



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

05-03-136М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт 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

Методичні вказівки до виконання практичних робіт 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. – 71 с.

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

Відповідальний 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/)
<https://www.afishe.eu/>

Матеріали опубліковані як частина проекту 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

Вступ	4
Рекомендації до виконання практичних робіт	5
1. Вивчення причин виникнення гіпоксії і заходів щодо її запобігання в аквакультурі	5
2. Вивчення впливу зміни температури води на здоров'я риб. Температурний стрес	11
3. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження зростання кислотності водного середовища	15
4. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження зростання лужності водного середовища	22
5. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб аміаком	25
6. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб нітритами	33
7. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб нітратами	42
8. Вивчення ознак отруєння риби важкими металами та заходів щодо лікування і запобігання токсикозу	43
9. Організація моніторингу якості водного середовища в аквакультурі	48
10. Оцінка відповідності якості поверхневих вод рибогосподарським вимогам	53
11. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод	56
Додатки	62
Рекомендована література	66

ВСТУП

Метою вивчення освітнього компоненту є набуття здобувачами освіти теоретичних знань про вплив якості води на здоров'я риб у природних популяціях і умовах аквакультури, та практичних навичок оцінки якості води та стану риби за відповідними показниками. Вивчення ОК надає здобувачам теоретичні знання та практичні навички, які дозволяють узагальнити проблеми здоров'я риб, пов'язані зі змінами якості води (природними та техногенними причинами) і заходів щодо запобігання таким процесам.

Завдання: 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 відносно поширення вірусних, бактеріальних та грибкових захворювань, паразитів риб.

ОК «Якість води та здоров'я риб» належить до числа вибіркових компонентів освітньо-професійної програми «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів», блоку «Інтенсивна аквакультура».

На вивчення ОК передбачено 4,5 кредитів ЄКТС, 46 год. аудиторних занять, з яких 24 год. лекцій і 22 год. практичних. На практичних заняттях передбачається розгляд найпоширеніших причин погіршення здоров'я риб в аквакультурі, які пов'язані з неналежною якістю води та заходів щодо їх запобігання; демонстрація роботи обладнання для тестування якості води та інтерпретація результатів тестування.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

1. Вивчення ролі розчиненого кисню у водних екосистемах, причин виникнення та заходів щодо запобігання гіпоксії в аквакультурі

Мета: ознайомитися з причинами і ознаками виникнення гіпоксії, а також заходів щодо її запобігання.

Теоретична частина. Вміст розчиненого кисню є найважливішим фактором якості води від якого залежить життя та здоров'я мешканців водного середовища. Кисень надходить у водне середовище з повітря, а також утворюється водними рослинами у процесі фотосинтезу. Фотосинтез відбувається лише у світлий час доби. На розчинення кисню у воді з повітря позитивно впливає вітер, течії, атмосферні опади, різкі зміни температури – усі ті процеси та явища, які сприяють перемішуванню шарів води у водоймі (Noga, 2010).

Розчинений кисень у водних екосистемах витрачається на дихання гідробіонтів і окислення органічних речовин. Поглинання кисню в донному мулі є результатом споживання кисню в різних хімічних реакціях і на дихання організмів, які там мешкають. Прикладами хімічних реакцій споживання кисню в ґрунтах ставів є реакції окислення відновленого заліза, марганцю та сульфідів (Boyd, Tucker, 1998).

Гіпоксія (гуро – «нижче», охія – «насичений киснем») характеризує умови з низьким вмістом кисню. Для організмів, які дихають повітрям, гіпоксія є проблемою, але для багатьох анаеробних організмів гіпоксія є необхідною умовою життєдіяльності (анаеробні бактерії). Гіпоксія зазвичай стосується атмосфери та природних вод. Термін *англ. Environmental hypoxia* (екологічна гіпоксія) – означає, що у воді низька концентрація розчиненого кисню.

Кисень погано розчиняється у воді. Найчастіше гіпоксія виникає тоді, коли водойма чи ємність для утримання і вирощування риби переповнена або має недостатню аерацію. При зниженні концентрації розчиненого кисню до критичних значень може трапитися замор, задуха гідробіонтів.

Відповідно до Закону України «Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів»: «Для рибогосподарських водних об'єктів (їх частинах) встановлюються екологічні нормативи якості води. Зазначені нормативи розробляються і встановлюються відповідно до законодавства» (ВРУ, 2011). Мінімальна допустима норма вмісту розчиненого кисню у водоймах рибогосподарського використання становить 4 мг/л.

Температура і, меншою мірою, солоність води впливають на розчинність кисню у воді. Загальна закономірність така, що чим вища температура і вища солоність, тим менша кількість кисню може розчинитися у воді. Отже, рівноважна (насичена) концентрація розчиненого кисню зменшується як із підвищенням температури, так і з підвищенням солоності.

Рівноважну концентрацію кисню у воді наведено в таблиці 1.1 для тиску на рівні моря 101,325 кПа (760 мм рт. ст.), для різної температури і солоності. Наприклад, максимальна кількість кисню, яка може розчинитися у прісній воді при 25 °С за барометричного тиску в 1 атмосферу, становить 8,244 мг/л.

Таблиця 1.1

Розчинність кисню (O₂) (мг/л) залежно від температури води та солоності при тиску 1 атм. (101,325 кПа)

Температура (°C)	Солоність (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.602	14.112	13.638	13.180	12.737	12.309	11.896	11.497	11.111
5	12.757	12.344	11.944	11.557	11.183	10.820	10.470	10.131	9.802
10	11.277	10.925	10.583	10.252	9.932	9.621	9.321	9.029	8.747
15	10.072	9.768	9.473	9.188	8.911	8.642	8.381	8.129	7.883
20	9.077	8.812	8.556	8.307	8.065	7.831	7.603	7.382	7.167
25	8.244	8.013	7.788	7.569	7.357	7.150	6.950	6.754	6.565
30	7.539	7.335	7.136	6.943	6.755	6.572	6.394	6.221	6.052
35	6.935	6.753	6.577	6.405	6.237	6.074	5.915	5.761	5.610

Концентрація розчиненого кисню за табл. 1.1 може бути скоригована для іншого атмосферного тиску за формулою 1.1:

$$C_s = C_t \times p / 101,325, \quad (1.1)$$

де C_s – рівноважна концентрація розчиненого кисню (мг/л) при виміряному атмосферному тиску;

C_t – рівноважна концентрація розчиненого кисню при насиченні за температури t на рівні моря (мг/л) з таблиці 1;

p – вимірний атмосферний тиск (кПа).

Через біологічну активність концентрація розчиненого кисню в природних водах рідко досягає насичення. Відсоток насичення киснем обчислюється за рівнянням:

$$\%O_2 \text{ насичення} = 100 \times C_m / C_s, \quad (1.2)$$

де C_m – визначена концентрація розчиненого кисню (мг/л).

Діагностика гіпоксії. Остаточне встановлення діагнозу про низький вміст розчиненого кисню можна зробити лише шляхом його вимірювання у воді на місці або шляхом негайного консервування проби води. Як тільки зразок води виймається з акваріума або водойми, концентрація кисню в ньому негайно змінюється, оскільки туди проникає кисень з повітря. Вимірювання вмісту кисню в зразках води без консервантів не є дійсним (Noga, 2010).

У проточних системах вміст кисню є найвищим на вході в систему та найменшим на виході. У ставах клінічні ознаки гіпоксії найчастіше проявляються рано вранці перед сходом сонця; гіпоксичні стани часто швидко розсіюються після сходу сонця, маскуючи подію (Noga, 2010).

Найбільша риба зазвичай найчутливіша до кисневої недостатності. Якщо в акваріумі виживає лише риба, яка дихає повітрям, це переконливо свідчить про гостру гіпоксію середовища. Незважаючи на те, що карась китайський, або золота рибка (*Carassius auratus*) не дихає повітрям, цей вид також може витримувати низький вміст розчиненого кисню протягом тривалого часу.

Гіпоксію водного середовища необхідно диференціювати від інших причин гіпоксії, включаючи токсичність нітритів (див. роботу 6) і паразитоз зябер.

Що робити?

Гостра гіпоксія: 1) негайно відновити рівень кисню аерацією; 2) контролювати концентрацію аміаку (див. роботу 5) і нітритів (див. роботу 6) щодня протягом тижня, щоб переконатися, що біологічна фільтрація працює належним чином (тільки для акваріумів).

Хронічна гіпоксія: 1) збільшити аерацію; 2) зменшити обсяг годівлі; 3) зменшити щільність посадки риби.

Запобігання гіпоксії. Гостра гіпоксія водного середовища є надзвичайною ситуацією і необхідно вжити негайних заходів, щоб забезпечити риб насиченою киснем водою. Катастрофічність гострої гіпоксії водного середовища зумовлює вжиття всіх можливих заходів для запобігання розвитку цієї ситуації. Для великих аквакультурних систем з високою щільністю посадки риби це означає наявність відповідних аварійних аераторів і джерел живлення для боротьби з гіпоксією. Хронічна гіпоксія є менш надзвичайною, але все ще серйозною проблемою, яку слід негайно вирішувати. Наприклад, зменшення обсягу годівлі зменшить споживання кисню рибою (Noga, 2010).

Стави. Додаткову аерацію слід починати, якщо в ставах для сома концентрація розчиненого кисню падає нижче 3–4 мг/л (Tucker 1985) та 4–5 мг/л при вирощуванні лососевих. Аераційне обладнання включає як пневматичні (тобто повітряні насоси), так і механічні (тобто гребні колеса) пристрої. Можна переливати воду з сусіднього ставу в гіпоксичний. Також можна використовувати насичену киснем воду з криниці. Аерація зазвичай не збільшує концентрацію розчиненого кисню у всьому ставку, але забезпечує локальні ділянки води, багаті киснем (Tucker 1985), де риба залишається, доки рівень розчиненого кисню у всьому ставку не повернеться до прийняттого рівня. Таким чином, циркуляція є такою ж важливою, як і аерація, оскільки циркуляція збільшує об'єм насиченої киснем води у ставку.

Концентрація розчиненого кисню може суттєво відрізнятись у різних частинах водойми через різницю в біомасі рослин, напрямку вітру та пов'язані фактори. Аератори слід

розміщувати там, де найвищий вміст кисню, там, де скупчується риба. Якщо ставова риба вирощується при високій щільності посадки (наприклад, каналний сом понад 1900 кг/га), потрібно постійно слідкувати за можливістю виникнення гіпоксії. Підприємству аквакультури необхідно мати прилад для вимірювання кисню (Noga, 2010).

Вимірювання концентрації кисню у водоймі як у вечірніх сутінках, так і через 2 або 3 години пізніше дозволяє провести пряму лінію, яка може надійно передбачити концентрацію кисню на світанку (рис. 1.1).

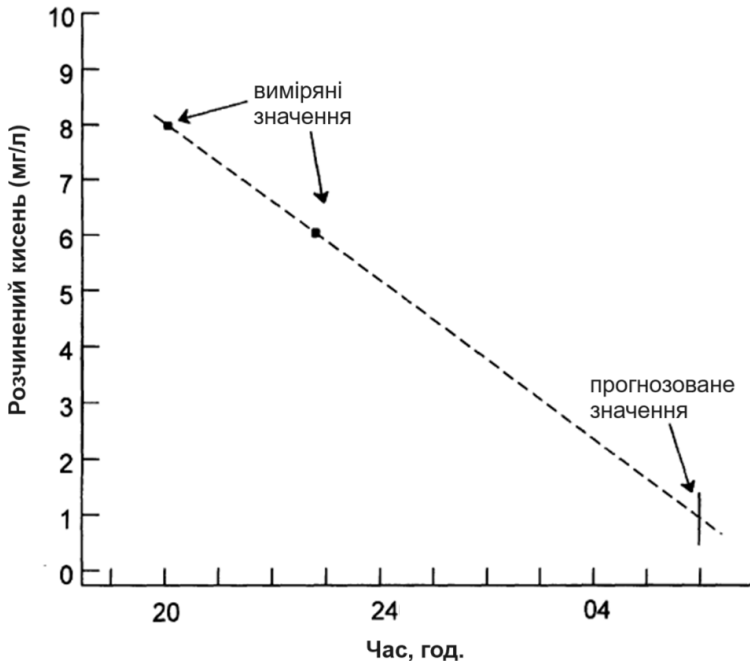


Рис. 1.1. Техніка прогнозування для оцінки нічного зниження вмісту розчиненого кисню, за Boyd (1990)

Потрібно регулярно контролювати концентрацію водоростей. Щільність водоростей можна оцінити, помістивши диск Секкі (Tucker, 1985) або інший предмет (наприклад, білий

диск) у воду для вимірювання каламутності. Загалом видимість води у ставку має бути не менше ніж 0,5 м від поверхні води (Noga and Francis-Floyd 1991). Потрібно мати на увазі, що помутніння також може виникнути через зважені часточки глини або інші тверді частинки (Noga, 2010).

Акваріуми. В акваріумах хронічна гіпоксія проблемою є рідко через значну кількість механічної аерації. Однак гостра гіпоксія водного середовища виникає через електричну або механічну несправність обладнання для аерації. Існують деякі свідчення, що додавання перекису водню може забезпечити короточасне підвищення концентрації розчиненого кисню (Maranthe et al. 1975). Слід уважно стежити за рівнями аміаку та нітритів в акваріумах, у яких спостерігалось різке зниження концентрації розчиненого кисню, тому що бактерії, які видаляють ці токсини, потребують кисню і, отже, можуть постраждати (див. роботи 5- 6).

Вирощування риб у проточних системах. Вода, яка використовується для аквакультури, має бути насиченою киснем до 100%. Коли вода з колодязів використовується для проточної культури, її потрібно аерувати або принаймні дати зрівноважитись з атмосферою перед тим, як поміщати у неї рибу. У проточних системах без додаткової аерації щільність посадки зазвичай обмежується концентрацією кисню, особливо при > 10 °C (Piper et al. 1982).

При вирощуванні форелі низький вміст кисню зазвичай є проблемою влітку, коли спостерігаються зниження руху води, інтенсивний метаболізм риб, високий рівень розкладання органічних речовин та велика кількість водоростей. Максимальну щільність поголів'я, рекомендовану для лососевих у каналах, можна розрахувати за допомогою індексу потоку (Noga, 2010).

Для лососевих риб рівень кисню в ідеалі не повинен бути нижчим за 6 мг/л або 80% насичення і ніколи не повинен опускатися нижче 5 мг/л на виході з системи.

Системи садків потрібно розміщувати в місцях руху води для забезпечення киснем. Необхідно регулярно видаляти забруднення з сіток, щоб запобігати блокуванню потоку води.

Завдання

1. За допомогою оксиметра виміряйте концентрацію розчиненого кисню у різних пробах води (у т.ч. з акваріуму в лабораторії) і зробіть висновок щодо його відповідності рибогосподарським вимогам.
2. Задача. Встановити рівноважну концентрацію розчиненого кисню у прісній воді за вимірним атмосферним тиском (можна використати дані метеопрогнозу на добу).
3. Заповнити відповідну таблицю (1.2):

Аквакультура	Причини гіпоксії	Рекомендовані заходи
Стави		
Акваріуми		
Проточні системи		

2. Вивчення впливу зміни температури води на здоров'я риб.

Температурний стрес

Мета: ознайомитися з причинами виникнення і методами запобігання гіпо- і гіпертермії у риб.

Теоретична частина. Температура тіла риб майже ідентична температурі водного середовища, і може перевищувати її не більше, ніж на 0,5-1,0°C, завдяки процесам обміну речовин, у яких відбувається виділення тепла. Певне підвищення температури може відбуватися в організмі риб, які активно рухаються, особливо в активних плавців, наприклад, у тунця температура може бути вищою ніж температура води до 10°C (Noga, 2010).

