювала лише половина установок. 20 мільйонів євро вже інвестовані, але потрібно ще 250 мільйонів євро, щоб повернутися до повної потужності. Наразі це найбільше підприємство з виробництва камбали та палтуса в Європі з використанням океанічної води.

4. Україна на шляху до успішної аквакультури

Рибний сектор є третім за значенням джерелом постачання населення України білком тваринного походження після тваринництва і птахівництва та відіграє помітну роль у забезпеченні продовольчої безпеки (Petersen, 2021).

У 2021 р. рибне господарство України отримало право на державну допомогу, яка планувалася щорічно виділятися на сільське господарство згідно зі списком нових поправок, ухвалених ВРУ. Вважалося, що цей захід може прокласти шлях до програм підтримки, загальною вартістю близько 400 мільйонів євро (486,3 мільйона доларів США) на рік. Влада сподівалася, що держпідтримки вистачить, щоб збільшити показники виробництва в галузі, але учасники ринку вже тоді сумнівалися, що ця мета досяжна. Місцеві аналітики під час онлайн-форуму “Aquaculture Business Ukraine 2021” заявили, що українській промисловості варто змінити філософію розвитку,

оскільки зараз вона здебільшого націлена на вирощування недорогої риби для внутрішнього споживання. Наразі рибні господарства в країні зосереджені на вирощуванні коропа (*Cyprinus carpio*), сома (*Silurus glanis*) або щуки (*Esox lucius*), тоді як уряд хоче, щоб цей список був розширений лососем (*Salmo salar*), судаком (*Lucioperca lucioperca*), фореллю (*Salmo trutta trutta*) та деякими іншими видами (Vorotnikov, 2021).

«Аквакультура в Україні має відійти від традиційного екстенсивного вирощування недорогої риби та перейти до інтенсивного вирощування риби преміум-класу», – вважає Рамі Алон, експерт програми AGRO, Ізраїль. Алон стверджував, що брак інвестицій і капіталу також є однією з головних проблем, з якими доводиться мати справу українській галузі аквакультури. Крім того, відсутність інфраструктури, включно з місцевими потужностями для кормів для риби та плідників, а також юридичні перешкоди, які стримують інвесторів від запуску нових господарств. «Інвестори, як іноземні, так і вітчизняні, потребують належного робочого середовища. І тут держава має стати активним гравцем», – пояснив він. «Українська аквакультура потребує сучасного законодавства та відповідних нормативних актів, а також державної підтримки. Хорошим прикладом може бути Європейський Союз, фермери якого отримують значну допомогу з різних джерел» (Vorotnikov, 2021).

Протягом кількох років український уряд обмірковував плани знизити імпортне мито на корми для риб, сільськогосподарське обладнання та племінне поголів'я. Хоча цей захід здається необхідним, рішення все ще очікується. Однак у перспективі Україна може стати важливим гравцем на світовому рибному ринку, особливо якщо країні вдасться налагодити експорт риби до Європейського Союзу.

Директорка Програми аграрного та сільського розвитку USAID Ксенія Сидоркіна додала, що Україна має Угоду про зону вільної торгівлі з Європейським Союзом, який є найбільшим імпортером риби у світі. «Українську рибу та морепродукти можна продавати в ЄС без мита, що є важливою перевагою», – сказала вона (Vorotnikov, 2021).

Війна в Україні серйозно вплинула на рибальство та аквакультуру (за Sharylo Y., 2022).

Впродовж 2022-2024 рр. українські рибогосподарські підприємства стикалися з різноманітними викликами. Серед них – блокада морських портів, яка, за даними Держрибагентства, призвела до фактичного згортання промислового рибальства в Чорному морі. Рибалки можуть рибалити лише в невеликих осередках прибережної зони поблизу Миколаївської та Херсонської областей. Там вони могли почуватися у відносній безпеці, але у 2022 р. виловили лише дуже скромні 10,1 тис. тонн риби, підрахувало Держрибагентство.

«Багато років тому ми ловили близько 220 000 тонн риби [на рік]. Після анексії Криму ця цифра скоротилася вдвічі – приблизно до 100 тис. тонн. У 2021 році вона становила від 65 до 70 тис. тонн», – зазначив генеральний директор Асоціації імпортерів риби та морепродуктів України Дмитро Загуменний (WFA, 2023).

Похмура картина також у сегменті аквакультури. В тих регіонах, де в 2022 році відбувалися бойові дії, наявні на цих територіях рибні господарства зазнали значних збитків, втратили свої стави, обладнання та рибу. Деякі фермери також втратили доступ до своїх активів після мінування території навколо них.

ТЕМА 12. ХВОРОБИ РИБ І ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я

План

1. Хвороби риб.
2. Незаразні хвороби риб.
3. Інфекційні хвороби риб.
4. Вірусні захворювання.
5. Бактеріальні захворювання.
6. Грибкові захворювання.
7. Паразитарні захворювання.
8. Охорона здоров'я риб.
9. Заходи біобезпеки і профілактики захворювань.

1. Хвороби риб

Різноманітні захворювання риб та інших водних тварин завжди траплялися у водних екосистемах, але діяльність людини погіршила ситуацію завдяки аквакультурі. Зі зменшенням природних запасів морських і прісноводних риб, яке «почалося» в 1950-х роках, але людство гостро усвідомило це лише в 1970-х роках, рибицтво швидко перейшло від систем екстенсивного виробництва до систем інтенсивного виробництва в аквакультурі. Це дозволило на короткий проміжок часу зменшити тиск на природні рибні ресурси та залежність від рибальства, і аквакультура здавалася сталою також на цей короткий проміжок часу. Але в той же час з'явився цілий ряд нових проблем. Перехід від екстенсивних до інтенсивних систем призвів до таких наслідків:

- збільшення щільності посадки риб;
- зниження якості води;
- травми, конкуренція, більша вразливість тварин.

