

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра водних біоресурсів

05-03-220М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних, практичних та самостійних
робіт з навчальної дисципліни «**Основи гідроекології**» для
здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Водні біоресурси та
аквакультура» спеціальності 207 «Водні біоресурси та
аквакультура» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол № 13 від 18.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних, практичних та самостійних робіт з навчальної дисципліни «Основи гідроекології» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водні біоресурси та аквакультура» спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Гроховська Ю.Р., Кононцев С. В. – Рівне : НУВГП, 2025. – 92 с.

Укладачі: Гроховська Юлія Романівна, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри водних біоресурсів; Кононцев Сергій Вікторович, доктор технічних 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»

Петрук А. М.

Попередня версія методичних вказівок у посібнику:

Клименко М. О. Гідроекологія : навч. посіб. / М. О. Клименко, Ю. Р. Гроховська, О. О. Бедункова. Рівне : НУВГП, 2008. 178 с.

© Ю. Р. Гроховська,
С. В. Кононцев, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

ВСТУП	4
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	5
1. Дослідження складу і основних характеристик водного середовища	5
2. Дослідження динаміки температури водного середовища і проблем температурної стратифікації водойм	9
3. Дослідження рН і сольового складу континентальних вод	13
4. Визначення концентрації нітратів	18
5. Екологічні групи гідробіонтів	23
6. Екологічні групи водоростей	29
7. Пристосування вищих водних рослин різних екологічних груп	37
8. «Цвітіння» води як гідробіологічний процес, обумовлений евтрофікацією	40
9. Токсичне забруднення водних екосистем та його оцінка методами біотестування	46
ПРАКТИЧНІ РОБОТИ	53
10. Вивчення екологічної зональності водних екосистем	53
11. Вивчення типізації водних об'єктів та їх гідрологічна характеристика	58
12. Вивчення особливостей температурного, термічного і льодового режиму водних об'єктів	61
13. Вивчення ролі гідрофізичних чинників в життєдіяльності гідробіонтів	68
14. Натрій, калій і цезій у водних екосистемах	73
15. Кальцій і магній у водних екосистемах	75
16. Сірка природних вод і процеси сульфатредукції	80
17. Оцінка відповідності якості поверхневих вод рибогосподарським вимогам	82
18. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод	85
Інформаційні ресурси	91

ВСТУП

Гідроекологія (водна екологія) – це галузь біології, що вивчає водні екосистеми або їх частини як цілісну систему взаємодіючих живих (біотичних) і неживих (абіотичних) компонентів. Гідроекологія це також і соціально-екологічна дисципліна, що вивчає антропогенний вплив на якість води, стан та функціонування водних екосистем в цілому як складових довкілля людини. Предметом вивчення гідроекології є водні екосистеми, водне середовище, а також популяції і угруповання водних організмів, у т. ч. риб, а також зміни цих систем під антропогенним впливом.

Мета навчальної дисципліни «Основи гідроекології» – ознайомити майбутніх фахівців із закономірностями і особливостями функціонування водних екосистем різного типу (водосховищ, естуаріїв, великих, середніх та малих річок, озер, водойм-охолоджувачів, каналів тощо) за умови дії на них природних і антропогенних чинників та можливостями угруповань гідробіонтів регулювати екологічний стан, відновлювати якість природних вод, забезпечувати високу продуктивність і якість водних живих ресурсів. До завдань навчальної дисципліни входить вивчення: біотичних та абіотичних чинників водних екосистем, а також наслідків антропогенного впливу на водні екосистеми і водні біоресурси.

Знання і навички з гідроекології необхідні для формування у здобувачів освіти комплексу фахових компетентностей для запровадження принципів сталої аквакультури в рамках Європейського Зеленого курсу. На основі сформованої системи знань про особливості функціонування водних екосистем студенти набувають практичних навичок використання засобів цілеспрямованого керування гідроекологічними процесами з метою збереження водних екосистем і їх біорізноманіття, підтримання належної якості поверхневих вод і водних біоресурсів тощо.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

1. ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ І ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Мета заняття: ознайомитися з причинами формування якості природних вод, фізико-хімічними особливостями поверхневих вод різного складу; встановити основні органолептичні показники якості поверхневих вод.

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

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

Певною мірою якість поверхневих вод залежатиме від типу рослинності на поверхні водозбору, оскільки продукти розпаду рослин (як у випадку з торф'яними болотами, згаданими вище) потрапляють у поверхневі води. Вода, що стікає з хвойних лісів, має тенденцію бути кислою.

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

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

Кількість *розчиненого кисню* у воді є лімітуючим чинником водного середовища, який визначає ступінь та види органічного життя у водоймі. Риbam для виживання необхідний

розчинений кисень, хоча їхня толерантність до низького вмісту кисню варіюється в різних видів. У крайніх випадках нестачі кисню деякі риби здатні заковтувати повітря з атмосфери. Водним рослинам доводиться утворювати особливу повітроносну тканину – аеренхіму, при цьому форма і розмір листя також можуть змінюватися. І, навпаки, кисень згубний для багатьох видів анаеробних бактерій.

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

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

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

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

Солоність води також є лімітуючим фактором для гідробіонтів. Морські організми добре пристосовані до високої

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

Завдання

1. Визначення запаху і смаку води.

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, термометр, рН-метр, колби конічні місткістю 0,5 дм³ з притертим корком, водяна баня.

Порядок роботи:

- a) В колбу вносять 250 мл проби води з температурою 20°C, закривають корком і кілька разів збовтують. Після цього колбу відкривають і визначають характер запаху і його інтенсивність за 5-бальною шкалою.
- b) В іншу колбу вносять 250 мл проби, прикривають склом і нагрівають на водяній бані до 60°C. Після цього перемішують вміст колби обертальними рухами, відкривають і визначають характер запаху і його інтенсивність за 5-бальною шкалою.
- c) Характер запаху описують словом, наприклад, рибний, ароматичний, землистий, тухлий, хлорний, гнилісний, торф'яний, фекальний, запах сірководню, хімічних речовин тощо.

- d) Смак води з джерела визначають за температури проби в момент її відбору, за кімнатної температури або 40 °С. У рот набирають 10-15 мл води, тримають кілька секунд і визначають смак (солоний, солодкий, кислий, гіркий) і присмак¹ (напр. рибний, металевий, хлорний тощо). Інтенсивність оцінюють за 5-бальною шкалою.

2. Визначення прозорості води.

Обладнання і реактиви: металева підставка, прилад Снеллена для визначення прозорості «по шрифту» - скляний циліндр висотою 30 см і діаметром 2,5-3,0 см, градуйований шкалою через 1 см.

Порядок роботи:

- a) Визначення проводять у добре освітленому приміщенні, на відстані від вікна 1 м не на прямому світлі. У циліндр наливають збовтану воду на висоту передбачуваної прозорості, встановлюють циліндр нерухомо над стандартним шрифтом висотою букв 3,5 мм. Циліндр встановлюють на підставці так, щоб він був на відстані 4 см від шрифту.
- b) Додаючи і відливаючи воду визначають максимальну висоту стовпа води, при якій можливо прочитати шрифт.
- c) Прозорість виражається у см висоти стовпа води з точністю до 0,5 см. Для питної води вона повинна бути не менше 30 см.

3. Визначення концентрації завислих речовин.

Обладнання і реактиви: циліндри мірні 1 дм³, колби 0,1; 0,25; 0,5 дм³, лійки хімічні, паперові фільтри, бюкси, ексікатор, сушильна шафа, терези аналітичні.

Порядок роботи:

- a) Ретельно перемішану проб об'ємом 1,5 або 2,0 л фільтрують через висушений і попередньо зважений паперовий фільтр. Бажано відміряти такий об'єм ретельно

¹ Для уникнення суб'єктивності в оцінюванні, характер та інтенсивність запаху і смаку бажано проводити кільком дослідникам та зробити остаточний висновок на основі колегіальної думки.

перемішаної проби, щоб у ньому було 100-250 мг завислих речовин (від 1,5-2,0 мл до 0,1 л при вмісті завислих речовин від 10 до 500 мг/л).

- b) Промивають осад на фільтрі невеликою кількістю дистильованої води і поміщають фільтр у попередньо зважений бюкс.
- c) Бюкс з фільтром висушують у сушильній шафі впродовж 2 год за температури 105°C. Потім охолоджують у ексікаторі і зважують закривши бюкс кришкою. Потім всі операції повторюють до досягнення постійної маси.
- d) Обробляють результати вимірювань: обчислюють вміст завислих речовин за формулою (1.1)

$$x=(m_3 - m_1 - m_2)*1000/V, \quad 1.1$$

де m_1 – маса висушеного паперового фільтра, мг; m_2 – маса бюкса, мг; m_3 – маса бюкса з фільтром і висушеними речовинами, мг; V – об'єм проби, мл.

Результати заокруглюють з точністю до 1 мг/л; у випадку перевищення 1000 мг/л – з точністю до 10 мг/л.

- e) Зробити висновки за результатами лабораторної роботи.

Використані джерела

1. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.
2. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА І ПРОБЛЕМ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТРАТИФІКАЦІЇ ВОДОЙМ

Мета заняття: ознайомитися з процесом термічної стратифікації водойм, причинами зниження концентрації розчиненого кисню у воді; встановити як змінюється концентрація розчиненого кисню з підвищенням температури.