Зміна температури води суттєво впливає на всі аспекти життєдіяльності риб. Деякі види можуть витримувати лише вузький діапазон температур (стенотермні види), тоді як інші можуть пристосовуватися до широких коливань (евритермні

види). Риби з тропічних і субтропічних зон зазвичай більш стенотермні, ніж ті, що живуть в помірних і високих широтах, а морські види частіше виявляють стенотермність у порівнянні з прісноводними.

У випадку наближення температури води близько до летальної межі у риб виникає температурний стрес – від гострого до хронічного.

Гіпотермія – температура на рівні або близька до нижньої летальної межі для конкретного виду риб.

Причинами можуть бути відключення обігрівача акваріума через відключення електроенергії або поломку термостата; занадто мала потужність нагрівача для акваріума; акваріум розташований поблизу вікна або протягу.

Ознаки у риб: тремтіння, млявість; смертність акваріумних риб, окрім найбільш стійких до холоду (наприклад, золоті рибки та кої); інфекція водяною пліснявою.

Гіпертермія – температура біля верхньої летальної межі для конкретного виду.

Причинами можуть бути неправильно налаштований термостат обігрівача; нагрівач недостатньо занурений або зламався термостат; занадто велика потужність нагрівача для акваріума; акваріум біля джерела тепла або вікна.

Діагностика. Як і у випадку з розчиненим киснем, температуру води можна точно виміряти лише на місці, де утримувалася риба. Історія температурного стресу буде різною залежно від того наскільки низькою чи високою стала температура та як швидко досягалася стресова температура. Наприклад, багато тропічних акваріумних риб можуть витримувати відносно низьку температуру, якщо зміна температури відбувається повільно; це може статися під час потрапляння в акваріум без обігрівача. І навпаки, якщо в акваріумі посеред зими перестав працювати обігрівач, і відбулося зниження температури на 10 °C за добу, це може призвести до швидкої загибелі багатьох риб.

На відміну від акваріумів, температура води в ставах зазвичай може коливатися на 10 °C щодня без видимої шкоди

для риб (Boyd 1990). Це підкреслює важливість акліматизації для визначення впливу зміни температури (Noga, 2010).

Що робити?

1. Відновити належну температуру протягом відповідного періоду часу (як тільки це стане фізіологічно допустимим).
2. Перемістити рибу в середовище з належною температурою.

Лікування та профілактика. Контроль температури зазвичай здійснюється у малих закритих системах (наприклад, акваріумах). Загалом, морські рифові риби більш чутливі до температурного стресу, ніж прісноводні риби, і морські акваріуми повинні мати обігрівач достатньої потужності, щоб підтримувати в акваріумі температуру 24 °C. Обігрівач не має бути потужнішим, ніж це необхідно для підтримання температури, оскільки чим вища потужність, тим швидше підвищиться температура, коли обігрівач увімкнено. Якщо в акваріумі є лише риба, допустимі випадкові підвищення до 27°C. Однак безхребетні гірше переносять гіпертермію, і якщо температура перевищує 27°C, слід використовувати охолоджувач (Shute and Tullock, 1995).

У *ставах* або інших аквакультурних системах з великими об'ємами води зазвичай температурний стрес контролювати економічно недоцільно. Деякі фермери, які вирощують тропічну рибу, використовують пластикову плівку для ізоляції ставів під час різких похолодань, але це непрактично для ставів для вирощування промислової риби (Noga, 2010).

У *проточних системах* контроль температури можливий лише за умови рециркуляції більшої частини води або коли використовуються системи інкубації ікри з малим обсягом води. Коли рибу виймають з води (наприклад, поміщають у садок чи акваріум), потрібно уникати гіпертермії, робити це в прохолодну пору та уникати впливу прямих сонячних променів.

Важко дати точні рекомендації щодо допустимої зміни температури, оскільки вона залежить від виду, середовища та попередніх умов акліматизації. Наприклад, риби, які звикли до вищої температури, часто можуть витримувати гіпертермію

краще, ніж представники того самого виду, які утримувалися при нижчій температурі.

Під час акліматизації риби до певної температури, емпіричне правило полягає в тому, що температура води не повинна змінюватися більш ніж приблизно на 1 °C на годину. Деякі риби все ж можуть відчувати стрес через цю зміну, а багато інших терплять навіть швидші зміни.

Під час транспортування тепловодної риби бажано знизити температуру, щоб зменшити стрес. Перед вилученням температуру можна знижувати до 5 °C кожні 20 хвилин, якщо тільки риба не дуже маленька (Jensen 1990). Риба, яка зазвичай зазнає значних коливань температури (наприклад, у ставах), ймовірно, більш терпима до різких змін температури, ніж риба, яка утримується в стабільніших умовах (наприклад, в акваріумі з термостатом) (Noga, 2010).

Гіпотермія. Тропічні акваріумні риби, які взимку відправляють в регіони з помірним кліматом, можуть зазнавати дії різких перепадів температури. Якщо у риби спостерігаються клінічні ознаки гіпотермії, а температура значно перевищує нормальний діапазон, її слід якнайшвидше повернути принаймні до нормального діапазону. Один із способів зробити це – наповнити пластикові акваріумні пакети теплою водою та опустити їх у воду для транспортування. Зауважте, що види помірного клімату (наприклад, лососеві) часто навмисно швидко охолоджують перед транспортуванням, щоб зменшити транспортний стрес (Piper et al. 1982).

Гіпертермія. Як і у випадку з гіпотермією, здатність риби переносити гіпертермію залежить не лише від того, наскільки високою стає температура, але й від того, як швидко вона підвищується. Повільне підвищення температури переноситься організмом набагато краще. Під час акліматизації акваріумних риб до високої температури (наприклад, для розведення) найкраще не підвищувати температуру більше ніж приблизно на 3°C на добу. У деяких випадках, наприклад під час транспортування риби, температура може неминуче піднятися вище цього максимуму (Noga, 2010).

Коли підвищується температура, вміст кисню повинен бути якомога ближчим до рівня насичення, тому що низький рівень кисню перешкоджає здатності риби звикнути до зміни температури (Weatherly 1970). Під час транспортування рекомендовано знизити температуру до нижньої межі фізіологічного діапазону для цього виду. Коли температура наближається до верхньої летальної межі виду, доцільно зменшити або припинити годування, оскільки кількість кисню, необхідного як для гомеостазу, так і для перетравлення їжі, може перевищувати кількість кисню, який риба може отримати з води (Stevenson, 1987).

Завдання

- З'ясувати причини температурного стресу у риб та рекомендовані заходи. Заповнити відповідну таблицю 2.1:

Аквакультурні системи	Причини температурного стресу	Рекомендовані заходи
Стави		
Акваріуми		
Проточні системи		

- Розв'язати задачу:

Встановити рівноважну концентрацію та % насичення розчиненим киснем (мг/л) для прісної води при температурі 25°C та атмосферному тиску 98,0 кПа. Відомо, що виміряна концентрація становить 10 мг/л, а тиск 1 атм. = 101,325 кПа.

3. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження зростання кислотності водного середовища

Мета: ознайомитися з причинами і наслідками підвищеної кислотності середовища для здоров'я риб, а також заходів щодо попередження низького рН.

Теоретична частина. Колодязна або джерельна вода здебільшого містить розчинені карбонати та вуглекислий газ, а її рН 5-8. Ґрунтова вода, яка контактує з силікатними

мінералами (граніт, польовий шпат, глина тощо), погано буферизована і зазвичай має низький рН і значну кількість CO_2 порівняно з ґрунтовою водою з карбонатного субстрату, наприклад, вапняку, який, таким чином, добре буферизований.

У ставах рН залежить від типу ґрунту. Кислі сульфатні ґрунти можуть мати рН менше 4 через окислення сульфідів до сірчаної кислоти (Boyd 1990), що робить їх непридатними для вирощування риби, якщо вони не нейтралізовані. Води, на які впливають кислотні дощі або які дренують кислі ґрунти, можуть мати низький рН (Callinan et al., 2005). Це може бути проблемою в проточних аквакультурних системах після дощу, коли велика кількість кислоти вимивається у воду, як це трапляється, наприклад, на форелевих фермах на сході США (Noga, 2010).

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 акваріум) може бути фатальним (Noga, 2010).

Діагностика. Для вимірювання рН зручно використовувати недорогі портативні рН-метри (наприклад, Aquatic Ecosystems, Fisher).

Гостро низький рН спричинює загибель риб із тремором і гіперактивністю; задишку. Хронічно низький рН – підвищене утворення слизу і реакцію на хронічний стрес. Діагностика

гострого або хронічного кислотного стресу повинна брати до уваги оптимальний для виду рН, швидкість і діапазон його зміни (Noga, 2010).

Важливим моментом є також акліматизація: рН у ставах часто коливається щодня від 6,5 до 9,0 (Swingle 1969). Однак, якби така велика зміна рН відбулася в звичайному морському акваріумі зі стабільним рН, це спричинило б серйозний стрес.

Токсичність низького рН також ускладнюється його впливом на дуже багато параметрів якості води, особливо на аміак (див. роботу 5) та інші токсини. На багато токсинів впливає рН, особливо на метали, які стають токсичнішими при низькому рН. Алюміній є одним із найпоширеніших металів у ґрунті. Іон алюмінію розчиняється та є токсичнішим за кислого рН, тому токсичність алюмінію може виникнути одночасно і може бути основною причиною смерті риб під час потрапляння кислоти у воду (Noga, 2010).

Низький рН також збільшує частку бікарбонатної буферної системи, яка присутня у вигляді вільного CO_2 . Таким чином, швидке підкислення високолужної води може підвищити концентрацію вільного CO_2 , викликаючи гіперкарбію, а не ацидоз (EIFAC 1969).

Чиста вода, насичена вуглекислим газом, має рН 5,6. Якщо рН < 5,6, вода містить інші кислоти, сильніші за вугільну (наприклад, оксиди неметалів, гідриди галогенів, органічні кислоти). Це може свідчити про можливе джерело низького рН.

Гостре отруєння кислотою, що характеризується тремором і гіперактивністю, зустрічається набагато рідше, ніж хронічний кислотний стрес. Зяброва тканина є основною мішенню кислотного стресу. Низький рН стимулює підвищене утворення слизу, що заважає газо-іонному обміну. Основними клінічними ознаками є порушення кислотно-лужного балансу (що викликає респіраторний стрес) і низький вміст натрію та хлориду (що викликає осмотичний стрес) (Noga, 2010).

Хронічний стрес з низьким рН пов'язаний зі повільним ростом, репродуктивною недостатністю та підвищеним накопиченням важких металів. Риба, яка одужує від гострого

кислотного стресу, вразливіша до інфекцій. Гострий вплив кислоти також може спричинити ушкодження шкіри і веде до вторинної мікробної інфекції (Callinan et al. 2005).

Що робити?

Акваріуми: 1) змінити воду; 2) додати буфер; 3) відрегулювати рН, якщо рівень аміаку безпечний.

Стави: 1) додати буфер; 2) зменшити щільність посадки.

Проточні системи: 1) попередньо обробити буфером воду, яка надходить у систему; 2) додати основу.

Важко дати точні рекомендації щодо допустимої зміни рН, оскільки вона залежить від виду, середовища та попередніх умов акліматизації. Під час акліматизації риби до певного рН дотримуються емпіричного правила: рН не слід змінювати більш ніж на 0,2–0,5 одиниць рН/добу, якщо рівень не загрожує життю. Риби рідко відчувають стрес через цю зміну, і багато з них терплять навіть швидші зміни. Наприклад, райдужна форель переносить негайний перехід від рН 7,2 до рН 8,5 (Witschi and Ziebel 1979).

Зауважте, що токсичність аміаку значно зростає з рН, тому рівень аміаку має бути достатньо низьким, щоб запобігти можливим токсичним побічним ефектам до того, як рН буде відрегульовано (див. роботу 5). Високий вміст кальцію підвищує стійкість до низького рН, ймовірно, за рахунок зниження іонної проникності зябер (Haines 1981).

Існує багато комерційних препаратів для регулювання рН *акваріумів*. Вони складаються з карбонатного, бікарбонатного та/або фосфатного буферів. Карбонатні – переважні бікарбонатні буфери; вони є основним джерелом буфера в природних водах. Часті регулярні заміни води (10–25% кожні 2–4 тижні) запобігатимуть зниженню рН і можуть бути використані для коригування неправильного рН. Зверніть увагу, що карбонатні буфери, наприклад вапняк, буферизують кислоти, але не підтримуватимуть рН вище 7,5, що виходить за межі діапазону, необхідного для тропічної морської риби. Загальна лужність у морських акваріумах має становити 200

мг/л (4 мекв/л) і не повинна перевищувати діапазон 100–300 мг/л (2–6 мекв/л) (Мое 1992).

У *ставах* збільшення лужності за допомогою буфера також вирішить проблему рН. У водоймах з теплою водою, якщо лужність ставу менше ніж ~ 50 мг/л CaCO_3 , слід додати буфер (Noga, 2010).

Деякі кислотно-сульфатні ґрунти потребують надзвичайно великої кількості буфера для нейтралізації. Ними найкраще керувати, використовуючи буфер у поєднанні з іншими методами управління. Boyd (1990) детально описує техніку додавання буфера до води ставків.

На ферелевих фермах може знадобитися вапнувати воду під час епізодів низького рН. Гашене вапно не реагує достатньо швидко, щоб підвищити рН у системі. Тому на деяких фермах додають розчини гідроксиду натрію (NaOH), використовуючи дозуючий пристрій для миттєвої нейтралізації кислотності (Boyd 1990).

Вапнування кислих, низьколуужних ставових вод (за Boyd, Tucker, 2019). Вапнування підвищує рН донних ґрунтів, підвищує лужність і жорсткість води. Ці зміни покращують умови для життєдіяльності мікроорганізмів і росту бентосних тварин, підвищують доступність вуглекислого газу, фосфору та інших поживних речовин, посилюють ріст фітопланктону і покращують виживання та ріст об'єктів аквакультури.

Найбільш поширеними матеріалами для вапнування є вапняк, негашене та гашене вапно. Ці продукти виготовляються з природного вапняку, який є відносно м'якою осадовою гірською породою, що складається з карбонату кальцію (CaCO_3 або кальцит), карбонату кальцію і магнію ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ або доломіту) або суміші цих карбонатів. Негашене вапно, CaO , виготовляється шляхом випалювання вапняку при високій температурі. Гашене вапно, Ca(OH)_2 , отримують шляхом обробки негашеного вапна водою. Як негашене, так і гашене вапно зазвичай являють собою дрібний білий порошок.

Вапняк є найбезпечнішим і найдешевшим засобом для вапнування, який можна використовувати для меліорації ставів з

низькою лужністю та кислим донним ґрунтом. Вапняк розчиняється повільно і не викликає швидких змін рН води. Негашене та гашене вапно мають такий самий загальний ефект, як і вапняк, але спочатку спричиняють набагато вищий рН і зазвичай не застосовуються до води у ставах впродовж періоду вирощування риби. Ці два матеріали, однак, можна вносити на дно порожніх ставів у кількості 2000–3000 кг/га для підвищення рН і знищення патогенів та інших небажаних організмів. Гашене вапно реагує з вуглекислим газом і іноді використовується для зниження високого рівня вуглекислого газу (Noga, 2010).