Це, у свою чергу, призвело до збільшення випадків появи та поширення хвороб, у т.ч. на природні популяції риб. А це призвело до збільшення виробничих і економічних збитків.

Терапія на основі антибіотиків використовувалася до кінця 1970-х – початку 1980-х років, до того часу, коли вони фактично втратили ефективність, а також створили інші проблеми. Сучасний підхід зосереджений здебільшого на профілактиці, зокрема, на вакцинації.

2. Незаразні хвороби риб

Незаразні хвороби риб:

- не передаються від однієї тварини до іншої;
- не викликаються збудниками.

Інфекційні (заразні) хвороби:

- передаються від однієї тварини до іншої;
- викликаються збудниками.

Незаразні хвороби риб, або *неінфекційні захворювання* є найпоширенішими в аквакультурі. Якщо їх не контролювати,

вони можуть призвести до серйозної смертності, але зазвичай їх легко уникнути. Також досить поширені захворювання, пов'язані з харчуванням, але їх дуже важко діагностувати.

Основні рекомендації:

- Зберігати воду чистою (стежити за вмістом кисню, аміаку, нітратів та інших токсичних речовин, природних або створених людиною).
- Уникати перенаселення басейнів (чи інших ємностей).
- Добре годувати рибу (збалансоване харчування, але не перегодувати).
- Регулярно перевіряти якість води та здоров'я риби, навіть якщо здається, що все добре (що також важливо для запобігання інфекційним захворюванням).

Деякі поширені неінфекційні хвороби риби:

Газопухирцева хвороба (газова емболія) – перенасичення газів, найчастіше азоту або кисню, патологічний стан риби, що викликається закупоренням пухирцями газу дрібних кровоносних судин, переважно в зябрах.

Стресовий синдром плавального міхура (англ. Swim bladder stress syndrome) – викликається фізичними, екологічними або механічними порушеннями (запор), що призводить до ненормального накопичення газів.

Деякі поширені неінфекційні захворювання риби та ракоподібних: некроз м'язів, асфіксія, ацидоз, алкалоз та ін. Вони спричиняються шоком та коливаннями температури, солоності, кисню, рН, наявністю хімічних забруднень і важких металів. Понад 90% онкологічних захворювань у різних груп тварин також мають неінфекційне походження.

3. Інфекційні хвороби риби

Інфекційні захворювання є результатом взаємодії трьох основних гравців: організму-господаря (Г), збудника захворювання (П) та факторами довкілля (Д) (рис. 7).



Рис. 7. Взаємодія між господарем, патогеном і навколишнім середовищем, а також спалах захворювань (за Wood, 1974; Bohl, 1989)

У незабрудненому водному середовищі, з коливаннями показників лише у межах норми, існує природний баланс між Г, П та Д, що призводить до спорадичних спалахів захворювання. Однак зниження якості довкілля (Д) призводить до помітного збільшення частоти та тяжкості спалахів хвороб, переважно через зниження стійкості організму-господаря до захворювань. Крім того, збільшення щільності популяції господаря (Г) збільшує ризик спалаху захворювання і збільшує вірулентність патогена (П).

Несприятливі умови середовища можуть зменшити здатність організму підтримувати ефективну відповідь імунної системи, тому можна очікувати підвищення вразливості до різних захворювань. Це відбувається у риб, де гостре та/або хронічне забруднення поверхневих вод може спричинити зниження рівня неспецифічного імунітету до хвороб.

Наприклад, значне зниження концентрації загальних білків, глобулінів і лізоциму в плазмі крові коропа може відбутися після тривалого впливу сублетальних концентрацій цинку. Зменшення кількості лейкоцитів і значні зміни в їх складі

є типовими ефектами, спричиненими рядом забруднюючих речовин (наприклад, фенолів, важких металів, пестицидів тощо); може спостерігатися характерне зниження процентного вмісту лімфоцитів і пов'язане з цим збільшення гранулоцитів. Таке зменшення кількості малих лімфоцитів, супроводжується зменшенням вироблення антитіл і, таким чином, зниженням стійкості до захворювань.

Будь-яка помітна зміна якості поверхневих вод відображається на структурі популяцій риб і опосередковано. Непрямий вплив може виникнути через ураження трофічної мережі у водному середовищі. Існує широкий діапазон чутливості окремих видів гідробіонтів до різних забруднюючих речовин. Здебільшого, простіше організовані гідробіонти вразливіші (наприклад, компоненти зоопланктону та зообентосу). Отже, при відносно низьких концентраціях забруднюючих речовин (важких металів, пестицидів, поверхнево-активних речовин тощо) може трапитися отруєння та загибель чутливих кормових організмів. Як наслідок, риби страждають від опосередкованого впливу, хоча переважно не зазнали уражень.

Зменшення та/або повна відсутність натуральної їжі призводить до погіршення стану здоров'я риб, що може супроводжуватися зниженням вироблення антитіл. Таким чином може бути знижена стійкість риб до хвороб.

Однак потрібно пам'ятати, що не кожен спалах хвороби риб є результатом забруднення; інші фактори, такі як перенаселеність, або швидке збільшення чисельності, або вірулентність (ступінь хвороботворності, патогенності) інфекційного агента, можуть бути основною причиною. Незважаючи на це, тяжкість спалаху може посилитися, якщо супроводжується погіршенням якості води. Доведено, що описані нижче захворювання риб мають тісний зв'язок із погіршенням якості води.