Теоретична частина. Вода має здатність зберігати тепло, і температура води у великих глибоких озерах часто відстає від зміни температури повітря. Проте рибницькі стави є відносно

невеликими та мілкими, з високим відношенням площі поверхні до об'єму, і температура води зазвичай точно відповідає температурі повітря.

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

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

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

Завдяки сонячному випромінюванню вода на поверхні водного об'єкта нагрівається швидше, ніж на певній глибині. Густина води досягає максимуму при ~4 °С. Поверхнева вода стає легшою, коли вона нагрівається, і може стати набагато легшою, ніж вода на глибині. Якщо ці два шари не змішуються, це призводить до стану, який називається *температурною (чи термічною) стратифікацією*. Поверхневий шар – епілімніон, а глибший – гіполімніон; між ними знаходиться термоклин, де температура швидко змінюється з глибиною (рис. 2.1).

Термічна стратифікація відбувається в більшості непроточних водойм, глибина яких перевищує 2-3 м. Особливо

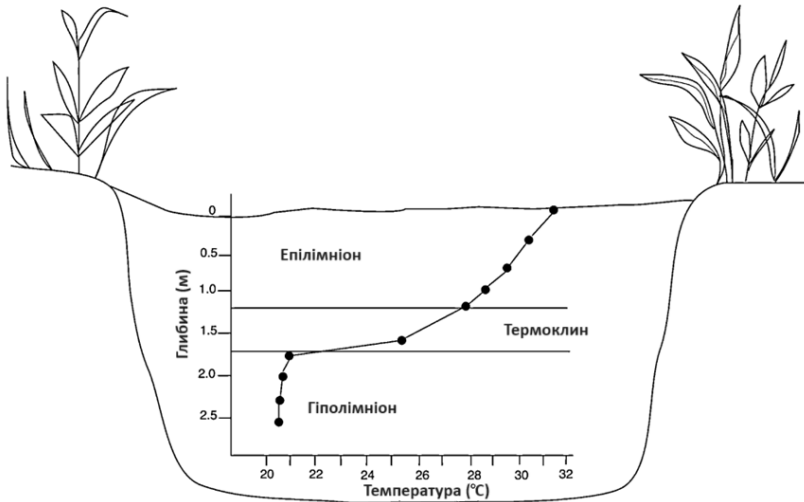


Рис. 2.1. Типові температурні зони в стратифікованій водоймі (за Noga, 2010)

схильні до стратифікації невеликі водойми, захищені від вітру. Термічна стратифікація зберігається до тих пір, поки вітрове змішування не стане достатньо сильним, щоб подолати різницю густини між двома шарами, або поки поверхнева вода не охолоне.

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

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

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

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

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

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

Завдання

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, прилад для контролю розчиненого кисню РСW-3000DТК, термометр ртутний, проби води з різною температурою.

Порядок роботи:

- а) Очистити прилад відповідно до інструкції про підготовку до роботи.
- б) Проби води (8-10 ємностей) ретельно перемішати і занурити у них електрод. Одночасно занурити у досліджувану воду термометр.
- с) Визначити температуру досліджуваних зразків води і вміст розчиненого кисню.
- д) За даними таблиці «Рівноважні з повітрям концентрації розчиненого у воді кисню для обчислення насичення проб води киснем» (с. 406 у джерелі Мацнев та ін., 2002) встановити відсоток насичення досліджених проб води.
- е) Зробити висновки за результатами лабораторної роботи.

Використані джерела

1. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.
2. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
3. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Second Edition. Wiley-Blackwell, 2010. 538 p.
4. 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.
5. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ рН І СОЛЬОВОГО СКЛАДУ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВОД

Мета заняття: ознайомитися з класифікацією природних вод за сольовим складом, з особливостями сольового складу води океанів і морів та адаптаціями гідробіонтів.

Теоретична частина. *Класифікація природних вод за сольовим складом.* Сумарний вміст всіх розчинених у воді мінеральних речовин називають *солоністю*. Для характеристики прісних вод вона виражається найчастіше в міліграмах на дециметр кубічний розчину (мг/дм^3), солонуватих і морських – в проміле (‰); 1 ‰ відповідає концентрації 1 грам на дециметр кубічний (г/дм^3).

Всі природні води (згідно загальноприйнятої Венеціанської системи, адаптованої до умов України) підрозділяються на *прісні* (солоність до 1,0 ‰), *солонуваті* (1,0-30 ‰), *солоні*, або *морські*, (30-40 ‰) і *ультрагалінні*, або *пересолені* (більше 40 ‰) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Поділ вод за ступенем солоності

Води	Солоність, ‰	Водойма
Прісні: Агалінні	0,01-0,5	Ріка, озеро, водосховище
Олігалінні	0,01-0,2	
	0,2-0,5	
Солонуваті (міксогалінні): Олігогалінні	0,5-30	Озера, континентальні моря, естуарії
Мезогалінні	0,5-4	
Полігалінні	5-18	
	18-30	
Морські (еугалінні)	30-40	Океани, відкриті і континентальні моря, затоки, лимани
Пересолені (гіпергалінні)	Понад 40	Озера, затоки, лимани

Прісні води, у свою чергу, підрозділяються на *гіпогалінні* (менше 0,5 ‰) і *олігогалінні* (0,5-1,0 ‰), а солонуваті – на *мезогалінні* (1-18 ‰) і *полігалінні* (18-30 ‰).

У природних водах переважають аніони HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} і Cl^- і катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ і K^+ .

У прісних водах концентрація карбонатних іонів найбільша в порівнянні із вмістом інших іонів. Мінералізація морських (океанічних) вод визначається, в основному, хлоридами натрію і магнію. У прісних водах їх вміст складає не більше 5,2, а карбонатів – 60,1 %, у воді відкритої частини океану – відповідно 88,7 і 0,3 %.

Сольовий склад континентальних вод. На відміну від морських вод, що характеризуються постійністю сольового складу, прісні води різних ландшафтних зон істотно відрізняються за складом основних іонів. Відповідно до класифікації О.А. Алюкіна, природні води підрозділяються за сольовим складом на *три класи*: гідрокарбонатні (С), сульфатні (S) і хлоридні (Cl). Кожен клас, залежно від переважаючих макрокомпонентів, розділяється на *три групи*: кальцієву, магнієву і натрієву, а кожна група, у свою чергу, за кількісним співвідношенню іонів, — на *чотири типи* (I, II, III, IV).

Води *типу I* утворюються в процесі хімічного вилуговування вулканічних порід або при обмінних процесах Ca^{2+} і Mg^{2+} на Na^+ . Ці води найчастіше маломінералізовані.

Води *типу II* – змішані. Їх склад може бути зв'язаний генетично як з осадовими породами, так і з продуктами вивітрювання вулканічних порід. До цього типу відносяться води більшості річок, озер і підземні води невеликої та помірної мінералізації.

Тип III включає сильно мінералізовані води і води, що характеризуються катіонним обміном Na^+ на Ca^{2+} або Mn^{2+} . Такими властивостями володіють води океанів, морів, лиманів, реліктових водойм.

До вод *типу IV* відносяться кислі води. Це води боліт, шахтні, вулканічні або води, сильно забруднені промисловими стоками.

Характеристики вод позначаються таким чином: клас – хімічним символом відповідного аніона (С, S, Cl), група – символом катіона (Ca, Na, Mg). Належність до типу позначається римською цифрою в нижньому індексі, до групи – символом у верхньому індексі. Наприклад, C_{II}^{Ca} – гідрокарбонатний клас, група кальцію, тип II; Cl_{III}^{Mg} – хлоридний клас, група магнію, тип III і т.д. (табл. 3.2).

Поверхневі води суші за сольовим складом характеризуються такими показниками, як загальна мінералізація, співвідношення іонів і вміст хлоридів та сульфатів.

На більшій частині Європейського континенту води річок мають невелику або середню мінералізацію і відносяться переважно до гідрокарбонатного класу, кальцієвої групи.

Таблиця 3.2

Класифікація якості поверхневих вод суші і естуаріїв за критеріями іонного складу

Класи	Гідрокарбонатні (С)			Сульфатні (S)			Хлоридні (Cl)		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
Тип	I II III	I II III	I II III	II III IV	II III IV	I II III	II III IV	II III IV	I II III

Для степових і напівпустельних зон характерна підвищена мінералізація вод сульфатного класу. У Європі такі річки займають лише 3-4 % площі всіх річкових басейнів. Ще менше річкових басейнів, води яких відносяться до хлоридного класу, натрієвої групи. Як правило, ці води характеризуються високою мінералізацією.

На території України річкові води відносяться переважно до карбонатного класу. Основними йонами сольового складу води Дніпра і його водосховищ є гідрокарбонати і Ca^{2+} , тобто вода характеризується гідрокарбонатним класом, групою кальцію, другим типом C_{II}^{Ca} .

Мінералізація і вміст окремих іонів у воді водойм залежать від сезону року. У пік весняної повені мінералізація води в річках знижується унаслідок надходження снігових вод. Після закінчення повені вміст солей підвищується. Зростання солоності води стає відчутним особливо в літню межень і взимку, коли в живленні річки збільшується частка ґрунтових вод.

Формування сольового складу зарегульованих річок залежить не лише від складу води, що надходить з водозбірної площі, але і від характеру внутріводоймних процесів. При багаторічному регулюванні стоку мінералізація води може підвищуватися лише до певного рівня, тобто до встановлення сольової рівноваги. Сезонні коливання мінералізації і іонного

складу води великих водосховищ обумовлюються, переважно, надходженням річкових вод, а при каскадному їх розташуванні – надходженням води з вище розташованих водосховищ і незарегульованих ділянок річки.