Стави із загальною лужністю нижче 50–60 мг/л необхідно вапнувати. Швидкість вапнування, необхідну для підвищення рН ґрунту та загальної лужності, можна оцінити за допомогою одного з кількох тестів на потребу вапна, які описані в публікаціях (наприклад, Boyd and Tucker, 2014). Альтернативою є вимірювання рН ставового ґрунту в суміші 1:1 сухого подрібненого ґрунту та дистильованої води. Норму вапнування можна вибрати на основі рН донного ґрунту з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Потреби у вапні (кг/га) залежно від рН та типу ґрунту
(за Boyd, Tucker, 2019)

рН ґрунту	Тип ґрунту		
	Глинистий	Суглинистий	Піщаний
<4.5	5,000	4,000	2,500
4.5–5.0	4,000	3,000	2,000
5.1–5.5	3,000	2,000	1,500
5.6–6.0	2,000	1,500	1,000
6.1–6.5	1,500	1,000	750
6.6–7.0	1,000	750	500
7.1–7.5	500	375	250
>7.5	0	0	0

Інший підхід полягає в застосуванні вапняних добрив в кількості 1000 кг/га та перевірці загальної лужності через 3–4

тижні. Якщо лужність все ще низька, можна застосувати більше добрив (Noga, 2010).

Застосування вапняних добрив зазвичай збільшує загальну лужність і жорсткість води приблизно однаково. Розчинність карбонату кальцію у воді в рівновазі з нормальною концентрацією вуглекислого газу в атмосфері становить приблизно 60 мг/л. У ставах зазвичай більше вуглекислого газу, доступного в результаті розкладання органічної речовини, і розчиняється більше карбонату кальцію. Проте, якщо вода має лужність понад 80–100 мг/л, вапно зазвичай не розчиняється.

Важливо, щоб вапно було рівномірно розподілене по всьому ставку. Найкраще це можна зробити, коли водойми порожні, але вапно також можна розкидати по поверхні ставу з човна. Кислі стави зазвичай потрібно вапнувати після кожного облову риби, якщо вони осушуються для облову. Кислі стави, які не осушуються для облову, рекомендують вапнувати з інтервалом у 3-4 роки (Noga, 2010).

Завдання

1. За допомогою рН-метра виміряйте показник рН у різних пробах води (у т.ч. з акваріуму в лабораторії) і зробіть висновок щодо їх сприятливості для життя риб.
2. За теоретичним матеріалом, з'ясуйте як низький рН водного середовища впливає на організм риб. Заповніть відповідну таблицю 3.2:

Гостро низький рН	Хронічно низький рН

3. Перелічіть причини зниження рН водного середовища і рекомендовані заходи та заповніть таблицю 3.3:

Аквакультурні системи	Причини зниження рН	Заходи
Стави		
Акваріуми		
Проточні системи		

4. Розв'яжіть задачі:

- 1) Встановити скільки вапна потрібно внести в став площею 4,5 га з піщаним ґрунтом на дні, якщо його $pH=5,0$?
- 2) Встановити скільки вапна потрібно внести в став площею 10 га з суглинним ґрунтом на дні, якщо його $pH=7,0$.
- 3) Скільки вапна потрібно внести в став площею 20 га з глинистим ґрунтом на дні, якщо його $pH=7,1$?
- 4) Скільки вапна потрібно внести в став площею 15 га з піщаним ґрунтом на дні, якщо його $pH=7,1$?
- 5) Скільки вапна потрібно внести в став площею 15 га з глинистим ґрунтом на дні, якщо його $pH=5,6$?

4. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження зростання лужності водного середовища

Мета: ознайомитися з причинами і наслідками підвищеної лужності середовища для риб, а також заходів щодо попередження зростання pH .

Теоретична частина. Занадто високий pH (занадто лужне середовище) встановлюють методом хімічного вимірювання. Різка підвищення pH викликає потемніння шкіри та зябер і гостру реакція на стрес у риб. До таких наслідків може призвести неправильна обробка водойми вапном. Хронічно високий pH викликає хронічну реакцію на стрес (Noga, 2010).

Лужний pH -стрес зустрічається набагато рідше, ніж кислотний, тому що, по-перше, більшість закритих аквакультурних систем мають тенденцію до зниження pH з часом; і, по-друге, кислоти є набагато поширенішими забруднювачами водного середовища, ніж основи. Дуже високий pH може бути спричинений високим рівнем лугів, що вимиваються з недостатньо твердого бетону (Hine 1982). Бетонні контейнери повинні вилуговуватися перед використанням для вирощування риби. Для прискорення процесу бетон можна обробити соляною кислотою.

Неправильне використання гашеного або негашеного вапна може призвести до швидкого підвищення pH до 11, що

призводить до загибелі всіх риб. Потім власник повинен чекати кілька тижнів, поки рН нормалізується, перш ніж поновити поголів'я (Noga, 2010).

Багато риб погано живуть навіть у помірно лужній воді, тому їх слід утримувати в м'яких, помірно кислих умовах (тетри, барбуси, цихліди, гурами). Лужний рН також може збільшити смертність інкубованої ікри деяких видів, можливо, через те, що кисла вода є певною мірою бактеріостатичною. Хронічно високий добовий рН у ставах майже завжди спричинений надмірним розвитком фітопланктону або фотосинтезом судинних рослин, що підвищує рН протягом дня, оскільки споживається CO_2 . Це відбувається у водоймах або з низькою лужністю, або з низьким рівнем кальцію (відносно лужності). Значні коливання рН відбуваються у водах з низькою лужністю, оскільки немає достатньої буферної ємності для пом'якшення *метаболічного алкалозу*, пов'язаного з рослинами. У водоймах із високою лужністю та низькою кальцієвою жорсткістю рН може підвищуватися протягом дня, іноді понад 10. Цей епізодично високий рН може бути смертельним для мальків риб (Noga, 2010).

Високий рН може виникнути через те, що осадження карбонату кальцію зазвичай гальмує підвищення рН, оскільки гідроліз карбонату є джерелом високого рН. Оскільки більшість природних вод має належну кількість і пропорції жорсткості та лужності, підвищення рН є незвичайним стресом для ставових риб. Високий рН у ставах важливий, оскільки він збільшує кількість токсичного неіонізованого аміаку (див. практичну роботу 5).

Діагностика лужного рН-стресу повинна брати до уваги ті ж фактори, які використовуються для діагностики кислотного стресу (див. практичну роботу 3). При високому рН клітини зябрового слизу та епітеліальні клітини є гіпертрофованими (Daye and Garside 1976). Також може статися пошкодження рогівки. Ці клінічні ознаки неспецифічні.

Що робити?

Акваріуми: 1) додати буфер; 2) додати деіонізовану воду; 3) додати торф; 4) механічно видалити зайві рослини.

Стави: 1) додати буфер (в стави з низькою лужністю); 2) додати кальцій (в стави з високою лужністю); 3) додати квасці (у стави з високою лужністю); 4) обробити водорості гербіцидом (Noga, 2010).

Для корекції лужного рН-стресу треба брати до уваги ті ж фактори, які використовуються для корекції кислотного стресу (див. практичну роботу 3). Особливо зауважте, що важкі метали мобілізуються і стають більш токсичними, як тільки рН знижується. Швидке зниження рН також може спричинити шок. Краще не знижувати рН більш ніж на $\sim 0,20 - 0,50$ одиниць рН на день, хоча риби часто переносять набагато більший.

Акваріуми. Існує багато препаратів для регулювання рН акваріумів. Для корекції рН зазвичай використовуються фосфатні буфери. Фільтрування води через торф також зменшить рН, а також жорсткість, і зазвичай використовується акваріумістами для кондиціонування води для певних видів. Додавання деіонізованої води також зменшить рН шляхом розведення карбонатних буферів, які зберігають нейтральність.

У **ставах** із низькою лужністю додавання буфера зменшить високий добовий пік рН. Бідні на кальцій водойми можна обробити кальцієм; квасці також успішно використовувалися (Boyd 1990). Знищення деяких рослин за допомогою гербіциду також зменшить щоденне підвищення рН, але зазвичай це не рекомендується через несприятливі побічні ефекти (низький вміст кисню в результаті відмирання водоростей і можливу токсичність гербіциду для риб).

Завдання

1. За теоретичним матеріалом, з'ясуйте як підвищення рН водного середовища впливає на організм риб. Заповніть відповідну таблицю 4.1:

Гостро високий рН	Хронічно високий рН

2. Перелічіть причини підвищення рН водного середовища і рекомендовані заходи та заповніть таблицю 4.2:

Аквакультурні системи	Причини зниження рН	Заходи
Стави		
Акваріуми		

5. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб аміаком

Мета: ознайомитися з причинами виникнення та ознаками отруєння риб аміаком у різних аквакультурних системах, а також заходів запобігання цьому.

Теоретична частина. Отруєння аміаком є однією з найпоширеніших проблем неналежної якості води, які діагностуються в аквакультурі (Meade, 1985). Аміак є основним азотовмісним продуктом життєдіяльності риби, ця сполука утворюється під час розщеплення складних азотистих сполук (наприклад, білків). Аміак може викликати гостру смертність, але найчастіше вплив проявляється через сублетальний стрес. ГДК амонійного нітрогену у воді водойм рибогосподарського призначення – 0,39 мг/дм³.

В акваріумі накопичення аміаку відбувається через недостатню кількість бактерій, які окислюють аміак до нітриту. Окислювачами аміаку є види родів *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* і *Nitrospira*, найчастіше це *Nitrosomonas europaea*, як у прісній, так і в морській воді (Burrell et al. 2001). У новому акваріумі цих бактерій-окислювачів аміаку мало. Отже, коли рибу поміщають у новий акваріум, вміст аміаку швидко зростає, отруюючи рибу; це часто називають «синдромом нового акваріума» (англ. new tank syndrome) (Noga, 2010).

Отруєння аміаком також може трапитися в акваріумах із застоюною водою. Концентрація аміаку може різко підвищитися, якщо додати нову рибу в акваріум, у якому вже є багато риби, або якщо перегодувати, що спричинить накопичення гнилого корму в акваріумі (рис.5.1) (Noga, 2010).

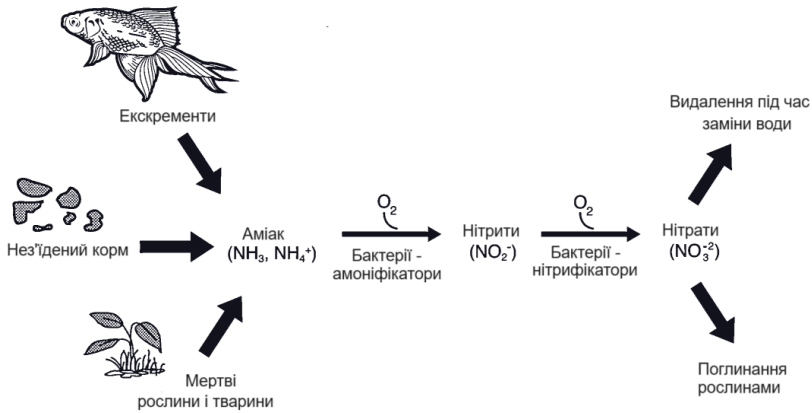


Рис. 5.1. Основні джерела надходження та видалення азоту в аквасистемі (за Noga, 2010).

Загальна кількість амонійного нітрогену, який може перетворитися на нітрит, повністю залежить від потужності біологічної фільтрації. Вона відбувається, коли вода з акваріума проходить через поверхню, вкриту бактеріями, які окислюють аміак. Таким чином, біологічна фільтрація (і видалення аміаку) є найбільшою там, де існує великий потік води через велику площу поверхні. Це відбувається в акваріумних фільтрах. Час, необхідний для встановлення фільтра, істотно збільшується при нижчих температурах і може значно відрізнятись залежно від інших умов середовища.

Якщо потужність біологічної фільтрації занадто низька для видалення всього аміаку, який виробляє риба, концентрація аміаку підвищиться. Якщо очищати фільтри надто енергійно (наприклад, надмірне перемішування гравію), це спричинить стрибок вмісту аміаку, оскільки бактерії легко витісняються з субстрату та чутливі до зміни умов водного середовища (Noga, 2010).

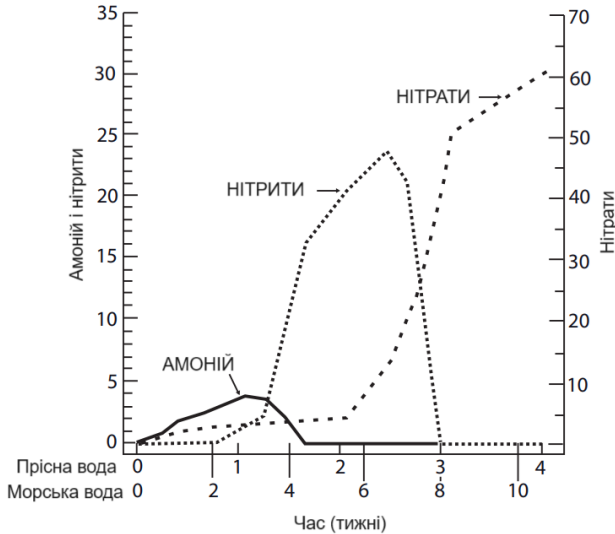


Рис. 5.2. Динаміка концентрації аміаку, нітратів та нітритів під час синдрому нового акваріума, якщо рибу додають у день 0 (за Noga, 2010)

Зазвичай у *ставах* не виникає проблем з вмістом аміаку, якщо застосовується додаткова аерація, яка запобігає гіпоксії і забезпечує більшу щільність посадки риби (Boyd 1990). Як і в інших системах, нез'їдений корм, який гниє, та аміак, який утворюється в результаті травлення або розкладання мертвої риби, є основним джерелом аміаку в *ставах*. Токсичність аміаку найімовірніше виникає на заході сонця, коли рН, температура і, отже, неіонізований аміак досягають максимуму.

У більшості ставів водорості, а також бактерії *Nitrosomonas* є основними споживачами аміаку. Більшість ставів мають великі популяції водоростей.

Концентрація аміаку має тенденцію до збільшення восени та взимку через зниження швидкості метаболізму водоростей та бактерій при низьких температурах. Концентрація аміаку також може підвищуватися після масового відмирання водоростей; це не лише зменшує асиміляцію аміаку, але й збільшує накопичення аміаку, спричинене гниттям водоростей.

Відмирання водоростей може відбуватися спонтанно або через використання альгіцидів.

Проточні системи. Кисень, як правило, є основним обмежуючим фактором цих систем. Однак концентрація аміаку може стати токсичною, якщо додаткова аерація збільшує максимальну щільність посадки риби, яку можна утримувати. Найменше аміаку на вході і найбільше на виході з проточної системи (Noga, 2010).

Клінічні ознаки отруєння аміаком. Гостра токсичність аміаку може спричинити аномалії поведінки, включаючи гіперзбудливість. Часто риби припиняють їсти. Хронічне отруєння аміаком асоціюється з гіперплазією та гіпертрофією зябрової тканини, хоча досі не з'ясовано, чи спричинена ця неспецифічна патологія безпосередньо отруєнням аміаком чи радше іншими аспектами поганої якості води, які часто супроводжують хронічно високий рівень аміаку (Noga, 2010; Daoust and Ferguson 1985). Точний механізм отруєння аміаком риб невідомий, але високий вміст аміаку у воді підвищує рівень аміаку в крові та тканинах, викликаючи підвищення рН крові, порушення осморегуляції, збільшення споживання кисню тканинами та зниження транспорту кисню кров'ю (Schwedler et al. 1985). Хронічне отруєння аміаком уповільнює ріст і знижує стійкість до хвороб (Noga, 2010).

Діагностика отруєння аміаком. Рівень аміаку легко визначити за допомогою наявних у продажу тестових наборів, які показують загальний азот амонію (*англ.* total ammonia nitrogen, TAN). Також для вимірювання амонію можна використовувати іоноселективний електрод.

Амоній присутній у водних екосистемах у двох формах: неіонізованій (NH_3) та іонізованій (NH_4^+). Неіонізований аміак токсичний для риб, тоді як амоній (NH_4^+) набагато менш токсичний (Meade, 1985). Їх співвідношення у воді залежить здебільшого від рН, а також від температури та солоності. *Високий рН і температура, а також низька солоність сприяють переважанню неіонізованої форми* (Meade 1985). Отже, загальний азот амонію (TAN) не є хорошим показником

потенційних проблем з аміаком, оскільки токсичність в основному зумовлена неіонізованою фракцією аміаку.