4. Вірусні захворювання

Наявність або потрапляння специфічних вірусних агентів у водойми та водотоки є причиною виникнення спалахів інфекційного панкреонекрозу у лососевих, вірусної геморагічної септицемії у райдужної форелі, весняної віремії коропа, інфекційного запалення плавального міхура, виразкового некрозу шкіри у лососевих та інших вірусних захворювань.

Там, де якість води знижується, зазвичай спостерігається складніший перебіг хвороби разом із вищим відсотком загибелі риби. Зокрема, зниження якості води є важливим фактором стресу при вірусній геморагічній септицемії. Низький вміст розчиненого кисню та різкі зміни рН води разом із підвищеним накопиченням метаболітів є іншими важливими факторами, пов'язаними зі спалахами інфекційного гемопоетичного некрозу у лососевих.

Назви англійською мовою та прийняті скорочення хвороб риб, які викликаються вірусами:

- Infectious Pancreatic Necrosis Virus (IPNV) – вірус інфекційного панкреонекрозу;
- Infectious Hematopoietic Necrosis Virus (IHNV) – вірус інфекційного гемопоетичного некрозу;
- Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV) – вірус геморагічної септицемії;
- Spring Viremia of Carp Virus (SVCV) – вірус весняної віремії коропа;
- Channel Catfish Virus (CCV) – вірус каналного сома.

5. Бактеріальні захворювання

Як і при вірусних захворюваннях, для виникнення бактеріальної інфекції необхідна наявність специфічних бактеріальних агентів. Багато з них можуть жити у водному середовищі (наприклад, *Aeromonas punctata*, *Aeromonas salmonicida*) та/або в травному тракті клінічно здорової риби; зі збільшенням їх вірулентності та/або ослабленням організму

господаря (наприклад, через забруднення водного середовища) вони можуть спричинити спалах бактеріального захворювання.

Органічне забруднення води, яке супроводжується зниженням вмісту розчиненого кисню, створює сприятливе середовище для розвитку бактерій.

Достовірно встановлено прямий зв'язок між органічним забрудненням поверхневих вод і спалахами фурункульозу, так що наявність цього захворювання часом може бути позитивним показником поганої якості води; збудник, *Aeromonas salmonicida*, може виживати максимум один тиждень у водопровідній воді, 12 тижнів у проточній воді та до 6 місяців у забрудненому органічними речовинами мулі.

Органічне забруднення водного середовища також є важливим фактором зараження колумнарисом (*Flexibacter columnaris*). Органічне та навіть фізичне (наприклад, завислі тверді речовини) забруднення води може бути важливим фактором індукції флексібактеріозу в лососевих через пошкодження тонкого респіраторного епітелію зябер. Вібріоз (*Vibrio anguillarum*) найчастіше зустрічається в солонуватій воді, хоча і у внутрішніх водних об'єктах його можна зустріти в місцях, куди надходять солоні стоки.

Захворювання риб, які поширені в усьому світі.

1) Викликаються грамнегативними бактеріями:

Вібріоз – *Vibrio anguillarum*;

Пастерельоз – *Photobacterium damsela* subsp. *Piscicida*;

Тенацобакульоз – *Tenacibaculum maritimum*;

Фурункульоз – *Aeromonas salmonicida*;

Єрсиніоз, хвороба «Червоний рот» – *Yersinia ruckeri*.

2) Викликається грампозитивними бактеріями:

Мікобактеріоз – *Mycobacterium marinum*;

Стрептококоз – *Streptococcus parauberis*;

Лактококоз – *Lactococcus garvieae*.

Інші бактерії:

- *Edwardsiella ictaluri*,
- *Edwardsiella tarda*,
- *Flavobacterium sp.*,
- *Moritella viscosa*,

- *Piscirickettsia salmonis*,
- *Renibacterium salmoninarum*,
- *Streptococcus phocae*.

6. Грибкові захворювання

У практиці рибництва добре відома пряма залежність між бронхіомікозом і органічним забрудненням води. Зазвичай хвороба поширена в ставах і водосховищах; від неї можуть постраждати коропові види риб, сиг, щука, а також сом і райдужна форель. Спалах і тривалість захворювання залежать від факторів навколишнього середовища, найважливішим з яких є температура води. Хвороба виникає найчастіше при температурі води вище 20°C (при оптимумі 26°C) на фоні органічного забруднення і пов'язаного з ним коливанням концентрації розчиненого кисню. Механічне та/або хімічне пошкодження захисного слизового шару шкіри, плавців і зябер є передумовою для спалаху захворювання.

Таке пошкодження також є передумовою для вторинного розвитку сапролегніозу. Сапролегніоз (ватна пліснява) – збудник *Saprolegnia* sp. Спори грибів розвиваються на пошкодженій поверхні тіла риб (найчастіше на ослаблених, травмованих), утворюючи сірувато-білуваті шерстисті нарости.

7. Паразитарні захворювання

Забруднення води може впливати на патогенну активність екто- та ендопаразитів риб. Пестициди можуть знищувати чи ослаблювати паразитів, але риба, яка уже ослаблена паразитами, може бути більш чутливою до токсичної дії цих речовин у воді.

Для ряду захворювань риб, які викликаються найпростішими, існує умовна залежність від органічного та іншого забруднення водного середовища; наприклад, таке зниження якості води може супроводжуватися інвазією зябер *Cryptobia branchialis*.

Зниження рН води (наприклад, до 5–6) разом із невідповідними умовами утримання може сприяти спалаху

захворювання іхтіободозу, з важкими ушкодженнями шкіри та зябер паразитичними джгутиковими з роду *Ichthyobodo*.

Погані гігієнічні умови в водоймах несуть потенційну небезпеку спалахів міксоспорозу, який викликається мікроскопічними міксоспоридами (Мухоспореа) з групи Мухозоа. Збудники локалізуються в порожнинах внутрішніх органів і різних тканинах господаря; можливе й внутрішньоклітинне паразитування, наприклад, в ікрі риб.