У невеликих водосховищах у формуванні іонного складу води важливу роль відіграє також змив розчинених солей з прибережних схилів, надходження ґрунтових вод і атмосферних опадів, випаровування, забір води для господарсько-побутових потреб.

У озерах сольовий склад води і її мінералізація залежать від їх зонального розташування. Солонуватоводні озера найчастіше розташовані в степових районах півдня України і Криму, тобто в зонах з сухим, жарким кліматом і високою інтенсивністю випаровування води. У зв'язку з цим в непроточних або слабопроточних озерах в результаті випаровування відбувається концентрація основних іонів і часткове їх випадання в осад – в солонуватоводних озерах вже при солоності 2-10 ‰ і вище. У осад переходять переважно малорозчинні карбонатні солі кальцію у формі CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ і $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гіпс). Іноді утворення таких озер пов'язане з виходом на поверхню ґрунтових вод з підвищеною мінералізацією. У воді солоних озер концентрація солей близька до океанічної або перевищує її. При цьому якщо нижня межа їх солоності лімітується верхньою межею солоності солонуватих (30 ‰) вод, то верхня не обмежена нічим. Солоні озера часто розглядаються як лікувальні з висококонцентрованими розсолами, основними компонентами яких є Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- і CO_3^{2-} . Для таких озер характерні висококонцентровані розчини декількох солей, і тому їх клас може бути визначений не поодинці, а по двох аніонах, наприклад хлоридно-сульфатний або сульфатно-хлоридний. У такому разі в назві класу на першому місці ставиться аніон, який переважає.

Виділяють наступні класи вод солоних озер: карбонатні (содові), сульфатні і хлоридні. У карбонатних переважає Na_2CO_3 , в сульфатних – Mg_2SO_4 і MgSO_4 , а в хлоридних – NaCl , MgCl_2 і CaCl_2 .

В Україні є солоні озера, склад вод яких визначає їх лікувальне використання. Це озера Криму (Сасик, Сакське), Куяльницький лиман в Одеській області, група Слов'янських озер (Ріпове, Вейсове, Сліпне) в басейні Сіверського Дінця і деякі інші.

Завдання

Визначення рН води.

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, лабораторний рН-метр (потенціометр) зі скляним електродом вимірювання і каломельним або хлорсрібним електродом порівняння, термометр ртутний з ціною поділки 0,1-0,5°C.

Порядок роботи:

- a) Перед початком вимірювання електрод ретельно промивають дистильованою водою і досліджуваною водою.
- b) Пробу води ретельно перемішують і занурюють у неї електрод. Одночасно занурюють промитий у досліджуваній воді термометр.
- c) Визначають температуру для внесення необхідних поправок при значному її відхиленні від 20°C.
- d) Величина потенціалу скляного електрода становить відповідне значення рН.
- e) Зробити висновки за результатами лабораторної роботи.

Використані джерела

1. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.
2. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

4. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НІТРАТІВ

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

Теоретична частина. 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 викопного палива (Noga, 2010).

Кінцевим продуктом окиснення нітриту є нітрат. У нещодавно створеному акваріумі (який може слугувати моделлю штучної водної екосистеми) накопичення нітратів відбувається після того, як нітрит досягає піку (рис. 4.1). Це у першу чергу залежить від біомаси риби та швидкості годування.

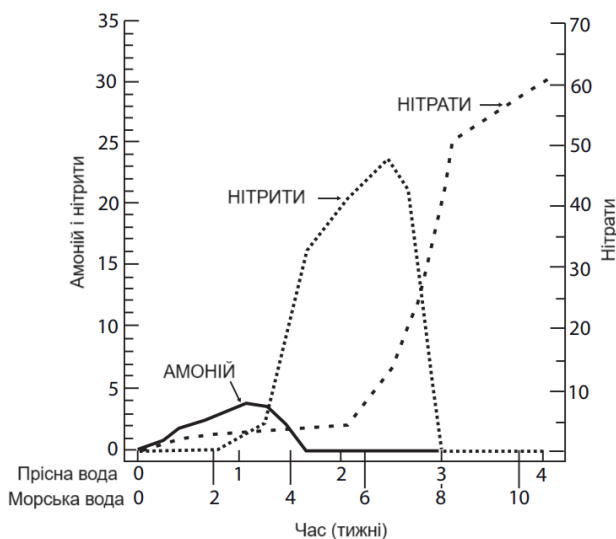


Рис. 4.1. Динаміка концентрації аміаку, нітратів та нітритів під час розвитку «синдрому нового акваріума», якщо рибу поміщають у день 0 (за Noga, 2010)

Якщо не видаляти активно (через підміну води або денітрифікацію), вміст нітратів в акваріумі продовжуватиме збільшуватися з часом. Наскільки швидко він зростає, переважно залежить від кількості аміаку, що надходить у систему, яка, у свою чергу, в п

Отже, отруєння аміаком і нітритами часто виникає в новому акваріумі, на відміну від збільшення вмісту нітратів (і

ризикі інтоксикації), які зазвичай відбувається значно пізніше – після запуску і функціонування аквакультурної системи певний час («старий акваріум»). ГДК нітратного нітрогену у воді водойм рибогосподарського призначення – 9,1 мг/дм³.

Клінічні ознаки отруєння нітратами у риб. 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 (Camargo 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 NO₃-N/л протягом кількох днів викликав підвищення ферогемоглобіну, зміни в периферичній крові та кровотворних центрах і пошкодження печінки (Grabda et al. 1974).

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 (NO₃-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 каналного сома (Camargo 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

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, аналізатор води марки PCE-CP 22 з інтерфейсом Bluetooth, реактиви для вимірювання концентрації нітратів у воді.

Порядок роботи:

- a) Очистити прилад відповідно до інструкції про підготовку до роботи.
- b) Обнулити табло за допомогою кнопки «ZERO». Знайти у головному меню опцію вимірювання нітритів (NO_3^-).
- c) За допомогою дозаторної піпетки налити 10 мл досліджуваної води у кювету.
- d) Додати до зразку вміст саше « NO_3^- » з порошкоподібною масою та ретельно перемішати за допомогою спеціальної ложки для подрібнення та перемішування реагентів.
- e) Закрити шейкер та струшувати зразок приблизно 15 секунд, поки реагенти повністю не розчиняться у воді.
- f) Досліджуваний зразок помістити у камеру приладу на закрити світлозахисною кришкою.
- g) Натиснути «OK» для початку вимірювання та зачекати завершення зворотного відліку на екрані аналізатора.
- h) Прочитати отриманий результат та зробити висновки щодо безпеки для риб визначеної концентрації нітратів.

Використані джерела

1. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.

2. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
3. 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.
4. 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 .
5. Grabda E., Einszporn-Orecka T., Felinska C., Zbanysek R. Experimental methemoglobinemia in rainbow trout. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 1974. Vol. 4. P. 43 – 71.
6. Hamlin H.J. Nitrate toxicity in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*). *Aquaculture*, 2006. Vol. 253. P. 688-693.
7. 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 .
8. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Second Edition. Wiley-Blackwell, 2010. 538 p.
9. 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.
10. 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.
11. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

5. ЕКОЛОГІЧНІ ГРУПИ ГІДРОБІОНТІВ

Мета заняття: ознайомитися із різноманітністю екологічних груп гідробіонтів; встановити особливості організації представників різних екологічних груп; проаналізувати залежність цих особливостей від особливостей конкретних біотопів.

Теоретична частина. До складу *планктону* входять мікродорості, бактерії, коловертки і інші організми, які не можуть протидіяти перенесенню їх водою через відсутність або недорозвинення органів руху.

За систематичною ознакою планктон підрозділяють на *фітопланктон* (водорості), *бактеріопланктон* і *зоопланктон*.

Фітопланктон представлений водоростями різних систематичних груп, що мешкають у товщі морських, солонуватих і прісних вод. Морський фітопланктон складається переважно з діатомових, динофітових, криптофітових і інших водоростей. Вони населяють товщу морської води до глибини 100 м. Саме на таку глибину проникає сонячне світло, що використовується автотрофними організмами в процесах фотосинтезу. Основними представниками прісноводного фітопланктону є ціанеї, діатомові і зелені водорості. До його складу входять також золотисті, евгленові, динофітові, жовтозелені та інші водорості. Він поширений до глибини 20-40 м. На формування фітопланктону істотним чином впливає гідрологічний і гідрохімічний режим водних об'єктів, освітленість води та інші чинники.

Фітопланктон відіграє важливу роль у формуванні якості води і біопродуктивності водойм. Він є джерелом первинної продукції і насичення води розчиненим киснем. При масовому розвитку фітопланктону («цвітінні» води) після його відмирання може різко погіршуватися якість води (самозабруднення водойм). Організми фітопланктону є індикаторами (показниками) якості води при екологічній оцінці.

Бактеріопланктон складається з бактерій різних фізіологічних груп. Його склад і кількісні показники залежать від наявності органічних речовин, температурного та кисневого режиму, сольового складу й інших чинників. Серед бактерій зустрічаються дуже дрібні форми – *ультрабактеріопланктон*, які можна виділити тільки за допомогою мембранних ультрафільтрів і розглядати лише під електронним мікроскопом.