Токсичність аміаку залежить від умов водного середовища (рН, температури, солоності, жорсткості води) та інших стресових факторів. Тому вимірювання загального аміаку повинні супроводжуватися вимірюваннями рН і температури води, щоб отримати оцінку концентрації неіонізованого аміаку. Необхідність одночасних вимірювань рН для отримання концентрації неіонізованого аміаку значно ускладнює проблему, оскільки рН може швидко змінюватися в ставах і може сильно відрізнятись в різних водоймах. У ставових системах, де токсичність аміаку є поширеною проблемою, вимірювання необхідно проводити щодня або через день, оскільки умови можуть змінюватися досить швидко. Зразки слід відбирати в другій половині дня, тому що рН і, отже, концентрація неіонізованого аміаку зазвичай найвища в цей час. У культурах, де проблеми з отруєнням аміаком трапляються рідко, відбір проб за частим графіком (щодня) може бути неефективним використанням часу, однак відбір проб за більш грубим графіком (щотижня) буде недостатнім для виявлення пікових рівнів аміаку, які можуть виникнути протягом короткого періоду. Можливо, найкраще керівництво для створення програми моніторингу рівня аміаку можна отримати з досвіду або порад інших фахівців з аквакультури у регіоні.

Концентрацію токсичного аміаку визначають за стандартною діаграмою (наприклад, Додаток 2, джерело: Noga, 2010, с. 93).

Вплив сублетального рівня аміаку також підвищує толерантність до токсичності аміаку. Сублетальні рівні, які впливають на ріст, особливо важко визначити, тому рекомендується підтримувати рівень аміаку якомога нижчим.

Концентрація аміаку, що перевищує $\sim 1,00-2,00$ мг/л, зазвичай є летальною протягом 1-4 днів (Meade 1985). Нижче цього рівня риби можуть не загинути, але вони будуть зазнавати стресу. Якщо вміст аміаку перевищує 0,05 мг/л, його слід зменшити якомога швидше.

Що робити?

Рівень аміаку в *акваріумі* можна знизити частою підміною води; але в акваріумі, який давно встановлений, треба діяти обережно, щоб не спричинити екологічний шок.

Додавання цеоліту є безпечним і ефективним способом швидкого зменшення концентрації аміаку. Однак ефективність цеоліту знижується з підвищенням солоності. Зниження рівня рН зменшить відсоток аміаку, який присутній у вигляді NH_3 . На кожну 1 одиницю зниження рН відбувається десятикратне зниження NH_3 (див. Додаток 2); це слід робити обережно, оскільки швидке падіння рН може спричинити інші проблеми (див. робота 3).

Аміак також можна хімічно контролювати шляхом додавання комерційних продуктів нейтралізації аміаку (наприклад, Ammonia Detox), які містять гідроксиметансульфонат натрію (Riche et al. 2006).

Зауважте також, що зниження рівня аміаку на ранніх стадіях створення біологічного фільтра може подовжити час, необхідний для досягнення його максимальної ефективності. Однак високий рівень аміаку також пригнічує розвиток бактерій, які окислюють нітрити (див. роботу 7). Будь-які негайні заходи контролю аміаку (наприклад, підміна води, додавання цеоліту, обробка рН, хімічна нейтралізація) корисні, але повинні бути частиною плану збільшення біологічної фільтраційної здатності акваріума.

У новому акваріумі додавання комерційного препарату нітрифікуючих бактерій може прискорити процес встановлення ефективного фільтра, але зазвичай не призведе до миттєвого ефекту. Крім того, різноманітність біологічних фільтрів та їх різна присутність у різних умовах навколишнього середовища (Rowan et al. 2003) ставить під сумнів корисність комерційних нітрифікуючих бактеріальних препаратів (Kolcott 2004).

Встановлення біофільтра часто відбувається швидше, якщо використовується фільтруючий матеріал (гравій, нитчастий біофільтр) зі здорового акваріума; однак існує ризик занесення патогенів з таким матеріалом.

У давно встановленому акваріумі отруєння аміаком виникає, коли в акваріумі знаходиться більше риби, ніж може витримати біологічна фільтрація. У цьому випадку потрібно або видалити частину риби, або покращити біологічну фільтрацію.

Багато ліків можуть бути токсичними для нітрифікуючих бактерій. Використання таких ліків може спричинити «синдром нового акваріума». При хімічному пошкодженні біологічного фільтра необхідно додати в акваріум фільтр з активованим вугіллям, щоб видалити всі сліди препарату. Потім з ним слід поводитися як з новим акваріумом і вжити відповідних заходів, як описано вище (Noga, 2010).

Лікування отруєння аміаком

У *ставах* профілактика отруєння аміаком є кращою, ніж терапія, оскільки аміак не можна швидко видалити. У короткостроковій перспективі додавання прісної води розбавить аміак. Стави площею понад 0,5 га не можна швидко промити, але додавання прісної води створить у водоймі притулок, де риба зможе уникнути токсину (Noga, 2010).

Бажано згодувати не більше 110 кг корму/га/день, щоб уникнути накопичення аміаку в руслових ставах для сома (Noga and Francis-Floyd 1991). Однак багато виробників відмовляються від цієї рекомендації, оскільки риба росте повільніше, подовжуючи цикл виробництва (Noga, 2010).

Концентрація TAN у ставах зазвичай зростає повільно; тому двотижневий моніторинг зазвичай є достатнім. Якщо TAN перевищує 0,50 мг/л, його слід контролювати щодня, поки він не повернеться до 0. Використання високоякісного корму з високим вмістом легкозасвоюваного протеїну також зменшить утворення аміаку (Noga, 2010).

В *проточних системах* зменшення щільності посадки або швидкості годівлі або збільшення притоку води є найпоширенішими методами лікування накопичення аміаку. Іншим варіантом є обробка води цеолітом (Noga, 2010).

Оскільки більша частина аміаку в проточній системі походить від метаболізму риби і порівняно мало з джерела води або нез'їденого корму, коефіцієнт амонійного нітрогену (AF)

можна розрахувати за формулою 5.1 (Noga, 2010 з Piper et al. 1982, зі змінами):

$$AF = C_{TAN} \times Q / m \quad (5.1)$$

де C_{TAN} – загальна концентрація амонійного нітрогену (мг/л);

Q – витрата води (л/хв.);

m – маса корму, згодowanego за день (кг).

AF визначається шляхом вимірювання загальної концентрації амонійного нітрогену C_{TAN} у системі кілька разів протягом 1 дня.

Коли визначено AF , загальну кількість аміаку на виході з цієї проточної системи за різних швидкостей годівлі та витрати води, можна передбачити за формулою 5.2:

$$C_{TAN} = m \times AF / Q \quad (5.2).$$

Завдання

1. За теоретичним матеріалом, з'ясуйте причини підвищення концентрації аміаку. Заповніть відповідну таблицю 5.3:

Система аквакультури	Причини
Акваріуми	1) 2) ...
Стави	
Проточні системи	

2. Задача. Встановити загальну концентрацію амонійного нітрогену у на виході з проточної системи, якщо відомо, що маса корму, згодowanego за день, становить 40 кг, коефіцієнт амонійного нітрогену $0,375 \text{ мг} \cdot \text{хв} / \text{кг}$, а витрата води – 30 л/хв. Чи відповідає цей показник якості води вимогам ГДК_{риб}? Відповідь обґрунтуйте.
3. Самостійна робота. Розробіть загальні рекомендації для виробника акваріумної риби щодо контролю вмісту аміаку і запобігання отруєнню.

6. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб нітритами

Мета: ознайомитися з причинами виникнення і ознаками отруєння риб нітритами, а також заходів щодо попередження цього.

Теоретична частина. Отруєння нітритами (хвороба Брауна, синдром «нового акваріума») (*англ.* new tank syndrome).

ГДК нітритного нітрогену у воді водойм рибогосподарського призначення – 0,02 мг/дм³.

Більшість обставин, які викликають отруєння аміаком, також може призвести до отруєння нітритами. У новоствореному акваріумі накопичення нітритів зазвичай відбувається після того, як аміак досягає піку (див. рис. 5.2). Це пояснюється тим, що бактерії, які окиснюють нітрити (нітрифікатори або бактерії, що окиснюють нітрити [NOB]), які перетворюють нітрит (NO_2^-) на нітрат (NO_3^-), потребують часу, щоб стати активними, як і бактерії, які перетворюють аміак на нітрит. Існує ряд NOB як у прісноводних, так і в морських середовищах, включаючи види *Nitrobacter* і *Nitrospira*. Іноді присутні *Nitrospira*, але не *Nitrobacter* (Hovanec and DeLong 1996). Нітрифікатори також інгібуються аміаком. Висока концентрація амонію в лужній воді (наприклад, морській воді) є токсичною для NOB, що призводить до популяції виключно АОВ у новому акваріумі (Hovanec et al. 1998).

Додавання навіть однієї риби в акваріум може призвести до тимчасового дисбалансу та подальшого різкого підвищення вмісту аміаку, який згодом пригнічує нітрифікаторів, спричиняючи сплеск нітритів (Noga, 2010).

І АОВ, і NOB також, пригнічуються сильним світлом (Мое 1992, Noga, 2010). Деякі хімічні речовини вибірково пригнічують NOB (як еритроміцин у прісній воді і неоміцину сульфат у морській воді), викликаючи стрибок концентрації нітритів (Noga, 2010).

У ставах отруєння нітритами є поширеним явищем восени, оскільки температурні оптимуми АОВ і NOB різні, що призводить до накопичення нітритів.

Нітрит не є проблемою в проточних системах, оскільки не відбувається значного перетворення аміаку в нітрит протягом короткого часу, протягом якого вода присутня в системі.

Клінічні ознаки отруєння нітритами

Нітрит активно транспортується через зябра і потрапляє в кров (Lewis and Morriss 1986) і окислює гемоглобін (Hb) до метгемоглобіну (MetHb). Метгемоглобін не може ефективно транспортувати кисень, тому тканини організму не отримують кисню. Гемоглобін і метгемоглобін відрізняються кольором: насичений киснем Hb червоний, MetHb – коричневий. Тому риба, отруєна нітритами, часто має блідо-коричневі або коричневі зябра. Концентрація метгемоглобіну 25–30% зазвичай надає крові злегка коричнюватого кольору, а близько 40% спричинює помітну зміну кольору крові на шоколадно-коричневу і блідо-коричневі зябра. Риби також можуть мати бліді зябра при отруєнні нітритами, для них характерні гіпоксія, млявість і скупчення біля поверхні води. Рибу з отруєнням нітритами слід якомога менше турбувати, оскільки навіть незначне навантаження може викликати швидку загибель.

Метод діагностики

1. Хімічне вимірювання високого вмісту нітритів у воді.
2. Вимірювання високого рівня metHb у крові.

Остаточний діагноз про отруєння нітритами вимагає вимірювання концентрації MetHb у крові (рівні MetHb у стані спокою значно відрізняються, але >25% вважається ненормальним), у поєднанні з вимірюванням концентрації нітритів у воді. Однак рутинна клінічна діагностика нітритного токсикозу базується виключно на вимірюванні рівня нітритів. Це має свої обмеження, оскільки риба сильно відрізняється за вразливістю до отруєння нітритами. Для підтвердження діагнозу слід шукати принаймні грубі докази метгемоглобінемії (Noga, 2010).

Для вимірювання нітритів можна використовувати колориметричні набори. Під час аналізу вимірюють азот нітритний, який можна перетворити на загальний нітрит, використовуючи коефіцієнт перетворення 3,3. Наприклад, якщо

концентрація азоту нітритного ($\text{NO}_2\text{-N}$) становить 0,10 мг/л, кількість нітритів становить 0,33 мг/л (Noga, 2010).

Отруєння нітритами було найдетальніше вивчено для каналного сома з чіткими рекомендаціями щодо рівня токсичності. Існують також дані щодо інших видів, особливо для лососевих, але для більшості видів немає даних про токсичність. Вразливість до отруєння нітритами дуже різниться залежно від виду, і деякі риби є стійкими. Для каналного сома в чистій прісній воді нітрит не повинен виявлятися комерційними тестовими наборами ($<0,10$ мг/л нітритного азоту).

На відміну від них, наприклад, риба-місяць переносить високий рівень (96-годинний LC_{50} часто > 50 мг/л), оскільки не поглинає активно нітрити з води (Noga, 2010).

Рекомендований рівень для лососевих $< 0,50$ мг/л.

Значення LC_{50} за 96 годин для прісноводної риби коливаються від 0,60 до 200 мг/л. Хоча морська риба вразлива до отруєння нітритами, але витримує надзвичайно високу концентрацію. Наприклад, 24-годинна LC_{50} для плямистої морської форелі (*Cynoscion nebulosus*) при солоності 14 ‰ становить 980 мг/л $\text{NO}_2\text{-N}$ (Daniels and Boyd 1987). Для лаврака (морського окуня європейського) при солоності 36 ‰ 96-годинна LC_{50} становить 90–100 мг/л $\text{NO}_2\text{-N}$, а індукція метгемоглобінемії вимагає впливу понад 25 мг/л $\text{NO}_2\text{-N}$ протягом 96 годин (Scarano et al. 1984).

Дослідження на інших рибах не продемонстрували гострої токсичності навіть на рівні 1750 мг/л (Brownell 1981). Такий високий рівень нітритів ніколи не зустрічається в системах аквакультури. Однак 48-годинна середня смертельна концентрація нітриту для червоного горбиля (*Sciaenops ocellatus*) становила 87,5 мг/л при солоності 36 ‰ і лише 2,8 мг/л при 0,6 ‰ (Wise and Tomasso 1989). Отже, у цьому випадку хлорид не був таким ефективним у запобіганні токсичності нітритів, як у інших видів риб, що вказує на те, що нітрити можуть бути проблемою для деяких риб, навіть якщо їх культивують у водах з високою солоністю.

Вразливість тропічних акваріумних риб до нітритів невідома; однак найкраще підтримувати низький рівень ($<0,10$ мг/л), щоб уникнути будь-якої можливої токсичності. Відомо, що тривалий (понад 6 місяців) вплив навіть дуже низьких концентрацій нітритів ($0,015 - 0,060$ мг/л $\text{NO}_2\text{-N}$) може призвести до легкої метгемоглобінемії у деяких риб (Wedemeyer and Yasutake, 1978; Noga, 2010).

Якщо вода має природний високий вміст хлоридів (наприклад, у прибережних водоносних горизонтах) або хлорид був доданий, діагностика отруєння нітритами також вимагає вимірювання Cl^- . Використовують колориметричні тести та електронні зонди (Noga, 2010).

На токсичність нітритів впливає також багато інших факторів, включаючи рН, розмір риби, попередній вплив, стан харчування та рівень розчиненого кисню. Отже, найкраще підтримувати вміст нітритів якомога нижчим, особливо для видів із невідомою чутливістю. Зауважте також, що сильно коричневі зябра або кров не завжди помітні при отруєнні нітритами. Отруєна нітритами риба може померти з рожевими зябрами та кров'ю (Scarano et al. 1984). Це може бути пов'язано з тим, що риба може загинути від нітрит-індукованої гемолітичної анемії, а не від токсичності нітритів, і тому, що нітрит може пошкодити не лише гемоглобін, але й інші життєво важливі білки, що містять порфірин, наприклад цитохроми. Вплив на рибу дуже високих концентрацій нітритів також пов'язаний з накопиченням у селезінці вогнищ залізовмісних макрофагів, викликаних посиленням руйнуванням еритроцитів (Scarano et al. 1984).

Що робити?

Акваріуми.