Низькі концентрації розчиненого кисню, пов'язані з умовами слабкого освітлення, сприятливі для хілодонельозу. *Chilodonella* ушкоджує шкіру та зябра риб. Інфекції можуть призвести до виснаження і млявості, гіпоксії і навіть смерті. При тяжких інфекціях паразити можуть покривати майже всю поверхню риби. Вони руйнують поверхню шкіри та зябер, харчуючись рештками (IFM, 2018).

Теплове забруднення може призвести до смертельних спалахів іхтіофтіріозу, який викликається інфузорією *Ichthyophthirius multifiliis*.

Захворювання, які викликаються паразитами з різних систематичних груп:

- Ciliophora (Protozoan) – іхтіофтіріоз, триходиноз;
- Dinoflagellata (Protozoan) – оксамитова хвороба (англ. Marine velvet disease);
- Cnidaria – міксозомоз (*Myxobolus cerebralis*);
- Platyhelminthes – *Dactylogyrus*, *Gyrodactylus* і цестоди;
- Nematoda – анізаکیدоз;
- Arthropoda – лернеоз;
- Annelida – ураження п'явками;
- Chordata – ураження міногами – зовнішніми паразитами риб.

Найпоширеніші паразити і збудники захворювань в аквакультурних господарствах України: *Aeromonas*, *Edwardsiella*, *Yersinia*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Gyrodactylus* sp., *Ichthyophthirius multifiliis*, *Trichodina* spp., *Lernaea cyprinacea*, *Dactylogyrus vastator*, *Gyrodactylus* sp., *Ichthyophthirius multifiliis*, *Trichodina* spp. та ін. Вірусні

захворювання: IPNV – вірус інфекційного панкреонекрозу; SVCV – вірус весняної віремії коропа.

Проблемою правильної *діагностики* є те, що багато хвороб мають пізні симптоми (як зовнішні, так і внутрішні), або вони взагалі відсутні. Деякі симптоми не є симптомами інфекції, а скоріше проблемами, пов'язаними з умовами вирощування. І навіть захворювання, які мають характерні симптоми, іноді, в гострих випадках, не проявляються (наприклад, фурункульоз визначається наявністю фурункулів, але тільки в хронічних випадках. Гострі випадки протікають настільки швидко, що на це немає часу, але це все одно фурункульоз...

Як повідомлено на сайті Інституту рибного господарства УААН (ІРГ, 2021), у лабораторії біотехнології відпрацьовано експрес діагностику інфекційних захворювань риб із застосуванням методу полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР).

Зокрема, для вірусних захворювань коропових, лососевих, осетрових та інших видів риб:

- вірус інфекційного панкреатичного некрозу (IPNV),
- вірус геморагічної септицемії (VHSV),
- вірус інфекційного гематопоетичного некрозу (IHNV),
- альфавірус лососевих (SAV),
- вірус інфекційної анемії лососевих (ISAV),
- реовірус лососевих (PRV),
- вірус весняної віремії коропа (SVCV),
- герпесвірус коропа (CyHV-3, KHV),
- вірус віспи коропа (Carp Edema Virus, CEV),
- іридовірус осетрових (AcIV-E),
- герпесвірус осетрових (AcHV).

Апробовано діагностичні тест-системи для молекулярної ідентифікації збудників *бактеріальних захворювань* риб:

- бактеріальна хвороба нирок (BKD), *Renibacterium salmoninarum*,
- фурункульоз, *Aeromonas salmonicida*,
- ерсиніоз (Enteric redmouth disease), *Yersinia ruckeri*,
- бактеріальна геморагічна септицемія, *Aeromonas hydrophila*,

- стрептококова інфекція, *Streptococcus iniae*,
- флавобактеріоз (Bacterial cold water disease, BCWD), *Flavobacterium psychrophila*,
- колумнарна хвороба (Columnaris disease), *Flavobacterium columnarae*,
- бактеріальна септицимія сома, *Edwardsiella ictaluri*,
- вібріоз, *Vibrio anguillarum*.

Ендопаразити:

- проліферативна хвороба нирок, *Tetracapsuloides bryosalmonae*;
- міксозомоз, або вертячка лососевих (Whirling disease) *Myxobolus cerebralis*.

8. Охорона здоров'я риб

Охорона здоров'я риб надзвичайно важлива з кількох точок зору:

1. Підтримання рівноваги водних екосистем. Наприклад, якщо виснажуються ресурси одного виду риб, інші, залежні від нього, також постраждають, зменшуючи загальне біорізноманіття та посилюючи подальше виснаження інших ресурсів.
2. Харчова безпека. Отримання рибних продуктів від рибальства та аквакультури для людини.
3. Економічна діяльність. Багато країн з морським узбережжям та різноманітними водними об'єктами мають економіку, орієнтовану на експорт продукції рибальства та аквакультури, що забезпечує працевлаштування та добробут тисяч людей.

Повний контроль і викорінення хвороб у природних популяціях водних тварин є неможливим, тому зусилля зосереджені переважно на аквакультурі з вирощування риб, але останнім часом також і на інших систематичних групах, таких як ракоподібні (креветки, омари) і двостулкові моллюски (устриця, мідія).

Найбільшою рушійною силою розширення та збільшення захворюваності риби була (і є) аквакультура. Рибу найчастіше

вирощують на невеликих площаях, намагаючись збільшити продуктивність на цій площі. Інтенсивне вирощування риби може призвести до появи і швидкого поширення бактеріальних та інших захворювань, а це, у свою чергу, – до зменшення продуктивності тварин та/або високого рівня смертності.