Зоопланктон – сукупність водних безхребетних тварин, які населяють товщу морських і прісних вод. Це найпростіші, кишковопорожнинні, гіллястовусі і веслоногі ракоподібні, коловертки, велігери (личинки) молюсків, личинки креветок і ін. Серед них є організми, здатні до активного переміщення у воді. Так, представники гіллястовусих ракоподібних дафнії переміщуються стрибками, веслоногі ракоподібні – за

принципом реактивного руху. Ті та інші здатні також до вертикальних міграцій – від поверхні до дна і навпаки. Складовою частиною зоопланктону є також *іхтіопланктон* – ікра і личинки деяких видів риб.

Зустрічаються досить крупні організми, наприклад медуза *Suanea* (діаметр до 2 м). Ширяння зоопланктонів у воді сприяють значна поверхня їх тіла, наявність в ньому жирових включень і газових вакуоль.

Розміри зоопланктонних організмів дуже різноманітні, розрізняють:

- *мегалопланктон* - організми розміром понад 1 м,
- *макропланктон* - 1-100 см,
- *мезопланктон* - 1-10 мм,
- *мікропланктон* - 0,05-1 мм (50-100 мкм),
- *нанопланктон* - менше 0,05 мм (менше 50 мкм).

Мікропланктон — це мікроскопічні найпростіші, коловертки, личинки безхребетних.

Мезопланктон складається з дрібних рачків.

Організми *макропланктону* – це, в основному, мізиди, креветки, невеликі медузи.

До *мегалопланктону* відносяться безхребетні дуже крупних розмірів – медузи і ін. Планктон разом із завислими у воді частинками, які потрапляють у знаряддя лову (планктонні сітки і ін.) називається сестоном.

У багатьох *плейстонтів* є газові бульбашки або піняві поплавці, за допомогою яких організми утримуються на поверхні води. Бульбашки виявлені у сифонофор *Physalia*, актиній *Minya*, молосків *Janthina* і деяких інших.

До складу *нейстону* входить відносно невелика кількість організмів – найпростіші, одноклітинні водорості, бактерії, дрібні легеневі молоски. Всі вони мешкають нижче плівки поверхневого натягу води. До *нейстону* морських водойм відноситься також ікра і личинки риб, що одержали назву *іхтіонейстон*. На поверхні плівки в прісних водоймах можна спостерігати клопів-водомерів, що швидко бігають. Тут же живуть личинки комарів, жуки-вертячки і інші дрібні безхребетні.

Нектонні тварини мають обтічну форму тіла і розвинені рухові органи. Це хрящові і кісткові риби, морські ссавці (зубаті і вусаті кити), головоногі моллюски (кальмари, восьминоги, каракатиці і ін.).

До його складу *бентосу* відносять бактерії, рослини, безхребетні тварини, моллюски, ракоподібні і інші групи гідробіонтів.

Розрізняють *фітобентос*, *бактеріобентос* і *зообентос*. Фітобентос морських шельфових мілководих зон складається з червоних, бурих та інших макроводоростей і вищих водних рослин. Фітобентос континентальних водойм представлений, в основному, діатомовими, синьозеленими, зеленими, харовими і деякими іншими водоростями. Розрізняють *мікрофітобентос* і *макрофітобентос*. До складу останнього входять переважно макроскопічні форми зелених і харових водоростей.

Значну роль у прісноводних водоймах відіграють вищі водні рослини (рогоз, рдесник, очерет і інші квіткові рослини). Їх угруповання специфічні і зазвичай розглядаються не як фітобентос, а як окремий компонент прісноводних екосистем – вища водна рослинність. У заростях вищих водних рослин живуть бактерії, водорості, безхребетні тварини.

Бактеріобентос – це бактерії, що мешкають в донних відкладеннях. Він відіграє особливу роль в перетворенні як органічних, так і мінеральних речовин. Так, в донних ґрунтах більшості мезотрофних і евтрофних озер за участю бактерій протікають процеси утворення метану, редукції сульфатів і маслянокислого бродіння. На більшій глибині залягання донних відкладень мікробіологічні процеси поступово ослаблюються унаслідок зменшення вмісту легкозасвоюваних бактеріями фракцій органічної речовини, зменшення вмісту біогенних елементів і інших чинників.

Організми *зообентосу* розділяють на *інфауну* (мешканці товщі донних відкладень), *онфауну* (організми, що живуть на поверхні ґрунту) і *епіфауну* (тварини, що мешкають на поверхні твердого субстрату – каменях, занурених стеблах вищих водних рослин, черепашках відмерлих моллюсків і т. п.)

Типовими представниками *інфауни* є багатощетинкові черви, двостулкові молюски, деякі голкошкірі і інші безхребетні. Угрупування організмів *онфауни* утворюють ракоподібні, молюски, деякі багатощетинкові черви, більшість голкошкірих (у морі). *Еніфауна* складається з губок, гідроїдів, актиній, мохуваток, морських жолудів, коралових поліпів і ін.

У окрему екологічну групу *нектобентосу* виділені тварини, які плавають у придонному шарі води і періодично піднімаються в поверхневі шари: придонні риби, креветки, мізиди, деякі голотурії і інші безхребетні.

Бентосні організми розділяють за розміром. *Мікрозообентос* представлений найдрібнішими (менше 0,5 мм) організмами, що живуть на поверхні донного ґрунту. У цю групу входять і дрібні форми, які мешкають у поровій воді між частинками піску або мулу і складають інтерстиціальну фауну. До прісноводного мікрозообентосу відносяться інфузорії, корненіжки, джгутикові, коловертки, нематоди, деякі турбеларії.

До складу *мезобентосу* входять організми (розміром до 1,5-2,0 мм), які можуть бути постійними компонентами донних ґрунтів (гіллястовусі, веслоногі і черепашкові ракоподібні, дрібні черв'яки – олігохети, личинки комарів – хірономіди, водяні кліщі і ін.) і тимчасовими мешканцями дна. До останніх відносяться личинки бабок, одноденок, жуків і інших комах, які протягом свого життєвого циклу змінюють одне середовище на інше (гетеротопи): личинки і лялечки живуть у водному середовищі, а дорослі стадії (імаго) – в повітрі.

Мейобентос складається з організмів розміром від 0,5 до 5–10 мм. Це жителі самого верхнього шару донних ґрунтів.

До складу *макрозообентосу* входять тварини, розмір яких перевищує 5 мм. Це представники багатьох класів прісноводних тварин: поліхети, олігохети, червононогі молюски, двостулкові молюски, ракоподібні, личинки комах. У складі морського зообентосу найбільшу роль відіграють двостулкові молюски (серед них величезні тридакни), голкошкірі (морські зірки, морські їжаки і ін.) ракоподібні (омари, лангусти, краби), багатощетинкові черви – поліхети.

Основу обростань *перифітону* складають бактерійна плівка, прикріплені рослини (водорості) і тварини (ракоподібні, моллюски, гідроїди, губки і інші безхребетні).

До складу бентосу входять також біоценози піщаних пляжів (*псаммон*).

Комплекс організмів, здатних зимувати в товщі льоду, одержав назву *пагон*.

Завдання

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, лупа, мікроскопи, фільтрувальний папір, зразки води і гідробіонтів.

Порядок роботи:

- a) Використовуючи рекомендовану літературу, малюнки та натурні зразки ознайомитися з різноманітністю екологічних груп гідробіонтів.
- b) Розглянути під лупою відібрані з річки Устя та Басівкутського водосховища зразки води, перифітону, занурених рослин та донного мулу, шукаючи гідробіонтів-представників різних екологічних груп.
- c) Підготувати препарат планктону. Для цього на середину предметного скла скляною паличкою наносять краплю води, відібраної з Басівкутського водосховища на р. Устя. Покривне скло тримають похило, прагнучи не забруднити пальцями. Спочатку торкаються до краплі тільки ребром, а потім рівномірно опускають. Зайву воду видаляють шматочком фільтрувального паперу.
- d) Досліджують під мікроскопом склад *планктону* (вільноплаваючих у товщі води дрібних, переважно мікроскопічних, рослин і тварин, основну масу яких складають водорості).
- e) Встановити систематичне положення виявлених видів, зробити світлини рослин і тварин.
- f) Замалювати характерних представників екологічних груп.
- g) Заповнити узагальнюючу таблицю:

Екологічна група	Особливості поширення в косистемі	Особливості пристосування організмів	Принципи поділу на підгрупи	Характерні представники

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

6. ЕКОЛОГІЧНІ ГРУПИ ВОДОРОСТЕЙ

Мета заняття: ознайомитися з основними екологічними групами водоростей.

Теоретична частина. Водорості зустрічаються в різних водних, наземних і ґрунтових біотопах по всій земній кулі. Відповідно виділяють різні екологічні групи цих рослин: планктонні та бентосні, наземні і ґрунтові водорості, водорості снігу та льоду, водорості солоних водойм, водорості, що живуть у вапняковому субстраті.

У наукових дослідженнях зазвичай застосовують загальніші класифікації, наприклад, водорості неводних місцезростань поділяють на 4 екологічні угруповання: 1) повітряні водорості (аерофітон); 2) наземні водорості (геофітон); 3) ґрунтові водорості (едафон) і 4) водорості, які живуть всередині вапняного субстрату (ендолітофітон). В англійських роботах все різноманіття неводних поселень водоростей відносять до двох типів: аерофільні і ґрунтові водорості, водночас розростання водоростей на ґрунті відносять або до першого, або до другого типу.