1. 25-50% заміна води (щодня або щотижня, залежно від концентрації нітритів).
2. Додати нітрифікуючі бактерії.
3. Додати хлорид.
4. Посилити біологічну фільтрацію.
5. Зменшити щільність посадки риби.

6. Знизити температуру.

7. Зменшити годування.

Стави. 1. Додати хлорид. 2. Підтримувати найвищий можливий рівень розчиненого кисню.

Лікування отруєння нітритами. Нітрити набагато менш токсичні, коли у воді присутні хлориди, можливо, через те, що Cl⁻ конкурентно пригнічує поглинання нітриту через зябра (Bowser et al. 1983). У канального сома іон хлориду запобігає смертності, викликаній токсичністю нітритів, пов'язаних з метгемоглобіном, якщо він присутній у співвідношенні (маса:маса) щонайменше 3 мг хлориду до 1 мг нітриту (Bowser et al. 1983). Таким чином, зразок води з 1,2 мг/л хлориду та 0,30 мг/л нітриту (= 4 мг Cl:1 мг NO₂ співвідношення) не буде гостро смертельним для канального сома. Однак це співвідношення не запобігає хронічному пошкодженню еритроцитів, яке може призвести до анемії. Цей несприятливий ефект не спостерігається, коли співвідношення хлорид:нітрит становить 6:1 (Tucker et al. 1989; Noga, 2010).

Молярне співвідношення від 6 (райдужна форель) до 16 (канальний сом) повністю пригнічує токсичність нітритів (Wise and Tomasso 1989). Подібні рекомендації можуть бути для лікування нітритного токсикозу в інших риб, хоча, як згадувалося раніше, більшість видів риб не були досліджені.

Хлорид натрію є найдешевшою і найдоступнішою формою хлориду, але хлорид кальцію однаково ефективний (Tomasso et al. 1979). Низький рівень солі, який необхідний для лікування нітритного токсикозу (зазвичай < 50 мг/л), нетоксичний для прісноводних риб. Після початку лікування знижений рівень гемоглобіну зазвичай повертається до норми протягом 12-24 годин, і риба починає їсти. Однак наслідком сублетального впливу нітритів можуть бути вторинні інфекції, а анемія, яка викликана низьким рівнем гемоглобіну, може тривати кілька днів, до повернення до нормального стану (Scarano and Saroglia, 1984).

Профілактика отруєння нітритами. Профілактика краще лікування. У руслових ставах для сомів завжди має бути

принаймні 20 мг/л хлориду, щоб запобігти токсичності нітритів (Noga, 2010). Багато природних вод мають такий вміст хлориду, що часто відсутня необхідність профілактичного його додавання. Навіть розбавлена солонувата вода, ймовірно, містить достатньо хлоридів, щоб запобігти нітритному токсикозу в більшості евригаліних видів. Клінічно виявлені рівні нітритів ніколи не були токсичними для риб у морській воді, ймовірно, через високий вміст хлоридів. Однак мало досліджень впливу нітритів на тропічних морських рифових риб, тому бажано підтримувати низький рівень нітритів у морських акваріумах (Noga, 2010).

Бікарбонат також захищає від нітритів, але значно менше, ніж хлорид. Високий рівень аскорбату в кормі також захищає від нітрит-індукованого утворення MetHb (Wise et al 1989).

Найпростішою процедурою протидії токсичності нітритів є обробка води хлоридом натрію або хлоридом кальцію для зменшення молярного співвідношення нітриту до хлориду. Bowser et al. (1983) і Schwedler et al. (1985) рекомендували співвідношення хлоридів до нітратів і азоту 10:1 для запобігання метгемоглобінемії. Tucker et al. (1989) припустили, що співвідношення хлоридів до нітритного азоту 20:1 необхідне для запобігання впливу високої концентрації нітритів на каналного сома. Кухонна сіль, яка містить близько 60% хлориду, є звичайним джерелом хлориду для протидії токсичності нітритів у ставах. Сіль зазвичай розсипають по поверхні ставу перед аератором для розчинення та змішування. Водообмін або заміна води також можуть бути ефективними для зниження концентрації нітритів у невеликих водоймах.

Завдання

1. На основі теоретичного матеріалу, поясніть причини підвищення концентрації нітритів (коротка відповідь 1-2 речення). Заповніть відповідну таблицю 6.1:

Причини	Пояснення
1) перенаселеність	
2) недавно додані ліки або інші хімічні речовини;	
3) новостворений акваріум;	

4) недавно промитий акваріумний гравій або недавно очищені фільтри; 5) вихід з ладу біологічних фільтрів; 6) осінній сезон у водоймі; 7) низьке співвідношення $Cl:NO_2^-$	
---	--

2. Опишіть наслідки отруєння нітритами для здоров'я риб.
3. Розв'яжіть задачі:
 1. Встановити загальну концентрацію нітритів, якщо концентрація азоту нітритного становить 0,02 мг/л.
 2. Встановити концентрацію азоту нітритного якщо загальна концентрація нітритів становить 0,3 мг/л. У скільки разів це перевищує ГДКриб?
 3. Встановити загальну концентрацію нітритів, якщо концентрація азоту нітритного становить 0,05 мг/л.
 4. Встановити концентрацію азоту нітритного якщо загальна концентрація нітритів становить 0,8 мг/л. У скільки разів це перевищує ГДКриб?

7. Вивчення причин виникнення і заходів щодо попередження отруєння риб нітратами

Мета: ознайомитися з причинами виникнення і ознаками отруєння риб нітратами, а також заходів щодо попередження цього.

Теоретична частина. Отруєння нітратами (синдром «старого акваріума»). ГДК нітратного нітрогену у воді водойм рибогосподарського призначення – 9,1 мг/дм³.

Причини накопичення нітратів. Кінцевим продуктом окиснення нітриту є нітрат. У нещодавно створеному акваріумі накопичення нітратів відбувається після того, як нітрит досягає піку (див. рис. 5.2). Якщо не видаляти активно (через підміну води або денітрифікацію), вміст нітратів продовжуватиме збільшуватися з часом. Наскільки швидко він зростає, переважно залежить від кількості аміаку, що надходить у систему, яка, у свою чергу, в першу чергу залежить від біомаси

риби та швидкості годування. Отже, отруєння аміаком і нітритами часто виникає в новому акваріумі, на відміну від збільшення вмісту нітратів (і ризику інтоксикації), які зазвичай відбувається значно пізніше – після запуску і функціонування аквакультурної системи певний час («старий акваріум»).

Зростання концентрації нітратів у поверхневих водах є глобальною проблемою. Нітрати, як і аміак і нітрити, можуть потрапляти у водні екосистеми внаслідок господарської діяльності: тваринництво, міські та сільськогосподарські стоки, промислові відходи та стічні води (очисні споруди, які не здійснюють третинну очистку). Зростання концентрації неорганічного азоту після атмосферних опадів може бути результатом використання азотних добрив та спалювання вихлопного палива (Noga, 2010).

Клінічні ознаки отруєння нітратами. Як і у випадку з нітритами, основним механізмом токсичності нітратів у водних тварин є перетворення пігментів, які переносять кисень (наприклад, гемоглобіну), у форми, які не здатні переносити кисень (metHb). Але через низьку проникність зябер для нітратів, вони менше поглинаються організмом риб, порівняно з аміаком або нітритами, що призводить до його відносно нижчої токсичності (Stormer et al. 1996). Припускають, що токсичність нітратів може бути меншою для більшої за розміром риби, при вищій солоності (прісноводна риба виявляється більш чутливою, ніж морська) і з адаптацією до середовища (Samargo et al. 2005). Однак інші дослідники спостерігали більшу вразливість у більших особин (Hamlin, 2006). Майже не вивчено клінічний вплив нітратів на рибу (за винятком рівня смертності), але встановлено пошкодження гемоглобіну (Noga, 2010).

Вплив на мальків райдужної форелі 5-6 мг $\text{NO}_3\text{-N/l}$ протягом кількох днів викликав підвищення ферогемоглобіну, зміни в периферичній крові та кровотворних центрах і пошкодження печінки (Grabda et al. 1974).

Методи діагностики 1. Хімічне вимірювання високого рівня нітратів у воді 2. Вимірювання високого рівня metHb у крові.

Діагностика отруєння нітратами. Звичайна клінічна діагностика нітратного токсикозу базується виключно на вимірюванні рівня нітратів. Це має свої обмеження, оскільки риба сильно відрізняється за вразливістю до отруєння нітратами, і наслідки, ймовірно, набагато менш помітні.

Для вимірювання концентрації нітратів можна використовувати колориметричні набори. Аналізи вимірюють нітратний азот, який можна перетворити на загальний нітрат за допомогою коефіцієнта перетворення 4,4. Наприклад, якщо вимірювання азоту нітратів ($\text{NO}_3\text{-N}$) у наборі становить 5,0 мг/л, кількість нітратів становить 22,0 мг/л (Noga, 2010).

Незважаючи на те, що нітрати, зазвичай, набагато менш токсичні, ніж аміак або нітрити, деякі риби дуже чутливі до відносно низьких концентрацій нітратів. Отруєння нітратами найдетальніше досліджувалося у лососевих, де спостерігався широкий діапазон токсичних рівнів у різних видів і на різних життєвих стадіях. Ікра та молодь райдужної форелі та кумжі зазнають несприятливого впливу, а в деяких випадках можуть загинути, після 30-денного впливу лише 1,1–7,6 мг $\text{NO}_3\text{-N}/\text{л}$ (Kincheloe та ін. 1979). Це значно нижчий рівень, ніж зазвичай вважається токсичним для риб, оскільки рівень нітратів у 50 мг/л зазвичай вважається безпечним. Більшість видів риб переносять дуже високі його концентрації; рівні токсичності для сонячного окуня синьозябрового, гуппі та каналного сома коливаються від 200 до 2000 мг $\text{NO}_3\text{-N}/\text{л}$. Однак майже всі дослідження вивчали лише гостру токсичність (24–96-годинна експозиція), тоді як нітрати є переважно хронічною проблемою.

Як і у випадку з нітритами, вразливість до отруєння нітратами дуже різниться залежно від виду, і деякі риби є стійкими. Однак найкраще підтримувати концентрацію якомога нижчою, особливо для видів із невідомою чутливістю (Noga, 2010).

Рифові корали (і, можливо, морські рифові риби) дуже чутливі; рекомендований вміст < 20 мг $\text{NO}_3\text{-}^2/\text{л}$ в морських рифових акваріумах (Frakes and Hoff 1982; Мое 1992). Концентрація нітратів також є опосередкованим показником

загальної якості води в системі. Накопичення нітратів відбувається одночасно з накопиченням інших шкідливих сполук (наприклад, збільшення органічного навантаження), які важче виміряти, таким чином підтримання низького рівня нітритів за допомогою підміни води також знижує концентрацію цих сполук (Noga, 2010).

Лікування та профілактика отруєнь нітратами.

Найпоширенішим засобом зниження/контролю рівня нітратів є підміна води через проміжки часу та в таких кількостях, щоб підтримувати концентрацію нітратів у прийнятних межах. Хоча це неможливо робити в ставах, але у типових ситуаціях ставової аквакультури нітрати переважно не досягають токсичних рівнів. Наприклад, встановлено, що концентрація 90 мг/л азоту нітратного протягом майже 6 місяців не впливає на здоров'я чи ріст канального сома (Samargo et al. 2005). Клінічно виявлені рівні нітратів ніколи не демонстрували прямої токсичності для морських риб. Однак, враховуючи високу чутливість деяких прісноводних видів, доцільно підтримувати низький рівень нітратів у тропічних морських акваріумах, оскільки природне рифове середовище має дуже низький рівень нітратів. Крім того, є докази того, що підвищений рівень нітратів може перешкоджати поглинанню морською рибою йоду, що негативно впливає на функцію щитоподібної залози (Crow et al. 1998).

Завдання

1. За теоретичним матеріалом, з'ясуйте причини підвищення концентрації нітратів. Заповніть відповідну таблицю 7.1:

Система аквакультури	Причини
Акваріуми	1) ...
Поверхневі води	

2. Коротко опишіть зміст заходів щодо зниження вмісту нітратів:
 - підміна води;
 - апарат для денітрифікації;
 - зменшення щільності посадки риби.

3. Розв'яжіть задачі:

1. Встановити загальну концентрацію нітратів у воді ставка, якщо концентрація азоту нітратного становить 0,25 мг/л.
2. Встановити концентрацію азоту нітратного якщо загальна концентрація нітратів становить 20,0 мг/л. Чи перевищує це ГДКриб для України?
3. Встановити загальну концентрацію нітратів у воді ставка, якщо концентрація азоту нітратного становить 9,1 мг/л.
4. Відповідно до вимог Агентства США з охорони навколишнього середовища норма якості для водопровідної питної води за вмістом нітратів складає 10,0 мг/л. Чи перевищує це вимоги до якості води для водних об'єктів господарсько-побутового і рибогосподарського водокористування в Україні? Відповідь обґрунтуйте.

8. Вивчення ознак отруєння риби важкими металами та заходів щодо лікування і запобігання токсикозу

Мета: ознайомитися з причинами виникнення і методами запобігання токсикозів у риб, спричинених важкими металами.

Теоретична частина. Організм риби набагато вразливіший до водних розчинів металів, ніж організм людини, що є однією з причин, чому вода, яка безпечна для споживання людиною, може бути дуже токсичною для риб. Метали найтоксичніші у воді з низькою лужністю, що дозволяє високій концентрації металу залишатися розчиненим (і, отже, токсичним). Свинцева, мідна або оцинкована (вкрита цинком) залізна сантехніка може вилуговувати метали. Оскільки з часом все більше металу розчиняється у воді, чим довше вода перебуває в трубі, тим вища концентрація металу. Тому вода, яка першою витікає із труби, має найвищий вміст металу.

Грунтові води, особливо м'які, кислі води, можуть містити токсичні концентрації металів. Стік дощової води також може бути джерелом отруєння металами в погано буферизованих ґрунтах, які можуть вимивати алюміній або інші метали з ґрунту чи шахтних відходів. Метали можуть потрапляти в акваріум через металеві кришки акваріума або предмети, поміщені в

акваріум; і не тільки металеві предмети, але й керамічний посуд зі свинцевою глазур'ю та певними породами. До акваріума слід поміщати лише предмети, які відомі як безпечні для використання в акваріумі. Передозування міддю, яка використовується як альгіцид або для лікування ектопаразитів, може призвести до отруєння. Безрецептурні ліки для прісноводних риб, які містять мідь, можуть бути токсичними, навіть якщо використовується рекомендоване дозування, оскільки токсичність міді сильно змінюється залежно від умов води. Вода з гіполімніону озер або водосховищ, які використовуються в риборозплідниках, може мати високий вміст міді, цинку, заліза та марганцю через мобілізацію металів з анаеробних умов (Grizzle, 1981). Окислений марганець може бути токсичним (Noga, 2010).

Отруєння металами. Клінічні ознаки отруєння металами відрізняються залежно від елемента та певною мірою від виду риби. Як і у випадку з більшістю токсинів, ознаки здебільшого неспецифічні. Найчастішою причиною отруєння металом є *мідь*. Як і більшість важких металів, мідний токсикоз вражає в першу чергу зябра, що призводить до дисфункції осморегуляції. Нирки та печінка також можуть постраждати (Cardeilhac and Whitaker 1988). Мідь також має імуносупресивну дію і, отже, може потенціювати епідемії інфекційних захворювань. Sorensen (1991) детально розглядає отруєння металами (Noga, 2010).

Що робити?

1. Пересадити рибу в іншу ємність чи водойму.
2. Підмінити воду.
3. Додати етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА від англ. EDTA).
4. Встановити іонообмінний фільтр.