Отже, якщо ми не можемо викоринити хвороби, то що можемо зробити? Коли хвороба проявляється – намагаємося мінімізувати вплив. Що ще важливіше – намагаємося уникати появи захворювань або принаймні зменшувати кількість спалахів. Наразі проактивні заходи управління стають популярнішими, порівняно із заходами реагування.

Бум аквакультури почався наприкінці 1950-х років, коли світ ще оговтувався від Другої світової війни та переживав різні періоди рецесії. Незабаром після цього почали виявлятися проблеми зі збільшенням кількості спалахів захворювань. Аквакультура була відносно новою галуззю, тому не існувало конкретних заходів, спрямованих на боротьбу з цією проблемою. Тому покладалися на те, що було доступно – антибіотики. Певний час вони працювали добре, а коли ні – збільшували дозу, або використовували інший антибіотик, через їх дешевизну.

Лише в 1970-х роках нарешті дійшли висновку, що потрібно вживати нових заходів. Мало того, що антибіотики ставали менш ефективними або навіть не діяли, вони також спричиняли інші проблеми:

- бактеріальну мультирезистентність;
- біонакопичення у водних екосистемах з невідомими наслідками для інших видів;
- біонакопичення в тканинах риб, які потім потраплять у харчовий ланцюг людини (тут і так вистачало проблем із мультирезистентністю).

Деякі початкові стратегії доповнення до антибіотиків ґрунтувалися на дезінфекції, стерилізації, асептиці/антисептиці, але вони все ще були обмежені за своїм обсягом.

У 1976 році була представлена перша комерційна вакцина, за якою швидко з'явилися інші, що нарешті дозволило

зменшити залежність від антибіотиків і поступово збільшити виробництво.

Не всі заходи можуть ефективно застосовуватися у різних аквакультурних системах. У відкритих системах діють не прогнозовані чинники (крім катастроф, як тайфун, розлив нафти чи «цвітіння» води). У проточних системах, якщо хвороба виявляється зверху за течією, вона поширюватиметься вниз. У морських системах багато інфекційних хвороб поширюють рибоїдні птахи. Лише закрыта система – висококонтрольована, яка дозволяє використовувати заходи прості у застосуванні.

9. Заходи біобезпеки і профілактики захворювань

Заходи біобезпеки можуть бути реалізовані на різних рівнях.

Зовнішні бар'єри – запобігають проникненню патологічного агента або, що більш важливо, з моменту його присутності в аквакультурі, – від виходу з установки.

- використання підходу SPF (“Specific-Pathogen-Free”);
- уникати завезення риби з інших господарств, якщо це можливо;
уникати транспортування тварин між водоймами одного власника, особливо в «холодні» місяці, коли можливі хвороби «сплять»;
- обмежити доступ і вжити суворих санітарних заходів щодо людей і матеріалів.

Внутрішні бар'єри перешкоджають поширенню хвороботворного агента між різними виробничими підрозділами підприємства. В ідеалі потрібно розділити установку на незалежні одиниці (фізичне розділення між кожним блоком). Кожен підрозділ повинен мати протоколи гігієни персоналу та матеріалів (протоколи очищення, дезінфекції, антисептики та боротьби зі шкідниками). Санітарні протоколи переміщення риби, людей і матеріалів між підрозділами.

Асептика, антисептика, дезінфекція, стерилізація

Фізичні методи: автоклавування, висушування, вплив сонця або УФ/гамма-випромінювання, нагрів.

Хімічні методи: гіпохлорит натрію, перекис, аміачні продукти, спирт, йодоформ, каустична сода або негашене вапно.

Санітарне видалення всієї риби з установки, спорожнення резервуарів та їх дезінфекція, а також усього обладнання та робочих матеріалів.

Звичайний карантин або «агресивний» карантин: невеликі групи риб піддають суворим умовам утримання, в яких ймовірність виявлення зростає, якщо щось приховано.

І, нарешті, профілактичні методи, які вважаються найефективнішим способом запобігання інфекційним захворюванням, хоча все ще досить обмежені за своїм обсягом:

- пре/про/симбіотики;
- неспецифічні імуностимулятори;
- специфічні імуностимулятори, а саме вакцини.

Пре/про/симбіотики. Пробиотики, еубіотики – живі мікроорганізми, які можуть позитивно впливати на здоров'я, нормалізувати склад і функції мікрофлори шлунково-кишкового тракту. Це в основному бактерії. Пробиотики – це просто їжа для пробіотиків (здебільшого клітковина, але залежно від цілі, склад змінюється), а симбіотики – «два в одному», містять раціональну комбінацію пробіотиків та пребіотиків, які поліпшують виживання та приживлення у кишечнику живих бактеріальних домішок і вибірково стимулюють ріст і активацію метаболізму ендогенних лакто- та біфідобактерій.

Пробиотики в аквакультурі мають подвійну дію – не лише в шлунково-кишковому тракті риб, а й безпосередньо у воді та ємностях для вирощування. Проте, потрібно враховувати, що бактерія, що є пробіотиком для одного виду риб, може бути патогеном для іншого.

Неспецифічні імуностимулятори діють незалежно від антигенної специфічності, посилюючи імунну відповідь на інший антиген або стимулюючи компоненти імунної системи без антигенної специфічності, такі як ад'юванти та неспецифічні імуностимулятори. Наприклад, вітамін С стимулює імунну систему. У покриві комах міститься імуностимулятор хітин.

Специфічні імуностимулятори, вакцини. Введення вакцин спрямоване на те, щоб допомогти імунній системі виробити

захист від можливого майбутнього захворювання, в ідеалі без прояву його симптомів. Коли досить високий відсоток населення вакцинується, досягається так званий груповий імунітет.