Водорості водних місцезростань (гідрофітон). Організми планктону не здатні протистояти течії, але мають спеціальні пристосування для зависання у товщі води – газові і ліпідні включення, які легші за воду і дозволяють зменшити загальну вагу тіла; збільшення площі поверхні тіла за рахунок зменшення розмірів, сплющування і видовження, формування виростів або щетинок, що збільшує тертя об воду (рис. 6.1). *Фітопланктоном*

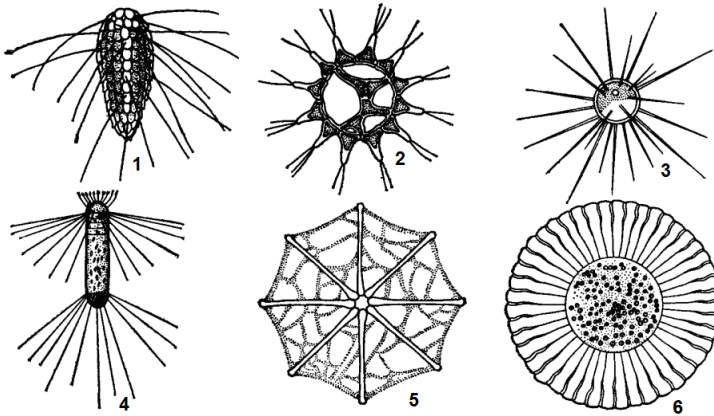


Рис. 6.1. Пристосування до планктонного способу життя у водоростей з різних систематичних груп [1]: 1-4 – шипуваті форми (1 – *Mallomonas*, одноклітинна джгутикова золотиста водорість з окремими лусочками на оболонці з відростками; 2 – колоніальна зелена водорість *Pediastrum* з шипами на крайніх клітинах; 3 – одноклітинна зелена водорість голенкінія (*Golenkinia*) з шипами, які всіюють оболонку; 4 – одноклітинна діатомея коретрон (*Coretron*) з трьома віночками відростків на панцирі); 5-6 – парашутні форми (5 – зірчаста колонія діатомеї астеріонели (*Asterionella*) зі слизистими тяжами між клітинами, що утворюють парашут; 6 – одноклітинна діатомея планктоніелла (*Planktoniella*) з плоскою формою панциру)

називають сукупність вільноплаваючих (у товщі води) дрібних, переважно мікроскопічних, рослин, основну масу яких складають водорості. Відповідно кожен окремий організм зі складу фітопланктону називають *фітопланктером*.

Прісноводний фітопланктон має величезну різноманітність ціаней та зелених водоростей. Особливо численні серед зелених одноклітинні і колоніальні вольвоксові і протококові: види хламідомонад (*Chlamydomonas*), гоніуму (*Gonium*), вольвоксу (*Volvox*), педіастрому (*Pediastrum*), сценедесмуса (*Scenedesmus*), ооцистиса (*Oocystis*), сфероцистиса (*Sphaerocystis*) та ін. Серед ціаней (синоніми - ціанобактерії, синьозелені водорості) численні види анабени (*Anabaena*),

мікроцистіса (*Microcystis*), афанізомена (*Aphanizomenon*), глеотрихії (*Gloeotrichia*) та ін.

У кожен сезон переважаючого розвитку набуває одна з груп водоростей (ціаней, діатомові, золотисті, евгленові або зелені), а в періоди інтенсивного розвитку часто домінує лише один вид. Особливо це характерно для прісноводних водойм. Так, взимку під кригою фітопланктон дуже бідний або майже відсутній через нестачу світла. Вегетаційний розвиток водоростей планктону як угруповання починається навесні, коли рівень сонячного випромінювання стає достатнім для фотосинтезу водоростей навіть під кригою. В цей час з'являються досить численні дрібні джгутикові – евгленові, динофітові, золотисті, діатомові. У період від скресання криги до встановлення температурної стратифікації, що зазвичай буває при прогріванні верхнього шару води до 10-12°C, починається бурхливий розвиток холододлюбних діатомових. Влітку при температурі води вище 15°C максимальний розвиток ціаней, евгленових і зелених водоростей, аж до можливого «цвітіння» води (рис. 6.2). Видова різноманітність діатомових тут нижча, ніж в морях (якщо не враховувати велику різноманітність тимчасово планктонних видів); за продуктивністю на одиницю поверхні води роль діатомових в прісних і морських водах у середньому співрозмірна.

Морський фітопланктон складається переважно з діатомових і динофітових водоростей. З діатомових особливо численні представники класу центричних. Дуже різноманітні у морському фітопланктоні динофітові водорості. Ця група і в прісноводному фітопланктоні досить різноманітна, але налічує менше число видів, ніж у морському, а деякі роди представлені тільки в морях (*Dinophysis*, *Goniaulax* та ін.) Численними є також вапнякові джгутикові — *Coccolithophoridophycidae*, які представлені в прісних водах лише кількома видами, і кремнієві джгутикові, або силікофлагелляти, що зустрічаються виключно в морському планктоні.

Термін «планктон» за першим визначенням означав сукупність організмів, завислих у товщі води. Зараз до планктону відносять і організми нейстону.

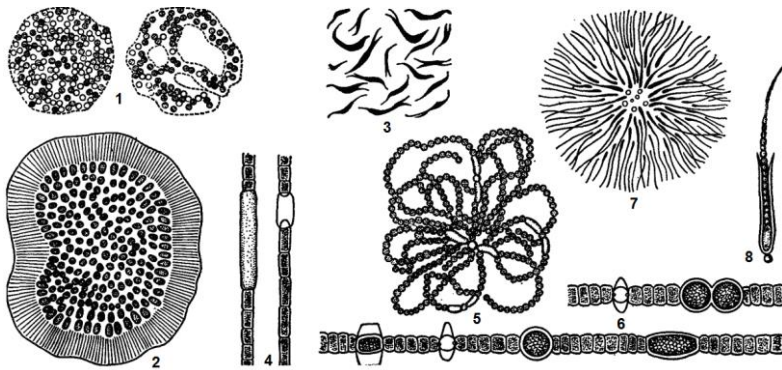


Рис. 6.2. Ціанеї з газовими вакуолями в клітинах, які викликають «цвітіння» води [1] :

1 – дві колонії мікроцистиса (*Microcystis aeruginosa*), утворені безструктурним слизом; 2 – колонія вороніхії (*Woronichia naegeliana*) з штрихуватим зовнішнім слизом; 3,4 – афанізоменон (*Aphanizomenon flos-aque*) (3 – лусочки з ниток в натуральну величину, 4 – ділянки ниток при великому збільшенні); 5 – зібрані в клубочок нитки анабени (*Anabaena lemmermannii*); 6 – плаваючі окремі нитки анабени (*Anabaena scheremetievii*); 7,8 – колонія і окрема нитка глеотрихії (*Gloeotrichia echinulata*) при різному збільшенні

Нейстон – сукупність гідробіонтів, які живуть на межі з повітряним середовищем біля плівки поверхневого натягу води. Одні з організмів нейстону існують над плівкою води – епінейстон, інші – під плівкою – гіпонейстон.

Великі концентрації нейстонних організмів спочатку були виявлені в дрібних водоймах (ставах, ямах, в невеликих затоках озер) у тиху погоду при спокійній поверхні води. Пізніше різноманітні нейстонні організми, в основному дрібні тварини, були знайдені і в великих водоймах, зокрема в морях.

У деяких видів нейстонних водоростей існують характерні пристосування до існування біля поверхні води (рис. 6.3).

До екологічної групи *плейстону* (від грец. pleusis — плавання, pleo — пливу) відноситься сукупність водних організмів, що тримаються на поверхні води або напівзанурених у неї (тобто мешкають одночасно у водному і повітряному

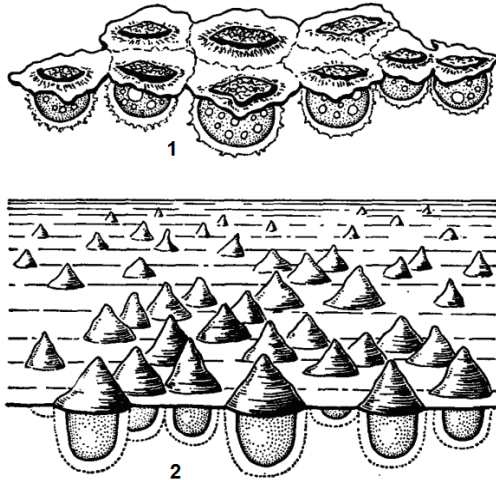


Рис. 6.3. Водорості нейстону [1] : 1 – лусочка крематохризису (*Kremastochrysis*), що плаває на поверхні води, з декількох «парашутиків» з клітинами, що висять під ними; 2 – конічні «парашутики» крематохлорісу (*Kremastochloris*) на поверхні води з підвішеними до них клітинами

середовищі). Як правило, до складу плейстону відносять тваринні організми, а з рослин, наприклад, саргасові водорості.

До *бентосних* (донних) водоростей належать рослини, пристосовані до існування в прикріпленому стані на дні водойм і на різноманітних предметах і організмах, що знаходяться у воді. Залежно від місця росту серед бентосних водоростей розрізняють:

1) *епіліти*, які ростуть на поверхні твердого ґрунту (скелях, каменях і т. д.);

2) *епіпеліти* – населяють поверхню пухких ґрунтів (пісок, мул);

3) *епіфіти* – живуть на поверхні інших водних рослин;

4) *ендоліти*, або *свердлячі водорості*, що угвинчуються у вапняний субстрат (скелі, черепашки молюсків, панцирі ракоподібних);

5) *ендофіти* – поселяються в таломах інших водоростей, але, на відміну від паразитичних видів, мають нормальні хлоропласти;

б) *паразити*, що живуть в таломат інших водоростей, хлоропласти в клітинах не виражені.