Діагностика. Остаточний діагноз отруєння металами вимагає вимірювання концентрації токсичних металів у воді. Однак визначити, чи є концентрація металу токсичною, часто складніше, ніж просто виміряти загальну кількість металу у воді, оскільки токсичність металу в основному зумовлена його розчиненою іонною формою, а не загальною концентрацією.

Деякі метали утворюють у воді оксиди, гідроксиди та карбонати. Глина та органічний матеріал адсорбують та/або утворюють хелати металів, інактивуючи (тобто детоксикуючи) їх. Кальцій і магній також знижують токсичність важких металів, конкуруючи за місця їх зв'язування на зябрах (Pagenkopf 1983).

Таким чином, важко оцінити ймовірний вплив металу, коли присутні вищезазначені умови (наприклад, вода з високою жорсткістю, високою лужністю, стави із значною кількістю зваженої глини та органічних речовин). Якщо є підозра на отруєння металом і якщо це економічно виправдано підтвердити причину, найкраще відправити зразки до спеціалізованої лабораторії. Однак клініцист повинен знати про обмеження аналізу. Атомно-абсорбційна спектроскопія найчастіше використовується для високоточного аналізу вмісту металів. Цей метод визначає загальну кількість металу в зразку. Також можна поради надати уражену рибу для визначення концентрації металу в цільових тканинах (зазвичай у зябрах, печінці та нирках). Необхідно бути дуже обережним, щоб уникнути забруднення зразків тканини під час підготовки, тому зазвичай рекомендується подавати живу рибу або свіжоохолоджену рибу, а аналітична лабораторія підготує конкретні тканини (Noga, 2010).

Комерційні тестові набори як правило доступні у постачальників акваріумів для вимірювання загального вмісту міді, заліза та інших металів. Такі набори є відносно надійними для визначення рівня металів у воді з низьким вмістом органічних і завислих речовин (наприклад, типова акваріумна вода, водопровідна або ґрунтова вода) (Noga, 2010).

Токсичність заліза зумовлена не прямою токсичністю металу, а швидше випаданням оксидів заліза на зябрах, коли анаеробна вода (наприклад, з колодязя), яка містить розчинне, відновлене залізо, потрапляє на повітря. Діагноз може бути попередньо заснований на типових клінічних ознаках; однак також бажано вимірювати рівень заліза у воді. Вода з високим

вмістом заліза часто забарвлює бетон та інші конструкції в коричневий колір. Токсичність марганцю діє аналогічно.

Що робити?

Найкращим підходом є уникнення контакту з забрудненою водою. При необхідності воду можна обробити для видалення токсичних металів. Іонообмінні фільтри адсорбують мідь, цинк, свинець та інші важкі метали. Насоси, що подають відміряну кількість EDTA, будуть хелатувати важкі метали. Іонообмінні фільтри та хелатори металів менш ефективні у воді високої жорсткості. Вони також видаляють важливі метали (Ca^{2+} , Mg^{2+}), які, можливо, доведеться повторно додати у воду для деяких риб. Вони також дорого вартісні, тому їх можна використовувати лише для інкубаторів, дослідницьких установ або систем рециркуляції. Токсичності заліза можна уникнути, дозволивши залізу осісти в ставах (1-2 доби). Швидший спосіб полягає в тому, щоб енергійно аерувати воду, а потім пропустити її через піщаний фільтр, щоб видалити осад заліза (Boyd, 1990; Noga, 2010).

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу (Дудник, Євтушенко, 2013), ознайомитись з особливостями поширення металів (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Hg) їх функціями в організмі риб та(або) токсичними властивостями. Заповнити узагальнюючу таблицю (8.1) і зробити відповідні висновки.

Елемент	Функції в організмі гідробіонтів	Особливості токсичної дії на організм риб	Характерні ознаки отруєння	Антропогенні джерела	ГДК
1	2	3	4	5	6

2. Поясніть кожен шлях потрапляння металів у воду для утримання риб (чому виникає і як загрожує здоров'ю риб):

- металева сантехніка;
- метал у водопроводі;

– препарати, які містять мідь.

3. Розв'язати тестові завдання:

1. Який із перелічених відносяться до групи неесенціальних хімічних елементів?

Na K Ca Hg Mg

2. Джерелом забруднення поверхневих вод цим важким металом є поверхневий змив із сільськогосподарських угідь, де використовуються пестициди – каломель, сулема, металоорганічні комплексні сполуки.

Na K Ca Hg Mg

3. В організмі риб цей елемент виступає аналогом кальцію і включається в обмінні процеси, надходячи через зябра по кальцієвому каналу.

Hg Ca As Pb Li

4. Надходження цього елемента в організм коропових видів риб зміщує їх азотистий обмін у бік активації процесів катаболізму білків, що призводить до зниження маси тіла, виснаження.

As Pb Hg Ca Li

5. Загальний характер токсичної дії цього елемента на живе населення водойм пов'язаний з його здатністю заміщувати фосфор у біосполуках і внаслідок цього змінювати перебіг біохімічних процесів.

Hg Ca Cu Pb As

6. Комплексні сполуки цього металу не мають токсичного впливу на живі організми, іони - для прісноводних риб, як правило, більш токсичні, ніж іони всіх інших металів (за виключенням ртуті).

Mn Cu Zn Cr Co

7. Цей метал надходить у рибогосподарські водойми у результаті застосування альгіцидних препаратів для знищення водоростей

Mn Cu Zn Cr Co

8. Які елементи знижують токсичність важких металів, конкуруючи за місця їх зв'язування на зябрах?

Ca Cu Pb As Mg

9. Організація моніторингу якості водного середовища в аквакультурі

Мета: ознайомитися з порядком розробки програм моніторингу якості води для досліджень в аквакультурі і запобігання погіршенню здоров'я риб.

Теоретична частина. Неприятливі умови довкілля слід розглядати як фактор у всіх дослідженнях погіршення здоров'я або смерті тварин. Однак потрібно мати на увазі, що однозначно діагностувати погану якість води як причину захворювання важко. Погіршення здоров'я, які є наслідком стресових факторів навколишнього середовища, часто є генералізованими або ледве помітними. Ураження також залежать від виду тварини, тривалості впливу та взаємодії з іншими чинниками середовища. Визначення причини проблем зі здоров'ям має базуватися на спостереженнях за поведінкою, гістопатологічними змінами та аналізі води. Дані про умови довкілля є неоціненними в таких дослідженнях. На жаль, часто інформація про це відсутня до того, як виникне проблема. У таких випадках проби води слід відібрати якнайшвидше, тому що умови у водному середовищі можуть швидко змінюватися, а аналіз проб, зібраних із деякою затримкою, може не визначити причину стресу або, що ще гірше, надати оманливу інформацію. Якщо можливо, візьміть проби води з порівнянної, але неураженої водойми. Порівняння умов водного середовища в двох регіонах може дати розуміння причин хвороби.

Інтерпретація даних про якість води є важкою. Вплив конкретного стресора залежить від взаємодії з іншими фізичними та хімічними факторами, а також від виду риби, стадії розвитку, годівлі, ступеня адаптації та інших факторів. Ці взаємодії та модифікуючі фактори необхідно враховувати при інтерпретації аналізу водного середовища як частини діагностичної процедури.

Дослідження в галузі аквакультури. Розробка програм моніторингу якості води для досліджень в галузі аквакультури повинна ґрунтуватися на меті дослідження. Якщо аналізи якості води використовуються просто для забезпечення здоров'я риби

під час дослідження, можна створити програму моніторингу, подібну до тих, які використовуються на рибницьких фермах. Тут лише кілька ключових змінних вимірюються за графіком, розробленим для того, щоб попередити дослідника про умови, які можуть загрожувати досліджуваній тварині. Якщо вимірювання якості води є невід'ємною частиною інтерпретації результатів досліджень, потрібна ґрунтовніша програма відбору проб. Вибір показників для вимірювання та дизайн програми відбору залежатимуть від характеру дослідження. Нижче наведено деякі рекомендації.

Настанови щодо програм відбору проб. Програми відбору проб якості води повинні базуватися на досвіді, не існує жорстких правил щодо частоти або місця відбору проб. Проте наведені нижче пропозиції можуть бути корисними під час розробки програми відбору проб.

1. Температура води. Температуру води дуже легко виміряти, тому це одна змінна, для якої частота відбору проб не є основною проблемою. Поки вимірювання має певну цінність, немає проблем у проведенні вимірювань щодня чи двічі на день. Температуру води також легко контролювати постійно, використовуючи терморезистор, постійно розміщений у ставку, щоб забезпечити постійний сигнал для реєстратора даних. Крім того, температура води не дуже відрізняється від ставка до ставка, якщо, звичайно, немає значного надходження води з іншою температурою в певні водойми. У ставках, які обробляються однаково, можна використовувати для характеристики приблизну середню температуру води.

Очевидно, що температура води може суттєво змінюватися протягом дня, тому, якщо вас цікавить найвища або найнижча добова температура, вимірювання потрібно проводити у відповідний час доби.

2. Солоність має важливе значення для аквакультури з солонуватою водою, але зміни солоності зазвичай не відбуваються швидко, існує відносно незначна варіація солоності залежно від глибини або розташування всередині водойми. Щотижневих вимірювань, отриманих в одному місці в

кожному ставку, зазвичай достатньо. Приблизні рівні солоності можна швидко визначити за допомогою ручного солеміра, тому можна легко проводити частіші вимірювання, якщо це надає корисну інформацію.

3. *pH* водного середовища може швидко змінюватися в ставках, і фахівці з аквакультури, як правило, турбуються про ці коливання pH. Проблеми, безпосередньо пов'язані з pH, трапляються рідко, і, отже, на вимірювання pH витрачається багато часу та грошей. У більшості ситуацій вимірювання pH потрібне лише для оцінки початкової якості водопостачання, перевірки реакції на вапно або розрахунку ефективної концентрації токсичних метаболітів, таких як неіонізований аміак або сірководень.

4. *Загальна лужність, загальна жорсткість і кальцій*. На ці показники істотно не впливає біологічна активність у мілких ставках, і їх концентрації змінюються повільно. Зміни концентрацій зазвичай зумовлені лише водообміном, концентрацією, спричиненою випаровуванням, і розбавленням, спричиненим дощами. Хоча важливо вимірювати ці показники як частину початкової оцінки водопостачання, їх рідко потрібно контролювати в комерційних цілях. Навіть у дослідницьких роботах зазвичай достатньо вимірювань, які проводяться з інтервалом у 1-2 місяці, якщо немає особливої потреби вимірювати їх частіше. Ці змінні не сильно відрізняються залежно від глибини або площі розташування в ставках, тому вимірювання в одному місці зазвичай достатньо.

5. *Розчинений кисень* є найважливішим показником в аквакультурі. На щастя, вимірювання розчиненого кисню легко проводити за допомогою датчиків і електронних вимірювачів. У промислових ставах з високою щільністю посадки слід проводити щонайменше два вимірювання щодня протягом вегетаційного періоду. Вимірювання, проведені на світанку та пізно ввечері, зазвичай надають інформацію про щоденні екстремуми. Критичні концентрації розчиненого кисню зазвичай виникають вночі, і може знадобитися відбір проб

кожні 2 години або навіть щогодини, щоб передбачити проблеми та розпочати екстрену аерацію.

Для порівняльних цілей у більшості досліджень аквакультури аналізи розчиненого кисню зазвичай проводяться щонайменше двічі на тиждень, а часто щодня в дослідженнях управління якістю води. Пам'ятайте, що з метою порівняння вимірювання необхідно проводити в один і той же день і в один і той же час доби в усіх водоймах.

Концентрація розчиненого кисню може значно змінюватися залежно від глибини та місця, тому важко дати пораду щодо місця відбору проб. На великих аквакультурних господарствах вимірювання зазвичай проводяться в одному або двох місцях у кожному ставку та в межах 25 см від поверхні води. Інтерпретація тільки одного або двох вимірювань з кожного ставка є важкою, тому важливо стандартизувати місця відбору проб, щоб мінімізувати сторонні варіації. Послідовні вимірювання слід проводити в одному і тому ж місці в кожній водоймі та з одного відносного положення в усіх ставках.

6. *Вуглекислий газ.* Концентрація розчиненого вуглекислого газу може швидко змінюватися в ставах, і концентрації можуть сильно відрізнятись від водойми до водойми, від часу доби та від місця в ставку. Щоб бути корисними в управлінні ставом, аналітичні дані слід збирати щодня подібно як для розчиненого кисню. Важливими є вимірювання, які проводяться на світанку, коли концентрація вуглекислого газу зазвичай найвища, а концентрація розчиненого кисню найнижча. Однак щоденне вимірювання концентрації вуглекислого газу займає багато часу, оскільки потрібна особлива обережність, щоб отримати зразки води для аналізу розчиненого вуглекислого газу, а аналітичний метод є дещо трудомістким. Можливо, з цих причин на більшості водних об'єктів щоденні вимірювання не проводяться. На щастя, концентрація розчиненого вуглекислого газу має бути досить високою, щоб спричинити проблеми для більшості видів аквакультури, якщо тільки концентрація розчиненого кисню є досить низькою. Для порівняльних цілей у дослідницьких

роботах вимірювання можна проводити, використовуючи пропозиції, зазначені вище для розчиненого кисню.

Приклад аналізу і вирішення проблем з якістю води у системі аквакультури наведені у таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

Поширені проблеми з якістю води у системі водопостачання інкубаційного заводу для розведення канального сома (за Tucker, 1988)

Показник	Бажаний рівень	Проблема (концентрація)	Вирішення
Температура	25-28°C	Занадто низька	Резервний ставок для нагріву від сонячної енергії або використовуйте водонагрівачі
		Занадто висока	Змішайте з холоднішою водою
Солоність	100-8000 мг/л	Занадто низька	Додайте солі
		Занадто висока	Знайдіть інше джерело води.
Розчинені гази (крім кисню)	≤105% TGP*	Занадто висока	Інтенсивна аерація
Розчинений кисень	6 мг/л, до насичення	Занадто низька	Інтенсивна аерація води, яка надходить в систему, додаткова аерація в ваннах і лотках
Вуглекислий газ	≤10 мг/л	Занадто висока	Інтенсивна аерація води, яка надходить в систему, додаткова аерація в ваннах і лотках
Аміак	≤0,05 мг/л	Занадто висока	Видалити з води, що надходить цеолітовим фільтром; зменшити щільність посадки мальків або збільшити потік води
Залізо	≤0,05 мг/л	Занадто висока	Аерація з подальшим осадженням або фільтрацією через пісок
Сірководень	≤0,05 мг/л	Занадто висока	Інтенсивна аерація води, що надходить в систему

* TGP (англ. total gas pressure) – насичення газу

Завдання

1. За теоретичним матеріалом, ознайомитися з настановами щодо програми відбору проб.
2. Заповнити таблицю 9.2:

Показник	Частота відбору	Місця відбору	Примітка

3. Розробити рекомендації для вирішення проблем з якістю води у системі аквакультури (на вибір, стави, рециркуляційні системи тощо) за прикладом, наведеним у таблиці 9.1.

10. Оцінка відповідності якості поверхневих вод рибогосподарським вимогам

Мета: ознайомитися з вимогами до гідрохімічних параметрів водних об'єктів рибогосподарського призначення і системою гранично допустимих концентрацій.

Теоретична частина. До рибогосподарських водних об'єктів належать водотоки, водойми або їх окремі ділянки, що використовують для відтворення, промислу та міграції риб, безхребетних і водних ссавців.

За Законом України «Про рибне господарство» рибогосподарський водний об'єкт (його частина) – водний об'єкт (його частина), що використовується або може використовуватися для цілей рибного господарства. Для рибогосподарських водних об'єктів (їх частинах) встановлюються екологічні нормативи якості води. Зазначені нормативи розробляються і встановлюються відповідно до законодавства.

Відповідно до чинного «Водного кодексу України» «якість води – характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних цілей використання».