В аквакультурі вакцини дозволили зменшити залежність від антибіотиків і збільшити виробництво. Основні методи вакцинації риб: ін'єкційний, занурення, оральний, аерозольний. Незважаючи на те, що вакцинація дуже ефективна, її застосування в рибництві обмежене, переважно, застосовується щодо лососевих.

Проте в останні роки є серйозні невдачі – під час інтродукції нових видів риб в інші регіони відбулося поширення захворювань. Багато патогенів, які раніше були під контролем, мутували і знову стали проблемою. У Чилі проблема настільки серйозна, що багатьом природним видам риби загрожує «вимирання» через інтродукцію лососевих, що супроводжується низкою захворювань. Аргентина стала першою країною в світі, яка заборонила вирощування лососевих у своїх територіальних водах (принаймні, в провінції Вогняна Земля *isp.* Tierra del Fuego).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : монографія. К. : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.
2. Естуарій. *Wikipedia* : вебсайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Естуарій> (дата звернення: 24.05.2024).
3. Євтушенко М. Ю. Екологічна фізіологія та біохімія гідробіонтів: Навчальний посібник для підготовки магістрів за спеціальністю 8.130301 «Водні біоресурси». К. : Видавничий центр НАУ, 2015. 118 с.
4. Про аквакультуру : Закон України. *Відомості Верховної Ради України*, 2013, № 43, ст.616. Редакція від 28.04.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5293-17#Text> (дата звернення: 08.06.2024).
5. Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів: Закон України. *Відомості Верховної Ради України*, 2012, № 17, ст.155. Редакція від 31.12.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3677-17#Text> (дата звернення: 27.08.2024).
6. ІРГ (2021). Експрес діагностика інфекційних захворювань риб із застосуванням методу полімеразної ланцюгової реакції. *Інститут рибного господарства УААН* : вебсайт. URL: <https://if.org.ua/index.php/uk/naukovi-rozrobki/rezultati-doslidzhen/921-ekspres-diagnostika-infektsijnikh-zakhvoryuvan-rib-iz-zastosuvannyam-metodu-polimeraznoji-lantsyugovoji-reaktsiji> (дата звернення: 08.06.2024).
7. Інструкція щодо профілактики та боротьби з вірусною геморагічною септицемією риб. *Законодавство України*: офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0816-21#Text> (дата звернення: 08.08.2024).
8. Лиман. *Wikipedia* : вебсайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Лиман> (дата звернення: 22.06.2024).
9. Маланчук З. Р., Козяр В. О. Характеристика покладів сульфідної міді в Рівненсько-Волинському регіоні. *Вісник Криворізького технічного університету : збірник наукових*

праць. 2009. Вип. 24. URL:
http://www.nbuu.gov.ua/portal/Natural/Vktu/2009_24/st_09.pdf.

(дата звернення: 22.06.2016).

10. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля: навч. посіб. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2000. 504 с.
11. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін. ; за ред. В. Д. Романенка. К. : Логос, 2006. 408 с.
12. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д. та ін. К. : СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
13. Програма розвитку та промислового освоєння мінерально-сировинних ресурсів Рівненської області на період до 2010 року: розпорядження. Рівненська обласна державна адміністрація. Рівне, 2006. 21 с.
14. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
15. Ситник Ю. М., Шевченко П. Г., Забитівський Ю. М. Токсикологічні аспекти загибелі вугра в озері Чорне Велике Шацького Національного природного парку (огляд). *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2006. Вип. 16. С. 50–58.
16. Шекк П. В., Захарова М. В. Нормативні показники якості вод рибогосподарських водойм : конспект лекцій. Одеса : Екологія, 2008. 116 с.
17. Vajoghli B., Guo P., Aghaallaei N. et al. A thymus candidate in lampreys. *Nature*. 2011. 470, P. 90–94.
<https://doi.org/10.1038/nature09655>.
18. Beyer W. N., Heinz G. H., Redmon-Norwood A. W. (eds.). Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations. CRC Press, Boca Raton, 1996, 494 p.
19. Bone Q., Moore R. H. Biology of fishes. 3rd ed. 2008. 478 p.
20. Boyd C. E. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1990, 482 p.
21. Boyd C. E. Water Quality in Warmwater Fish Ponds, Auburn University, 1979. 359 p.
22. Boyd C. E., Tucker C.S. Pond aquaculture water quality management. Springer Science+Business Media New York, 1998. 700 p.

23. Boyd C. E., Tucker C. S. Water Quality. In *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*. 3-rd edition. John Wiley & Sons Ltd. 2019. P.63–91.
24. Brönmark C., Hansson L. A. The biology of lakes and ponds. Oxford University Press; 2nd edition, 2005. 300 p.
25. Callinan R. B., Sammut J., Fraser G.C. Dermatitis, branchitis and mortality in empire gudgeon *Hypseleotris compressa* exposed naturally to runoff from acid sulfate soils. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2005. 63. P. 247–253.
26. Colvin S.A.R. et al. Headwater Streams and Wetlands are Critical for Sustaining Fish, Fisheries, and Ecosystem Services. *Fisheries*, 2019. 44 (2): 73–91. doi: <https://10.1002/fsh.10229>. S2CID [92052162](https://doi.org/10.1002/fsh.10229).
27. Cordy G. E. (2001). A Primer on Water Quality: report. Fact Sheet 027-01 U.S. Geological Survey (USGS). <https://doi.org/10.3133/fs02701>.
28. Currie S., Evans D. H. (Editors). *The Physiology of Fishes*. CRC Press. 2020. ISBN 978-0367477554.
29. Cutler C. P., Cramb G. Water transport and aquaporin expression in fish. In *Molecular biology and physiology of water and solute transport*. Boston, MA: Springer US, 2000. P. 433–441
30. CYANONET. A Global Network for Cyanobacterial Bloom and Toxin Risk Management: Initial Situation Assessment and Recommendations / G. A. Codd et al. Paris, 2005. №. 76.138 p.
31. Dietrich D. R., Fischer A., Michel C. [et al.] Toxin mixture in cyanobacterial blooms – a critical comparison of reality with current procedures employed in human health risk assessment. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2008. Vol. 619. P. 885–912.
32. Elasmobranch Husbandry Manual: Captive Care of Sharks, Rays, and their Relatives / Smith M., Warmolts D., Thoney D., Hueter R. (Editors). Ohio Biological Survey, 2004.
33. EPA, 2018. Basic Information about Pesticide Ingredients. Environmental Protection Agency. Apr 2, 2018.
34. European legislation. URL: https://commission.europa.eu/law/law-making-process/types-eu-law_en. (дата звернення: 24.05.2024).
35. European Union Reference Laboratory for Fish and Crustacean Diseases (EURL). European Commission. URL: <https://www.eurl-fish-crustacean.eu/> (дата звернення: 08.08.2024).