Іноді водорості, що ростуть на предметах, споруджених людиною у воді (судна, плоти, буй), відносять до групи *перифітону*. Це обґрунтовують практичними міркуваннями: це обростання, які можуть заподіювати практичний збиток, — зменшувати швидкість суден, засмічувати водозабірні отвори і трубопроводи.

Для росту бентосних водоростей особливо важливе світло. Але ступінь його використання залежить від інших екологічних чинників: температури, вмісту біогенних речовин, кисню і неорганічних джерел вуглецю, а головне — від темпів надходження цих речовин в тіло рослини, що залежить від концентрації речовин і швидкості руху води. Як правило, місця з інтенсивним рухом води відрізняються значним розвитком бентосних водоростей.

Переважаючими бентосними водоростями континентальних водойм є діатомові, зелені, синьозелені і жовтозелені нитчасті водорості, прикріплені або не прикріплені до субстрату. Це види таких родів: навікула (*Navicula*), діатома (*Diatoma*), гіросигма (*Gyrosigma*), кладофора (*Cladophora*), едогоніум (*Oedogonium*), улотрикс (*Ulothrix*), спірогіра (*Spirogyra*), мужоція (*Mougeotia*), зигнема (*Zygnema*), осциляторія (*Oscillatoria*), лінгбія (*Lyngbya*), формідіум (*Phormidium*), трибонема (*Tribonema*), вошерія (*Vaucheria*) та ін.

Основні бентосні водорості морів і океанів — бурі і червоні, іноді зелені макроскопічні, прикріплені сланеві форми. Це види родів бангія (*Bangia*), фукус (*Fucus*), порфіра (*Porphyra*), філофора (*Phyllophora*), ентероморфа (*Enteromorpha*), ламінарія (*Laminaria*) та ін. Всі вони можуть обростати дрібними діатомовими, синьозеленими і іншими водоростями.

Водорості снігу і льоду. Серед кріофільних водоростей переважають зелені, синьозелені і діатомові. Розвиваючись в масовій кількості, вони можуть викликати зелене, жовте, блакитне, червоне, коричневе, буре або чорне «цвітіння» снігу або льоду. Зелене забарвлення снігу викликає рафідонема

(*Raphidonema nivale*), червоне — хламідомонада (*Chlamydomonas nivalis*), коричневе — анциломема (*Ancydonema nordenskioldii*). Ці водорості знаходяться в поверхневих шарах снігу або льоду та інтенсивно розмножуються при температурі близько 0°C. Лише небагато з них мають стадії спокою, більшість позбавлені будь-яких спеціальних морфологічних пристосувань для переживання низьких температур.

Аерофільні водорості (аерофітон). Основним життєвим середовищем цих водоростей є повітря. В аерофільних угрупованнях на поверхні різних твердих субстратів (скелі, камені, кора дерев і т. д.) виявлено близько 300 видів. Залежно від рівня вологості їх розділяють на дві групи: *повітряні водорості*, що мешкають в умовах лише атмосферного зволоження і, отже, зазнають постійної зміни зволоження і висихання; *водно-повітряні водорості*, що зазнають постійного зволоження (під бризками водоспадів, прибою і т. д.).

Грунтові водорості (едафон). Основним середовищем існування едафогільних водоростей є поверхня і товща ґрунту.

Для попередження висихання ґрунтові водорості мають здатність до утворення слизу — слизистих колоній, чохла і обгортки. Завдяки наявності слизу водорості швидко поглинають воду при зволоженні і запасують її, уповільнюючи висихання. Характерною рисою ґрунтових водоростей є «ефемерність» їх вегетації — здатність швидко переходити зі стану спокою до активної життєдіяльності і навпаки.

За систематичним складом ґрунтові водорості досить різноманітні. Найбільшою кількістю видів представлені ціанеї і зелені водорості. Меншу різноманітність мають представники відділів жовтозелених і діатомових водоростей. Ще рідше зустрічаються еугленові, золотисті, динофітові і червоні.

Літофільні водорості (ендолітофітон). Основним життєвим середовищем літофільних водоростей є непрозорий щільний вапняковий субстрат. Літофільні водорості живуть у глибині твердих порід певного хімічного складу. Залежно від фізіологічних особливостей, розрізняють дві групи літофільних угруповань: *свердлярчі водорості*, що активно угвинчуються в кам'янистий субстрат і заселяють дрібні ходи та пори, утворені

ними в кам'янистій породі; *туфоутворюючі водорості*, що відкладають навколо свого тіла вапно і мешкають у периферичних шарах цього середовища, в межах доступності світла і води. У міру наростання відкладень ці ценози поступово відмирають.

Водорості-паразити. Безбарвні паразитичні види, які мешкають у кишечнику червів, копепод, амфібій, на зябрах риб, відомі серед евгленових і динофітових водоростей (види родів бластодініум (*Blastodinium*), синдініум (*Syndinium*), іхтіодініум (*Ichtyodinium*), трихомонас (*Trichomonas*) та ін.)

Водорості-ендосимбіонти. Зелена водорість з роду картерія (*Carteria*), поселяється в епідермальних клітинах в'язного черва *Convoluta roscoffensis*, один вид роду хлорела (*Chlorella*) — у вакуолях деяких інфузорій, а види роду хлорокок (*Chlorococcum*) — у клітинах криптофітової водорості ціанофори (*Cyanophora paradoxa*). Ендосимбіонти зазвичай зазнають значних морфологічних змін у порівнянні з вільноживучими представниками того ж роду (клітинна оболонка редукується, будова джгутиків спрощується), проте вони не втрачають здатності до фотосинтезу і розмноження усередині клітин господаря.

Завдання

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, лупа, мікроскопи, фільтрувальний папір, зразки води і гідробіонтів.

Порядок роботи:

- а) Розглянути під лупою відібрані з річки Устя та Басівкутського водосховища зразки води і перифітону, описати виявлені види водоростей і якомога точніше встановити систематичне положення виявлених видів.
- б) Готують препарат фітопланктону і досліджують його під мікроскопом (вільноплаваючих у товщі води дрібних, переважно мікроскопічних рослин, основну масу яких складають водорості).
- с) Готують препарат перифітону. Для цього на середину предметного скла скляною паличкою наносять шматочок зскобленого обростання з поверхні підводного предмета

- (каменя, деревини або зануреної рослини). Замальовують в альбомі розгалужені багатоклітинні таломі водоростей.
- d) Замалювати пристосування різних екологічних груп водоростей (рис. 6.1-6.3).
- е) Використовуючи рекомендовану літературу, заповнити таблицю 6.1. Основні екологічні групи водоростей водних місцевостань (гідрофітон)

Екологічна група водоростей	Особливості середовища існування	Пристосування водоростей	Представники
Фітопланктон			
Фітонейстон			
Фітобентос			
Перифітон			

2. Використовуючи рекомендовану літературу, заповнити аналогічну таблицю 6.2. Основні екологічні групи водоростей неводних місцевостань

Використані джерела

1. Водорості. Довідник / Вассер С.П., Кондратьєва Н.В., Масюк Н.П. та ін. К.: Наук. думка, 1989. 608 с.

7. ПРИСТОСУВАННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН РІЗНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ГРУП

Мета заняття: встановити пристосування вищих водних рослин до середовища існування і особливості будови представників різних груп водних і повітряно-водних рослин.

Теоретична частина. Водне середовище має ряд особливостей, до яких у рослин виробились різноманітні пристосування (редукція продихів, добре розвинута аеренхіма, відсутність кутикули тощо). Вищі водні рослини (ВВР) є вторинноводними організмами – наземними рослинами, що пристосувалися до життя у воді. Їх види належать до самих різноманітних і віддалених одне від одного родин.

Основні пристосування вищих рослин до водного середовища існування:

- 1) переважання вегетативного розмноження;
- 2) посилений ріст, порівняно з наземними рослинами;

- 3) недорозвинутість або відсутність деревини в стеблах;
- 4) редукція кореневої системи або зміна її функцій;
- 5) порівняно велика площа поверхні тіла для кращого газообміну, відсутність диференціації паренхіми на палисадну і губчасту;
- 6) гетерофілія;
- 7) виділення слизу спеціальними залозками, що запобігає вимиванню поживних речовин з рослини;
- 8) переважна більшість ВВР є багаторічниками.

За класифікацією В. Г. Папченкова (1995, 2001), екологічну структуру водної флори представляють три екотипи: гідрофіти, гелофіти і гірогелофіти (рис. 7.1).