Нормативним документом, який регламентує якість поверхневих вод, є гранично допустимі концентрації (ГДК) техногенних сполук, які встановлюються для господарсько-питного і культурно-побутового, а також рибогосподарського водокористування. ГДК – такі концентрації хімічних речовин,

які не завдають шкоди здоров'ю людини при використанні води для питних і інших потреб (санітарно-гігієнічні ГДК), не перешкоджають нормальній життєдіяльності риб і кормових організмів (рибогосподарські ГДК), не порушують стан водних екосистем (екологічні нормативи – ЕН, або екологічні стандарти якості вод).

У практиці охорони вод ГДК для складних сумішей встановлюють на основі формули (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.

Наведена формула не враховує ні взаємодії між речовинами, ні можливості утворення з них більш менш токсичних речовин, ні характеру їх спільної дії на живі організми, який може бути антагоністичним або синергічним.

Рибогосподарські ГДК орієнтовані на збереження і підтримку структурно-функціональної цілісності екосистем водойм рибогосподарського призначення. Основним критерієм при їх розробці є досягнення якості води, придатної для нормальної життєдіяльності риб і інших водних тварин, а також отримання рибної продукції, що відповідає гігієнічним вимогам.

Існують загальні вимоги до складу та властивостей води і ГДК потенційно шкідливих речовин для водойм рибогосподарського призначення (всього близько 450 нормативних показників). До загальних показників відноситься вміст завислих речовин, плаваючих на поверхні водойм нафтових плівок, масел, жирів та інших домішок.

Згідно рибогосподарських ГДК вода не повинна мати стороннього запаху, присмаку і невластивого забарвлення, які можуть передаватися рибній продукції. Регламентуються також інші екологічні показники: температура, реакція середовища (рН), біохімічне споживання кисню (БСК) та ін., що істотно

впливають на фізіолого-біохімічні процеси в організмі риби і інших гідробіонтів (табл. 10.1).

Таблиця 10.1

ГДК для водних об'єктів рибогосподарського призначення,
прийняті в Україні (мг/дм³)

Показники	ГДК _{риб}	Показники	ГДК _{риб}
pH	6,5-8,5	PO ₄ -P	1
O ₂	6	Fe _{заг}	0,1
Cl ⁻	300	Mn	0,01
SO ₄ ²⁻	100	Cu	0,001
Ca ²⁺	180	Zn	0,01
Mg ²⁺	40	Cr ³⁺	0,005
Na ⁺	120	Pb	0,01
K ⁺	50	Hg	Відс.
Мінералізація	1000	Cd	0,005
БСК ₅	2	Ni	0,01
ХСК	20	As	0,05
NH ₄ -N	0,39	Нафтопродукти	0,05
NO ₂ -N	0,02	Феноли	0,001
NO ₃ -N	9,1	СПАР	0,01

Особливі вимоги є щодо токсикологічної оцінки хімічних речовин, що потрапляють до рибогосподарських об'єктів. Вони не повинні міститися у воді в концентраціях, що мають пряму або непряму шкідливу дію на рибу і кормових гідробіонтів.

У зв'язку з тим, що хімічні речовини можуть накопичуватися в органах і тканинах риби, а після їх харчового використання переходити в організм людини, рибогосподарські ГДК для важких металів і деяких інших хімічних сполук жорсткіші у порівнянні з санітарно-гігієнічними. Наприклад, згідно токсико-гігієнічних вимог ГДК для цинку і міді складає 1 мг/дм³, а для води водойм рибогосподарського призначення – 0,01 мг/дм³. Для нафтопродуктів рибогосподарські ГДК не перевищують 0,05 мг/дм³, а санітарно-гігієнічні коливаються від 0,1 до 0,3 мг/дм³. Аналогічні приклади можна навести і для інших хімічних забруднювачів водного середовища.

При всій важливості встановлення гранично допустимих концентрацій для потенційно небезпечних хімічних сполук, що надходять у водойми рибогосподарського призначення, не можна не відзначити і їх недоліки. Так, рибогосподарські ГДК розроблені тільки для води і відсутні стосовно донних відкладень. У той же час, донні відкладення є акумуляторами багатьох токсичних сполук, які можуть накопичуватися в бентосних безхребетних, а при їх поїданні і в організмі риб-бентофагів. Крім того, рибогосподарські ГДК розроблені для водних об'єктів без урахування природно-кліматичної зональності їх розташування, а відповідно і особливостей хімічного складу вод.

В умовах зростаючого антропогенного навантаження на водні об'єкти, дотримання вимог ГДК у водоймах рибогосподарського призначення у багатьох випадках залишається проблематичним.

Завдання

1. Законспектувати основні визначення і значення показників з таблиці 1.
2. Користуючись таблицями встановити відповідність гідрохімічних показників річки рибогосподарським вимогам за усередненими даними останніх років.
3. Підготувати експертний висновок щодо придатності води річки для рибогосподарського використання.

11. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод

Мета: навчитися використовувати класифікацію екологічного стану поверхневих вод і методику екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями.

Теоретична частина. Відповідно до «Методики віднесення масиву поверхневих вод...» (2019), в Україні для класифікації екологічного стану використовуються п'ять класів з позначенням відповідним кольором:

I клас екологічного стану, що відповідає екологічному стану «відмінний», позначається синім кольором;

II клас екологічного стану, що відповідає екологічному стану «добрий», позначається зеленим кольором;

III клас екологічного стану, що відповідає екологічному стану «задовільний», позначається жовтим кольором;

IV клас екологічного стану, що відповідає екологічному стану «поганий», позначається помаранчевим кольором;

V клас екологічного стану, що відповідає екологічному стану «дуже поганий», позначається червоним кольором.

Ця методика передбачає встановлення класів екологічного стану річок, озер, перехідних і прибережних вод за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками (табл. 11.1-3).

Таблиця 11.1

Перелік хімічних та фізико-хімічних показників для визначення екологічного стану масиву поверхневих вод («Методика ...», 2019)

Річки	Озера
Загальні фізико-хімічні показники: температура; водневий показник рН; розчинений кисень; вміст розчинених солей (мінералізація, електропровідність); біологічне споживання кисню; хімічне споживання кисню; біогенні елементи ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3^-$, $N\text{-NO}_2^-$, $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$). Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт	Загальні фізико-хімічні показники: прозорість; температура; водневий показник рН; розчинений кисень; вміст розчинених солей (мінералізація, електро-провідність); біологічне споживання кисню; хімічне споживання кисню; біогенні елементи ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3^-$, $N\text{-NO}_2^-$, $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$). Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт
Прибережні води	Перехідні води
Загальні фізико-хімічні показники: прозорість; температура; водневий показник рН; розчинений кисень; біологічне споживання кисню;	Загальні фізико-хімічні показники: прозорість; температура; розчинений кисень; вміст розчинених солей (мінералізація,

біогенні елементи ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3$, $N\text{-NO}_2$; $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$); силіцій; дигідроген сульфід; сума завислих у воді речовин. Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт	електропровідність); біогенні елементи ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3$, $N\text{-NO}_2$; $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$). Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт
--	---

Таблиця 11.2

Критерії віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану («Методика...», 2019)

Стан «відмінний»	Стан «добрий»	Стан «задовільний»
Значення біологічних показників відповідають значенням, характерним для масиву поверхневих вод у референційних умовах, мають тенденцію до дуже незначних змін. Відсутні або виявлені дуже незначні антропогенні зміни значень гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних показників порівняно з величинами, характерними для масиву поверхневих вод в референційних умовах	Значення біологічних показників масиву поверхневих вод вказують на низькі рівні антропогенного впливу і мало відхиляються від значень, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах. Концентрації хімічних та фізико-хімічних показників не перевищують екологічних нормативів якості, встановлених для екологічного стану «добрий»	Значення біологічних показників масиву поверхневих вод помірно відхиляються від значень, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах. Ці значення мають помірну тенденцію до відхилення в результаті антропогенного впливу та мають значно більші відхилення порівняно з умовами стану «добрий». Концентрації хімічних та фізико-хімічних показників перевищують екологічні нормативи якості, встановлені для екологічного стану «задовільний»

Стан «поганий»	Стан «дуже поганий»
Спостерігаються значні зміни щодо значень біологічних показників та значні відхилення від норм відповідних біологічних популяцій, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах	Спостерігаються дуже сильні зміни щодо біологічних показників, відсутність великої частини відповідних біологічних ценозів, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах

Таблиця 11.3

Характеристика класів екологічного стану за хімічними та фізико-хімічними показниками (річки) («Методика...», 2019)

	Стан «відмінний»	Стан «добрий»	Стан «задовільний»
Загальні умови	Значення хімічних та фізико-хімічних показників відповідають повністю або майже повністю умовам, за яких відсутні антропогенні впливи. Концентрації біогенних речовин залишаються в межах діапазону, характерного для умов, за яких відсутні антропогенні впливи. Температура, водневий показник, кисневий режим не виявляють ознак антропогенних впливів і залишаються у діапазоні, характерному для умов, за яких відсутні антропогенні впливи	Температура, водневий показник, кисневий режим знаходяться в межах діапазону, встановленого для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних показників. Концентрації біогенних речовин не перевищують рівнів, встановлених для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних показників	Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників

Специфічні синтетичні забруднюючі речовини	Концентрації близькі до нуля або принаймні нижчі, ніж поріг виявлення найбільш сучасного аналітичного обладнання	Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості	Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників
Специфічні несинтетичні забруднюючі речовини	Концентрації залишаються в межах діапазону, характерного для умов, за яких відсутні антропогенні впливи	Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості	Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників

Стан «поганий»	Стан «дуже поганий»
Спостерігаються значні зміни щодо значень біологічних показників та значні відхилення від норм відповідних біологічних популяцій, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах	Спостерігаються дуже сильні зміни щодо біологічних показників, відсутність великої частини відповідних біологічних ценозів, характерних для масиву поверхневих вод у референційних умовах

Як методичну базу для виконання гідроекологічної оцінки застосовують «Методику екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями», кількісним узагальненням якої є інтегральний екологічний індекс (I_c), який встановлюється за трьома блоковими індексами (за компонентами сольового складу, трофо-сапробіологічними показниками і специфічними показниками токсичної та радіаційної дії). Узагальнені блокові індекси якості води визначають за середніми і найгіршими значеннями. Процедура виконання екологічної оцінки якості поверхневих вод складається з трьох послідовних етапів:

- групування й обробка вихідних даних;
- визначення класів і категорій якості поверхневих вод за окремими показниками;
- узагальнення оцінок за окремими блоками з визначенням інтегральних значень категорій та класів якості води.

Екологічний індекс якості поверхневих вод за нормативами комплексної екологічної класифікації обчислюється за формулою 11.1:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (11.1)$$

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

Завдання

1. Законспектувати основні визначення і критерії з таблиць 11.1-11.3.
2. Використовуючи рекомендовану літературу, ознайомитись з методикою екологічної оцінки якості води за 5 класами і 7 категоріями. Використовуючи дані до попередньої роботи, порахувати комплексний екологічний індекс якості поверхневих вод, заповнити узагальнюючу таблицю і зробити відповідні висновки.
3. Розв'язати задачі:
 1. Встановити екологічний індекс якості вод I_e , якщо відомо, що факторні індекси становлять: за показниками сольового складу – 3, за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками – 5, за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії – 7.
 2. Встановити екологічний індекс якості вод I_e , якщо відомо, що факторні індекси становлять: за показниками сольового складу – 4, за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками – 5, за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії – 7.
 3. Встановити індекс забруднення компонентами сольового складу, якщо відомо, що екологічний індекс якості поверхневих вод (I_e) – 5,33, індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників (I_2) – 5, індекс специфічних показників (I_3) – 6.

Додаток 1

Приклад розв'язку задачі до практичного заняття 1

Задача. Встановити рівноважну концентрацію розчиненого кисню у прісній воді за вимірним атмосферним тиском (можна використати дані метеопрогнозу).

Розв'язок.

За даними метеопрогнозу, 19 серпня 2024 р. о 9 годині: температура – 25 °С, атмосферний тиск – 740 мм рт. ст.

В системі СІ атмосферний тиск вимірюється в Паскалях (Па). 1 мм рт. ст. = 133,322 Па

$p = 740 \text{ мм рт. ст.} \times 133,322 = 98,658 \text{ кПа.}$

За таблицею 1 знаходимо $C_t = 8,244 \text{ мг/л.}$

Температура (°C)	Солоність (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.602	14.112	13.638	13.180	12.737	12.309	11.896	11.497	11.111
5	12.757	12.344	11.944	11.557	11.183	10.820	10.470	10.131	9.802
10	11.277	10.925	10.583	10.252	9.932	9.621	9.321	9.029	8.747
15	10.072	9.768	9.473	9.188	8.911	8.642	8.381	8.129	7.883
20	9.077	8.812	8.556	8.307	8.065	7.831	7.603	7.382	7.167
25	8.244	8.013	7.788	7.569	7.357	7.150	6.950	6.754	6.565
30	7.539	7.335	7.136	6.943	6.755	6.572	6.394	6.221	6.052
35	6.935	6.753	6.577	6.405	6.237	6.074	5.915	5.761	5.610

Відповідно до формули (1.1): $C_s = C_t \times p / 101,325;$

Підставляємо значення: $C_s = 8,244 \times 98,658 / 101,325 = 8,027 \text{ (мг/л).}$

Відповідь: рівноважна концентрація розчиненого кисню для прісної води при температурі 25°C та атмосферному тиску 98,658 кПа становить 8,027 мг/л.

Приклад розв'язку задачі до практичного заняття 2

Задача. Встановити рівноважну концентрацію та % насичення розчиненим киснем (мг/л) для прісної води при температурі 25°C та атмосферному тиску 98,0 кПа. Відомо, що виміряна концентрація становить 10 мг/л, а тиск 1 атм. = 101,325 кПа.

Розв'язок.

$p = 98,0 \text{ кПа.}$

За таблицею 1 знаходимо $C_t = 8,244 \text{ мг/л.}$

Відповідно до формули (1.1): $C_s = C_t \times p / 101,325;$

Підставляємо значення: $C_s = 8,244 \times 98,0 / 101,325 = 7,973 \text{ (мг/л).}$

Відповідно до формули (1.2): $\%O_2 \text{ насичення} = 100 \times C_m / C_s$
 підставляємо значення: $\%O_2 \text{ насичення} = 100 \times 10 / 7,973 = 125\%$.
 Відповідь: рівноважна концентрація розчиненого кисню для прісної води при температурі 25°C та атмосферному тиску $98,0$ кПа становить $7,973$ мг/л, а насичення 125% .

Приклад розв'язку задач до практичного заняття 3

Задача 1. Встановити скільки вапна потрібно внести в став площею $4,5$ га з піщаним ґрунтом на дні, якщо його $\text{pH}=5,0$.

Розв'язок.

За таблицею 4 знаходимо потребу у вапні для типу ґрунту – піщаний, $\text{pH} 5,0$: 2000 кг/га.

$$m = 2000 \times 4,5 = 9000 \text{ кг.}$$

Відповідь: для вапнування ству площею $4,5$ га з $\text{pH}=5,0$ піщаного ґрунту дна потрібно 9000 кг вапна.

Задача 2. Встановити скільки вапна потрібно внести в став площею 10 га з суглинистим ґрунтом на дні, якщо його $\text{pH}=7,0$.

Розв'язок.

За таблицею 4 знаходимо потребу у вапні для типу ґрунту – суглинистий, $\text{pH} 7,0$: 750 кг/га.

$$m = 750 \times 10 = 7500 \text{ кг.}$$

Відповідь: для вапнування ству площею 10 га з $\text{pH}=7,0$ суглинистого ґрунту потрібно 7500 кг вапна.