36. Evans D. H. Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2008, 295(2), doi:10.1152/ajpregu.90337.2008
37. Explaining the Gulf of Mexico Dead Zone. In *Restore the Mississippi River Delta*. URL: <https://mississippiriverdelta.org/learning/explaining-the-gulf-of-mexico-dead-zone/> (дата звернення: 07.08.2024).
38. FAO (2022). Blue Transformation - Roadmap 2022–2030: A vision for FAO's work on aquatic food systems. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0459en>.
39. Farrell A. P., Pieperhoff S. *Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment* / Editor-in-Chief A. P. Farrel. London, 2011. Vol. 1-3.
40. Finlayson B. et al. *Planning and Standard Operating Procedures for the Use of Rotenone in Fish Management : Rotenone SOP Manual*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2010. P. 1–200.
41. Finn J.P., Nielsen N.O. The effect of temperature variation on the immune response of rainbow trout. *Journal of Comparative Pathology*, 1971. Vol. 105. P. 257–268.
42. Fisheries and Aquaculture. National Aquaculture Legislation Overview: Ukraine. Food and Agriculture Organization (FAO) : вебсайт. URL: <https://www.fao.org/fishery/en/legalframework/ua/en?lang=en> (дата звернення: 08.08.2024).
43. Fishers of the future. A study that examines the future role of fishers in society up to 2050. European Commission. URL: https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/index_en (дата звернення: 08.08.2024).
44. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <http://www.fao.org>. (дата звернення: 08.08.2024).
45. Guidelines for Sustainable Aquaculture. *Committee on Fisheries*. Thirty-sixth Session, 8-12 July 2024. FAO, Rome, Italy. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/np423en>. (дата звернення: 01.08.2024).
46. Hallegraeff G. M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*. 1993. Vol. 32. P. 79–99.
47. Hatfield J. L., Cruse R. M., Tomer M. D. Convergence of agricultural intensification and climate change in the midwestern United States. *Marine and Freshwater Research*. 2013. Vol. 64. P. 423–435.

48. Helfman G. S., Collette B. B., Facey D. E., Bowen B. W. The diversity of fishes. 2nd ed. Blackwell Publishing, 2009. 720 p.
49. Helfman G. Fish Conservation: A Guide to Understanding and Restoring Global Aquatic Biodiversity and Fishery Resources. *Journal of the North American Benthological Society*, 2008, Vol. 27, № 3. doi. 10.1899/0887-3593(2008)27[802:BR]2.0.CO;2.
50. IFM (2018). Chilodonella. Institute of Fisheries Management. Environment agency. URL: <https://ifm.org.uk/wp-content/uploads/2021/08/Chilodonella.pdf> (дата звернення: 08.08.2024).
51. Johnson D. L. et al. Meanings of Environmental Terms. *Journal of Environmental Quality*, 1997. Vol. 26 (3), P. 581–589. doi:10.2134/jeq1997.00472425002600030002x.
52. Keddy P. A. Wetland Ecology: Principles and Conservation (2nd ed.) New York: Cambridge University Press, Nature, 2010. 497 p.
53. Lloyd R. Pollution and freshwater fish. Fishing News Books, Oxford, UK., 1992. 192 p.
54. Løvik J. E. Operational monitoring of lake Mjøsa and tributaries (in Norwegian) : Annual report for 2008. 2009. 80 p.
55. MacMillan J. R. Infectious diseases. In: *Channel Catfish Culture* (C.S. Tucker, ed.), Elsevier, Amsterdam, 1985. P. 405 – 496.
56. Marshall B. (ed.) Aquaculture and fish farming. New York: Library Press, 2017. 233 p.
57. McCormick S. D. The hormonal control of osmoregulation in teleost fish. In *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, 2011, P. 1466–1473. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00212-4>.
58. Meyer F. P. Incidence of disease in warmwater fish farms in the south - central United States. *Marine Fisheries Review* 1978, vol. 40, P. 38–41.
59. Moe J. The Marine Aquarium Handbook: Beginner to Breeder. Green Turtle Publications, Plantation, 1992, 320 p.
60. Molecular Biology of the Cell. 4th edition/ Alberts B. et al. New York : Garland Science, 2002.
61. Cruse J.M. et al. Molecules, cells, and tissues of immunity. *Immunology Guidebook*. 2004, P. 1–15. doi:10.1016/B978-012198382-6/50025-X.
62. NOAA, 2021. Happening Now: Dead Zone in the Gulf 2021. Ocean today: Watch. Explore. Discover. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). URL:

- <https://oceantoday.noaa.gov/deadzonegulf-2021/> (дата звернення: 08.08.2024).
63. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Second Edition. Wiley-Blackwell, 2010. 538 p.
 64. Noga E. J., Francis-Floyd R. Medical management of channel catfish: The environment. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 1991, vol.13. P. 160–166.
 65. Ocean Acidification. *Un Atlas of the Oceans*: вебсайт. URL: <https://www.oceansatlas.org/subtopic/en/c/7/>(дата звернення: 10.08.2024).
 66. Palomares M.L.D. et al. Fishery biomass trends of exploited fish populations in marine ecoregions, climatic zones and ocean basins. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2020, vol. 243. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106896>.
 67. Parker R. Aquaculture Science. 3rd edition. Delmar. 2012. 652 p.
 68. Pest Management. National Pesticide Applicator Certification Core Manual (2nd ed.) / Randall C. et al. Washington: National Association of State Departments of Agriculture Research Foundation, 2014.
 69. Petersen A. Resource-rich Ukraine expands fishing, farming, and its links to international markets. *Eurofish*, February 16, 2021. URL: <https://eurofish.dk/resource-rich-ukraine-expands-fishing-farming-and-its-links-to-international-markets>. (дата звернення: 06.08.2024).
 70. Peto's paradox. *Wikipedia* : вебсайт. URL: <https://w.wiki/Aegm> (дата звернення: 13.07.2024).
 71. Pretty J. N. et al. Environmental costs of freshwater eutrophication in England and Wales. *Environmental Science & Technology*. 2003. Vol. 37. P. 201–208.
 72. Rytwinski T., Taylor J.J., Donaldson L.A., Britton J.R., Browne D. R., Gresswell R. E., Lintermans M., Prior K. A., Pellatt M. G., Vis C., Cooke S. J. The effectiveness of non-native fish removal techniques in freshwater ecosystems: A systematic review. *Environmental Reviews*. 2018. Vol. 27 (1). P. 71–94. doi:10.1139/er-2018-0049. S2CID 92554010.
 73. Schreckenbach K. Die Bedeutung von Umweltfaktoren bei der Fischproduktion in Binnengewässer. *Mh. Vet. Med.* 1982. Vol. 37. P. 220–230.
 74. Scott J. T., McCarthy M. J. Nitrogen fixation may not balance the nitrogen pool in lakes over timescales relevant to eutrophication

- management. *Limnology and Oceanography*. 2010. Vol. 55. P. 1265–1270.
75. Schindler D. W., Vallentyne J. R. The Algal Bowl: Overfertilization of the World's Freshwaters and Estuaries. Canada, Edmonton : University of Alberta Press, 2008.
 76. Sharylo Y. The war in Ukraine has severely affected fisheries and aquaculture production. *Eurofish Magazine*. 2022. Issue 5 (September / October). URL: <https://eurofish.dk/the-war-in-ukraine-has-severely-affected-fisheries-and-aquaculture-production> (дата звернення: 06.05.2024).
 77. Sievers M., Brown C. J., Tulloch V. J. D., Pearson R. M., Haig J.A., Turschwell M. P., Connolly R. M. The Role of Vegetated Coastal Wetlands for Marine Megafauna Conservation. *Trends in Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 34 (9). P. 807–817. doi:10.1016/j.tree.2019.04.004. hdl:10072/391960.
 78. Smith S. A. (ed.) Fish Diseases and Medicine. CRC Press, 2019.
 79. Stoskopf M.K. Fish Medicine, Volumes 1 & 2. ART Sciences LLC. 2010. ISBN 978-1257169092.
 80. Stokral V. Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2021. Vol. 18. P. 67–87. 10.1080/1943815X.2021.1930058.
 81. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.
 82. Swingle H. S. Relationship of pH of pond waters to their suitability for fish culture. *Proceedings of the Pacific Science Congress*. 1961. Vol. 10. P. 72–75.
 83. Triple Threat. How disease, climate risks, and unsafe water, sanitation and hygiene create a deadly combination for children. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF), 2023. ISBN: 978-92-806-5438-7
 84. Tucker C. S. (ed.) Water Quality. In: Channel Catfish Culture. Elsevier, Amsterdam, 1985. P. 135–227.
 85. Turvey S. E., Broide D.H. Innate immunity. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2010. 125 (2 Suppl 2): P. 24–32. doi:10.1016/j.jaci.2009.07.016
 86. Vorotnikov V. Ukraine considers aquaculture development prospects. *Hatchery International*. July 1, 2021. URL: <https://www.hatcheryinternational.com/ukraine-considers->

- [aquaculture-development-prospects/](#) (дата звернення:
06.05.2024).
87. Webb P. W. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*. 1984. Vol. 24. P. 107–20.
88. Wetland. *Wikipedia* : вебсайт. URL:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Wetland> (дата звернення:
24.05.2024).
89. WFA, 2023. Ukrainian fisheries and aquaculture in tatters. *World fishing and aquaculture*. 09.04.2023. URL:
<https://www.worldfishing.net/insight-/ukrainian-fisheries-and-aquaculture-in-tatters/1487127.article>. (дата звернення:
24.05.2024).
90. World Register of Marine Species (WoRMS) : вебсайт. URL:
<https://www.marinespecies.org/> (дата звернення: 24.05.2024).
91. World Organisation for Animal Health (WOAH) : вебсайт. URL:
<https://www.woah.org/en/home/> (дата звернення: 24.05.2024).
92. Yancey P. H. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *Journal of Experimental Biology*. 2005. Vol. 208 (15). P. 2819–2830. doi:10.1242/jeb.01730. PMID 16043587.
93. Yancey P. H., Geringer M. E., Drazen J. C., Rowden A. A., Jamieson A. Marine fish may be biochemically constrained from inhabiting the deepest ocean depths. *PNAS*. 2014. Vol. 111 (12). P. 4461–4465. doi:10.1073/pnas.1322003111.