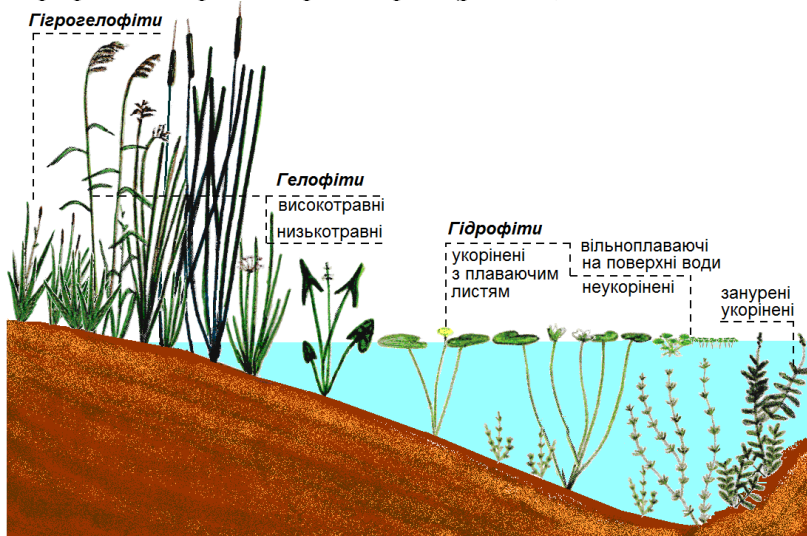


Рис. 7.1. Екологічні групи водних рослин

Гідрофіти (гр. *hydro* — вода, *φυτόν* — рослина) — це наземно-водні (повітряно-водні) рослини, що частково занурені у воду і зростають вздовж берегів, на мілководді, на болотах. У них, краще ніж в гідатофітів, розвинуті провідні та механічні тканини, добре виражена аеренхіма, досить висока інтенсивність транспірації. До цієї групи відносяться такі

рослини, як очерет звичайний, калюжниця болотна, частуха подорожникова, бобівник трилистий та інші види.

Гелофіти (від дав.гр. ἕλος (helos) — болото, φυτόν — рослина) — це рослини боліт і заболочених або надмірно зволжених ґрунтів. Вони мають свою екологічну специфіку, яка забезпечує їхню життєдіяльність у гідрологічно екстремальних умовах. Лімітуючими ознаками у них є надмірне зволоження та нестача кисню. За високої вологоємності й недоступності кисню відмерлі рештки повністю не розкладаються і консервуються у вигляді природного біогенного матеріалу – торфу. Його наростання протягом тисячоліть обумовило нагромадження у формі торфових покладів боліт, запаси яких використовують у сільському господарстві у вигляді добрив, підстилки, торфоперегнійних горщечків.

Гідатофіти (гр. hidatos — вода, волога + гр. phyton — рослина) — види рослин, що повністю або значною мірою занурені у воду. До групи гідатофітів відносяться такі рослини, як елодея канадська, рдесники, кушир, водяний жовтець, жабурник. Рослини, які повністю занурені у воду, а над поверхнею підносяться лише генеративні органи, називають *еугідатофітами* (кушир, рдесники, водопериця, елодея).

Серед гідатофітів є рослини, листки яких плавають на поверхні води. Частина вільно плаває на поверхні води – *плейстофіти* (ряска мала, спіродела багатокоренева), а інші укорінені – *нейстофіти* (латаття біле, глечики жовті).

Завдання

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, лупа, мікроскопи, фільтрувальний папір, гербарій і живі зразки рослин.

Порядок роботи:

- a) Вивчити надані викладачем гербарні матеріали і визначити систематичне положення кожного виду вищих водних рослин
- b) Використовуючи рекомендовану літературу, живі і гербарні зразки, фото і малюнки рослин, ознайомитись із особливостями будови водних рослин. Звернути увагу на порівняно великі розміри прибережно-водних рослин –

- очерету звичайного, рогозів широколистого і вузьколистого, комишу озерного.
- с) Роздивитися свіжі екземпляри і гербарні зразки занурених водних рослин. Звернути увагу на м'якість їх стебел і листків. Листки куширу зануреного, водопериці колосистої дуже розсічені.
 - д) Дослідити будову листків стрілолиста, жабурника, латаття та глечиків.
 - е) Використовуючи електронний ресурс Root System Drawings (див. електронні джерела 5), ознайомитися з рисунками кореневої системи водних і повітряно-водних рослин.
 - ф) Виконати малюнки згаданих рослин і зробити висновки.

8. «ЦВІТІННЯ» ВОДИ ЯК ГІДРОБІОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОБУМОВЛЕНИЙ ЕВТРОФІКАЦІЄЮ

Мета заняття: ознайомитися з основними причинами евтрофікації і «цвітіння» води, дослідити проби води і оцінити загрози щодо виникнення «цвітіння».

Теоретична частина. Явище *евтрофікації (евтрофування)* полягає в збагаченні води біогенними елементами, особливо азотом і фосфором, унаслідок чого зростає первинна продукція органічної речовини завдяки інтенсифікації фотосинтезу водоростей і вищих водних рослин.

Вміст біогенних речовин у водних екосистемах може збільшуватися унаслідок

автохтонних процесів (природна евтрофікація) – розклад органічних речовин, азотфіксації і переходу у воду біогенних елементів, похованих в донних відкладеннях, і унаслідок надходження біогенних речовин ззовні,

алохтонних процесів (антропогенна евтрофікація) – вимивання з полів, надходження стічних вод тваринницьких комплексів, комунально-побутових і промислових стічних вод, що несуть значну кількість азоту і фосфору.

Причиною прискореної евтрофікації може стати зарегулювання річкового стоку, коли велика кількість біогенних елементів вимивається із затоплених ґрунтів.

За джерелами надходження біогенів можна виділити три типи антропогенної евтрофікації:

урбогенна, що виникає унаслідок скидання неочищених від сполук фосфору і азоту міських стічних вод;

агрогенна, причиною якої є вимивання ґрунтовими водами і дощовими змивами мінеральних добрив з сільськогосподарських угідь;

зоогенна, до якої призводить забруднення водойм стоками тваринницьких ферм або багаторазовий водопій і купання великих стад худоби.

У ставових рибних господарствах при великій щільності посадки риб евтрофікація може бути наслідком накопичення фосфорних і азотних сполук, що екскретуються рибами. Крім того, в ставових господарствах евтрофікацію створюють цілеспрямовано шляхом внесення мінеральних добрив для підвищення кількості планктону – основного корму риб.

Основними ознаками евтрофікації водойм є збільшення біомаси фітопланктону або інших автотрофних організмів (фітомікробентос, нитчасті водорості), масовий розвиток водоростей до рівня «цвітіння» води, зменшення концентрації розчиненого кисню на завершальному етапі вегетації – при масовому відмиранні водоростей та інших організмів. Залежно від кількості біогенів, що надходять у водну екосистему, може прискорюватися перехід оліготрофних водойм у мезотрофні і евтрофні.

Водорості і вищі водні рослини під час надходження до водного середовища азоту і фосфору здатні накопичувати ці елементи в значній кількості. У цьому полягає одна з найважливіших особливостей біології водоростей, яка слугує основою механізму розвитку евтрофікації.

У непроточних або малопроточних *лентичних* екосистемах евтрофікація приводить до масового розвитку водоростей. Між здатністю водоростей до накопичення біогенних елементів і їх потенційними можливостями до масового розвитку існує прямий кореляційний зв'язок. Тому зі зростанням вмісту цих елементів в екосистемі створюються сприятливі умови для масового розвитку фітопланктону, утворення первинної

органічної речовини і збагачення водного середовища киснем.

Нарощування біомаси фітопланктону певною мірою позитивно впливає на функціонування водних екосистем: підвищується кормова база для гідробіонтів наступних трофічних рівнів, чисельність і біомаса гетеротрофів. Але з часом між нарощуванням біомаси фітопланктону, утворенням органічної речовини і кількістю кисню, що витрачається на біологічну деструкцію і хімічне окиснення органічної речовини, виникає дисбаланс. Органічної речовини утворюється більше, ніж можуть розкласти мікроорганізми; накопичується органічна речовина, що забруднює водні маси; в той же час стимулюється подальше зростання біомаси фітопланктону, що ще більше поглиблює і прискорює процес евтрофікації.

У евтрофованих водоймах істотно змінюються фізико-хімічні властивості середовища:

- підвищується вміст біогенних і органічних речовин,
- знижується рівень насичення води киснем,
- в придонних шарах води з'являються анаеробні зони,
- зростає каламутність і зменшується прозорість води.

Накопичення надмірної кількості органічних речовин у донних відкладеннях мулу супроводжується утворенням метану, водню, сірководню, аміаку, які можуть виділятися у вигляді бульбашок. При розчиненні у воді ці речовини додають їй неприємний запах і мають токсичну дію на риб і безхребетних, особливо взимку за наявності крижаного покриву, що сприяє виникненню нестачі кисню у воді і масовій загибелі риб.

У високоевтрофних водоймах для більшості водних тварин створюються несприятливі умови існування. Зменшується видове різноманіття промислових цінних видів риб. У місцях концентрації і розкладання водоростей масово гине риба унаслідок отруєння продуктами розкладу цих водоростей і дефіциту кисню, викликаного їх гниттям.

Проте, слід сказати, що масштаби і швидкість розвитку евтрофікації не завжди визначаються тільки надходженням біогенних елементів. Цей процес залежить ще і від інтенсивності водообміну, глибини водойми, об'єму води і рівня кисневого насичення водних мас. У глибоких водоймах з достатнім

водообміном евтрофікація відбувається дуже поволі, тоді як в малопроточних і неглибоких водоймах вона протікає прискорено.

Антропогенна евтрофікація охоплює всю більшу кількість водних об'єктів, розташованих на різних континентах Землі. Наслідком є посилення «цвітіння» води або масовий розвиток нитчастих (бентосних) водоростей в озерах і водосховищах.

Для попередження евтрофікації найважливішими заходами є наступні:

- обмеження забруднення водойм біогенними елементами шляхом очищення міських стічних вод,
- створення водоохоронних зон по берегах річок, озер і водосховищ.
- фітомеліорація, тобто культивування вищої водної рослинності в прибережних зонах для затримання біогенних елементів з полів, тваринницьких ферм і населених пунктів.