Приклад розв'язку задач до практичного заняття 5

Задача. Встановити загальну концентрацію амонійного нітрогену на виході з проточної системи, якщо відомо, що маса корму, згодованого за день, становить 40 кг, коефіцієнт амонійного нітрогену $0,375 \text{ мг} \cdot \text{хв} / \text{кг}$, а витрата води – 30 л/хв.

Чи відповідає цей показник якості води вимогам ГДК_{риб}?

Відповідь обґрунтуйте.

Розв'язок.

За формулою 5.2 обчислюємо C_{TAN} :

$$C_{\text{TAN}} = m \times AF / Q = 40 \text{ кг} \times 0,375 \text{ мг} \cdot \text{хв} \cdot \text{кг} / 30 \text{ л} \cdot \text{хв} = 0,5 \text{ мг} / \text{л}.$$

ГДК амонійного нітрогену у воді водойм рибогосподарського призначення – $0,39 \text{ мг} / \text{дм}^3$, $0,5 \text{ мг} / \text{л} \geq 0,39 \text{ мг} / \text{дм}^3$.

Відповідь: загальна концентрація амонійного нітрогену на виході з проточної системи становить 0,5 мг/л, що не відповідає вимогам ГДК_{риб} (0,39 мг/дм³)

Приклад розв'язку задач до практичного заняття 6

Задача 1. Встановити загальну концентрацію нітритів в акваріумі, якщо концентрація азоту нітритного (NO₂-N) становить 0,02 мг/л.

Розв'язок.

Використовуємо преревідний коефіцієнт 3,3.

$$C(\text{NO}_2) = C(\text{NO}_2\text{-N}) \times 3,3 = 0,02 \text{ мг/л} \times 3,3 = 0,066 \text{ мг/л.}$$

Відповідь: загальна концентрація нітритів в акваріумі становить 0,066 мг/л.

Задача 2. Встановити концентрацію азоту нітритного (NO₂-N) якщо загальна концентрація нітритів становить 0,3 мг/л. У скільки разів це перевищує ГДК_{риб}?

Розв'язок.

2) Використовуємо преревідний коефіцієнт 3,3.

$$C(\text{NO}_2\text{-N}) = C(\text{NO}_2) / 3,3 = 0,3 / 3,3 = 0,09.$$

3) ГДК_{риб} (NO₂-N) становить 0,02 мг/л.

$$C / \text{ГДК}_{\text{риб}} = 0,09 / 0,02 = 4,5 \text{ рази.}$$

Відповідь: концентрація азоту нітритного (NO₂-N) становить 0,09 мг/л, що у 4,5 разів перевищує ГДК_{риб}.

Приклад розв'язку задач до практичного заняття 7

Задача 1. Встановити загальну концентрацію нітратів у воді ставка, якщо концентрація азоту нітратного становить 0,25 мг/л.

Розв'язок.

Використовуємо преревідний коефіцієнт 4,4.

$$C(\text{NO}_3\text{-N}) = C(\text{NO}_3) \times 4,4 = 0,25 \times 4,4 = 1,1 \text{ мг/л}$$

Відповідь: загальна концентрація нітратів у воді ставка становить 1,1 мг/л.

Додаток 2

Частка загального аміачного азоту, який присутній у вигляді неіонізованого аміаку при різних комбінаціях температури та рН (Noga, 2010, змінено за Emerson et al.1975)

Temp		pH								
(°C)	(°F)	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
0	32	.0001	.0003	.0008	.0026	.0082	.0255	.0764	.207	.453
1	34	.0001	.0003	.0009	.0028	.0089	.0277	.0825	.221	.473
2	36	.0001	.0003	.0010	.0031	.0097	.0300	.0890	.236	.494
3	37	.0001	.0003	.0011	.0034	.0105	.0325	.0960	.251	.515
4	39	.0001	.0004	.0012	.0036	.0114	.0352	.103	.267	.535
5	41	.0001	.0004	.0013	.0040	.0123	.0380	.111	.283	.556
6	43	.0001	.0004	.0014	.0043	.0134	.0411	.119	.300	.576
7	45	.0001	.0005	.0015	.0046	.0145	.0444	.128	.317	.595
8	46	.0002	.0005	.0016	.0050	.0157	.0479	.137	.335	.614
9	48	.0002	.0005	.0017	.0054	.0169	.0516	.147	.353	.633
10	50	.0002	.0006	.0019	.0059	.0183	.0556	.157	.371	.651
11	52	.0002	.0006	.0020	.0063	.0197	.0599	.168	.389	.668
12	54	.0002	.0007	.0022	.0068	.0213	.0644	.179	.408	.685
13	55	.0002	.0007	.0024	.0074	.0230	.0692	.190	.426	.702
14	57	.0003	.0008	.0025	.0080	.0248	.0743	.202	.445	.717
15	59	.0003	.0009	.0027	.0086	.0267	.0797	.215	.464	.733
16	61	.0003	.0009	.0029	.0093	.0287	.0854	.228	.483	.747
17	63	.0003	.0010	.0032	.0100	.0308	.0914	.241	.502	.761
18	64	.0003	.0011	.0034	.0107	.0331	.0978	.255	.520	.774
19	66	.0004	.0012	.0037	.0115	.0356	.105	.270	.539	.787
20	68	.0004	.0013	.0040	.0124	.0382	.112	.284	.557	.799
21	70	.0004	.0014	.0043	.0133	.0410	.119	.299	.575	.810
22	72	.0005	.0015	.0046	.0143	.0439	.127	.315	.592	.821
23	73	.0005	.0016	.0049	.0154	.0470	.135	.330	.609	.832
24	75	.0005	.0017	.0053	.0165	.0503	.144	.346	.626	.841
25	77	.0006	.0018	.0057	.0177	.0538	.153	.363	.643	.851
26	79	.0006	.0019	.0061	.0189	.0575	.162	.379	.659	.859
27	81	.0007	.0021	.0065	.0203	.0615	.172	.396	.674	.868
28	82	.0007	.0022	.0070	.0217	.0656	.182	.412	.689	.875
29	84	.0008	.0024	.0075	.0232	.0700	.192	.429	.704	.883
30	86	.0008	.0025	.0080	.0248	.0746	.203	.446	.718	.890

Рекомендована література

1. Водний Кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст.189 (Редакція від 19.04.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#n389>
2. 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.
3. Гідроекологія : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / М. О. Клименко, Ю. В. Пилипенко, Ю. Р. Гроховська, О. В. Лянзберг, О. О. Бедункова. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 379 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/7515>.
4. Закон України. Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2012, № 17, ст.155.
5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. К. : СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
6. Про затвердження «Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод». *Наказ Міністерства екології та природних ресурсів*. 14.01.2019 № 5. (Із змінами, внесеними згідно з Наказом № 332 від 01.04.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#n93>
7. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
8. Bone Q., Moore R. H. *Biology of fishes*. 3rd ed. 2008. 478 p.
9. Bowser P. R., Falls W. W., VanZandt J., Collier N., Phillips J. D. Methemoglobinemia in channel catfish: Methods of prevention. *Progressive Fish – Culturist*, 1983. Vol. 45. P. 154–158.

10. Boyd C. E., Tucker C.S. Pond aquaculture water quality management. Springer Science+Business Media New York, 1998. 700 p.
11. 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.
12. Boyd C. E. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1990. 482 p.
13. Brownell C. L. Water quality requirements for first feeding marine fish larvae. I. Ammonia, nitrite and nitrate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1981. Vol. 44. P. 269–283.
14. Burrell P. C., Phalen C. M., Hovanec T. A. Identification of bacteria responsible for ammonia oxidation in freshwater aquaria. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001. Vol. 67. P. 5791–5800.
15. 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.
16. Camargo J. A., Alonso A., Salamanca A. Nitrate toxicity to aquatic animals: A review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 2005. Vol. 58. P. 1255–1267.
17. Cardeilhac P., Whitaker B. Copper treatments: Uses and pre cautions. *Veterinary Clinics of North America (Small Animal Practice)*, 1988. Vol. 18. P. 435–448.
18. Crow G. L., Atkinson M. J., Ron B., Atkinson S., Skillman A.D.K., Wong G.T.F. Relationship of water chemistry to serum thyroid hormones in captive sharks with goitres. *Aquatic Geochemistry*, 1998. Vol. 4. P. 469–480.
19. Currie S., Evans D. H. (eds.) *The Physiology of Fishes*. CRC Press, 2020. ISBN 978-0367477554.
20. Daniels H. V., Boyd C. E. Acute toxicity of ammonia and nitrite to spotted seatrout. *Progressive Fish – Culturist*, 1987. Vol. 49. P. 260–263.

21. Daoust P. Y., Ferguson H. W. Nodular gill disease: A unique form of proliferative gill disease in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Diseases*, 1985. Vol. 8. P. 511–522.
22. Daye P. G., Garside E. T. Histopathologic changes in surficial tissues of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) Mitchill exposed to acute and chronic levels of pH. *Canadian Journal of Zoology*, 1976. Vol. 54, P. 140–142, 155.
23. EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Committee). Water quality criteria for European freshwater fish – extreme pH values and inland fisheries. *Water Research*, 1969. Vol. 3. P. 593–611.
24. Elasmobranch Husbandry Manual: Captive Care of Sharks, Rays, and their Relatives / M. Smith, D. Warmolts, D. Thoney, R. Hueter (editors). 2004. Ohio Biological Survey, Inc. ISBN 978-0867271523.
25. Frakes T., Hoff F.H. Effect of high nitrate - N on the growth and survival of juvenile and larval anemonefish, *Amphiprion ocellaris*. *Aquaculture*, 1982. Vol. 29. P. 155–158.
26. Grabda E., Einszporn-Orecka T., Felinska C., Zbanyzsek R. Experimental methemoglobinemia in rainbow trout. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 1974. Vol. 4. P. 43–71.
27. Grizzle J.M. Effects of hypolimnetic discharge on fish health below a reservoir. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1981. Vol. 110. P. 29–43.
28. Haines T. A. Acid precipitation and its consequences for aquatic ecosystems: A review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1981. Vol. 110. P. 669–707.
29. Hamlin H. J. Nitrate toxicity in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*). *Aquaculture*, 2006. Vol. 253. P. 688–693.
30. Helfman G. S., Collette B. B., Facey D. E., Bowen B. W. The diversity of fishes. 2nd ed. Blackwell Publishing, 2009. 720 p.
31. Hine M. Fish mortalities: Cause and effect. In: *Investigating Fish Kills* (Tierney L. D., Akroyd J. M., Kilner A. R., eds.), 2nd ed., Fisheries Management Division, New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, 1982.

32. Hovanec T. A., DeLong E. F. Comparative analysis of nitrifying bacteria associated with freshwater and marine aquaria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996. Vol. 62. P. 2888–2896.
33. Hovanec T. A., Taylor L. T., Blakis A., DeLong E. F. Nitrospira-like bacteria associated with nitrite oxidation in freshwater aquaria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998. Vol. 64. P. 258–264.
34. Jensen G. Transportation of warmwater fish: Procedures and loading rates. Southern Regional Aquaculture Center Publication, 1990. No. 392, National Agricultural Library, Beltsville, MD, 2 p.
35. Kincheloe J.W., Wedemeyer G.A., Koch D.L. Tolerance of developing salmonid eggs and fry to nitrate exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1979. Vol. 23. P. 575–578.
36. Kolcott J. Nutrients in the reef aquarium — Part IV. *Coral Magazine*, 2004. Vol. 1 (4) (Aug/Sept 2004). P. 84–93.
37. Lewis W.M., Morrios D.P. Toxicity of nitrite to fish: A review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1986. Vol. 115. P. 183–195.
38. Maranthe V. B., Huilgol N. V., Patil S. G. Hydrogen peroxide as a source of oxygen supply in the transport of fish fry. *Progressive Fish-Culturist*, 1975. Vol. 37. P. 117.
39. Meade J. W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. *Progressive Fish – Culturist*. Vol. 47. P. 135–145.
40. Moe Jr., M. A. The Marine Aquarium Handbook: Beginner to Breeder. Green Turtle Publications, Plantation, FL, 1992. 320 p.
41. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Second Edition. Wiley-Blackwell, 2010. 538 p.
42. 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.
43. Pagenkopf G.K. Gill surface interaction model for trace - metal toxicity to fish: Role of complexation, pH, and water hardness. *Environmental Science and Technology*, 1983. Vol. 17. P. 342–347.
44. Parker R. Aquaculture Science. 3rd edition. Delmar. 2012. 652 p.

45. Piper R. G., McElwain I. B., Orme L. E., McCraren J. P., Fowler L. G., Leonard J. R. Fish Hatchery Management. U.S. Dept. of Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., 1982. 517 p.
46. Riche M. A., Pfeiffer T. J., Garcia J. Evaluation of a sodium hydroxymethane - sulfonate product for reducing total ammonia nitrogen in a small - scale rotifer batch culture system. *North American Journal of Aquaculture*, 2006. Vol. 68. P. 199–205.
47. Rowan A. K., Snape J. R., Fearnside D., Barer M. R., Curtis T. P., Head I. A. Composition and diversity of ammonia - oxidising bacterial communities of different design treating identical wastewater. *FEMS Microbiology and Ecology*, 2003. Vol. 43. P. 195–206 .
48. Scarano G., Saroglia M. G. Recovery of fish from functional and haemolytic anemia after brief exposure to a lethal concentration of nitrite. *Aquaculture*, 1984. Vol. 43. P. 42–426.
49. Schwedler T. E., Tucker C. S., Bealeu M. H. Non - infectious diseases. In: *Channel Catfish Culture* (C.S. Tucker, ed.), Elsevier, Amsterdam, 1985. P. 497–541.
50. Shute J. R., Tullock J. Chemical and physical parameters of tropical seas, Part 5. Temperature. *Tropical Fish Hobbyist Magazine*, 1995. XLIII (10). (June 1995). P. 68–72.
51. Smith S. A. (ed.) *Fish Diseases and Medicine*. CRC Press, 2019.
52. Sorensen E.M. *Metal Poisoning in Fish*. CRC Press , Boca Raton, FL, 1991. 383 p.
53. Stevenson J. P. *Trout Farming Manual*. 2nd ed., Fishing News Books, Ltd., 1987, 259 p.
54. Stormer J., Jensen F. B., Rankin J. C. Uptake of nitrite, nitrate and bromide in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: Effects on ionic balance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996. Vol. 53. P. 1943–1950.
55. Stoskopf M. K. *Fish Medicine, Volumes 1 & 2*. ART Sciences LLC. 2010. ISBN 978-1257169092.
56. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

57. Swingle H. S. *Methods of Analysis for Waters, Organic Matter and Pond Bottom Soils Used in Fisheries Research*. Auburn University, AL, 1969.
58. Tomasso J. R., Simco B. A., Davis K. B. Chloride inhibition of nitrite - induced methemoglobinemia in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979. Vol. 36. P. 1141–1144.
59. Tucker C. S. (ed.) *Water Quality*. In: *Channel Catfish Culture*. Elsevier, Amsterdam, 1985. P. 135–227.
60. Tucker C. S., Floyd R. F., Bealeu M. H. Nitrite - induced anemia in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1989. Vol. 43, P. 295–301.
61. Weatherly A. H. Effects of superabundant oxygen on thermal tolerance of goldfish. *Biological Bulletin*, 1970. Vol. 139. P. 229–238.
62. Wedemeyer G. A., Yasutake W. T. Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1978. Vol. 35. P. 822–827.
63. Wise D. J., Tomasso J. R. Acute toxicity of nitrite to red drum *Sciaenops ocellatus*: Effect of salinity. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1989. Vol. 20. P. 193–198.
64. Witschi W.A., Ziebel C.D. Evaluation of pH shock on hatchery - reared rainbow trout. *Progressive Fish – Culturist*, 1979. Vol. 41. P. 3–5.