«Цвітіння» води. Однією з найважливіших біологічних особливостей ціаней є здатність до накопичення азоту і фосфору при їх надходженні у водне середовище в значній кількості. Наявність цих елементів у воді стимулює розмноження клітин водоростей, потенційні можливості яких до поділу надзвичайно високі. Так *Microcystis aeruginosa* впродовж вегетаційного сезону може утворювати від однієї клітини до 10^{20} нащадків. Тому збагачення води біогенними речовинами, особливо азотом і фосфором, викликає масовий розвиток водоростей. У високоевтрофних водоймах видове різноманіття флори збіднене. Переважають, в основному, декілька видів водоростей, що створюють значну біомасу.

У морях унаслідок масового розвитку водоростей спостерігаються так звані «червоні припливи». Причиною їх виникнення є деякі золотисті і динофітові водорості, що виділяють дуже небезпечні для риб і багатьох безхребетних токсичні речовини.

У континентальних водоймах, особливо в слабопроточних водосховищах, найбільше значення в розвитку фітопланктону до рівня «цвітіння» води мають ціаней (синьозелені водорості), в першу чергу види родів *Aphanizomenon* і *Anabaena*. «Цвітінням» це явище називається тому, що унаслідок масового розвитку

планктонних водоростей вода набуває забарвлення (синьо-зеленого, зеленого, червоного, буро-жовтого) залежно від пігментації видів-збудників. Розвиток ціаней до рівня «цвітіння» лімітується вмістом фосфатів, швидкістю течії і каламутністю води. Цим пояснюється той факт, що в швидкоплинних і каламутних річках «цвітіння» води практично не буває.

Екологічний механізм «цвітіння» води складний і обумовлений взаємодією природних і антропогенних чинників. До останніх відноситься зарегулювання річкового стоку наприклад таких рівнинних річок, як Дніпро і Дністер. Після zalivanja великих площ суші, в результаті переходу у воду біогенних речовин і утворення мілководних застійних зон, де вода інтенсивно прогривається і слабо перемішується, створюються сприятливі екологічні умови для масового розвитку ціаней.

Розрізняють різні ступені «цвітіння» води залежно від кількості біомаси, що утворюється:

- в межах 0,5-0,9 мг/дм³ – слабе «цвітіння»,
- 1,0-9,9 мг/дм³ – помірне,
- 10-99,9 мг/дм³ – інтенсивне,
- «гіперцвітіння», коли біомаса перевищує більше 100 мг/дм³.

Під час масового розвитку фітопланктону на поверхні водойм утворюються слизоподібні плівки, при злитті яких формуються «плями цвітіння». У них можна виділити планктонну, нейстонну і гіпонеїстонну зони, що займають різні горизонти водної поверхні, а за забарвленням у межах «плям» змальовуються зони зеленої, блакитної, бурої і білої плівок, де водорості знаходяться на різних етапах деструкції. Разом з основною колонією мікроцистиса в таких плівках зустрічаються значно менші скупчення інших видів водоростей (наприклад, афанізоменона), а також бактерії різних фізіологічних груп і віруси. Ці мікроорганізми утилізують органічні речовини відмерлих і відмираючих водоростей. Отже, «плями цвітіння» є досить складними утвореннями (альго-бактеріальними), в яких протікають переважно деструкційні процеси розкладання біомаси.

Залежно від напрямку вітру великі маси водоростей можуть зганятися до берегів водосховища. Так, в Кременчуцькому водосховищі нагони прямують переважно до південно-західного берега, а маса таких нагонів може досягати 500 кг/м³. Тут виникають зони заморів, оскільки в альго-бактеріальних скупченнях є токсичні сполуки і спостерігається нестача кисню.

Організми зоопланктону не можуть спожити багатоклітинні ціанеї, які викликають «цвітіння», через їх великий розмір, крім того, їх відлякують екзометаболіти. Риби уникають скупчень ціанеї з тих же причин. З представників аборигенної іхтіофауни Дніпра практично жоден вид не споживає ціанеї, що дає їм можливість розмножуватися відповідно до свого величезного біотичного потенціалу.

Отже, «цвітіння» води – це екосистемне явище, пов'язане, перш за все, з перетворенням проточних (лотичних) екосистем в стоячі (лентичні) і що має глибоке коріння в еволюційній історії гідросфери.

Завдання

Обладнання і реактиви: скляний лабораторний посуд, лупа, мікроскопи, фільтрувальний папір, зразки води і гідробіонтів.

Порядок роботи:

- a) Готують препарат фітопланктону з водойми, вода якої схильна до «цвітіння». Для цього на середину предметного скла скляною паличкою наносять краплю відфільтрованої води, відібраної з Басівкутського водосховища на річці Устя. Покривне скло тримають похило, прагнучи не забруднити пальцями. Спочатку торкаються до краплі тільки ребром, а потім рівномірно опускають. Зайву воду видаляють шматочком фільтрувального паперу.
- b) Досліджують під мікроскопом склад фітопланктону (вільноплаваючих у товщі води дрібних, переважно мікроскопічних, рослин, основну масу яких складають водорості). Підраховують кількість клітин водоростей, які потрапили у поле зору.
- c) Замальовують представників ціанеї і еукаріотичних водоростей, які викликають «цвітіння» води.

d) За результатами лабораторної роботи роблять висновки.

Використані джерела

1. Водорості. Довідник / Вассер С.П., Кондратьєва Н.В., Масюк Н.П. та ін. К.: Наук. думка, 1989. 608 с.
2. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

9. ТОКСИЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ТА ЙОГО ОЦІНКА МЕТОДАМИ БІОТЕСТУВАННЯ

Мета заняття: ознайомитися з можливостями використання методів біотестування у водній токсикології, основними поняттями теорії біотестування.

Теоретична частина. Історично склалося так, що токсичний вплив на гідросферу почали вивчати не на екосистемному рівні, а на рівні окремого організму. Це відповідало як станові гідробіології в першій половині ХХ ст., так і загально токсикологічному (медико-ветеринарному) підходу до вивчення дії хімічних речовин на живий організм (Олексів та ін., 1995).

Тому спочатку з'явилась «токсикологія водних організмів», а пізніше — інші підходи і відповідно інша термінологія (водна токсикологія, іхтіотоксикологія, порівняльна токсикологія, рибогосподарська токсикологія, екологічна токсикологія тощо).

При оцінці дії токсикантів на живий організм вихідною альтернативою є протиставлення двох біологічних феноменів: «життя-смерть» і «норма-патологія». Це означає, що реакцією на отруйні речовини є або смерть організму, або порушення життєво важливих функцій (обміну речовин, живлення, газообміну, росту, розмноження, нервово-рефлекторної діяльності, поведінки тощо). Перехід у хворобливий, патологічний стан має три варіанти:

- повернення до норми;
- смерть;
- перехід у тривалий (хронічний) патологічний стан, який врешті призводить до смерті.

Таким чином, першим і основним критерієм токсичності є смерть отруєного організму (Олексів та ін., 1995).

Диференціація «живого» і «мертвого» нескладна стосовно високоорганізованих форм життя, однак є непростою щодо нижчих організмів (одноклітинні і колоніальні водорості, мікроорганізми) і вимагає використання спеціальних методик (забарвлення спеціальними барвниками, люмінесцентна мікроскопія, флуориметрія, вибіркоче, або селективне забарвлення тощо).

Смерть як така є тільки якісним критерієм. Для кількісної оцінки дії токсикантів за критерієм смертельної дії на популяційному рівні розроблені статистичні підходи, які становлять спеціальний розділ токсикології – *токсиметрію*. Основним токсиметричним поняттям є смертність (або обернена до неї величина – виживання). Вона характеризується статистично вірогідним відсотком загибелі особин із певної кількісно обґрунтованої вибірки представників одного виду, однакових за віком, розмірами і масою тіла (Олексів та ін., 1995). Смертність (або виживання) залежить від дози токсичної речовини, тобто її маси, яка припадає на одиницю маси живого організму (індивідуума), і від тривалості дії, тому залежність смертності від дози виражається кривою "доза-ефект", що однозначно (за стабільних умов) характеризує токсичність певної речовини для даного організму.

Концентрація (доза) токсиканта та токсичність. Розрізняють мінімально допустиму концентрацію або дозу МДК, МДД (LC_0 або LD_0), летальну (LC_{100} або LD_{100}), при якій гине 100% піддослідних об'єктів. Ці концентрації (або дози) встановлюють в одно-, дво-, три- і чотиридобових дослідах і позначають відповідно LC_{100}^{24} , LC_{100}^{48} , LC_{100}^{72} , LC_{100}^{96} .

Основним показником токсичності визнана медіанна летальна концентрація (доза) – LC_{50} (LD_{50}), переважно за 48 годин LC_{50}^{48} розрахована статистично за спеціальними методами, які розроблені в загальній токсикології.

Величина, обернена LC_{50}^{48} , тобто $1/LC_{50}^{48}$ називається токсичністю. Вона виражається в мг/л, мкг/л, мг.екв або в

молях (мікро-, мілімолях). Якщо маса об'єкта дослідження відома, то оперують поняттям медіанна летальна доза (LD_{50}).

Основні поняття теорії біотестування. Найчастіше під час біотестування використовують наступні поняття: біотест, тест-об'єкт, тест-функція, тест-реакція, тест-система.

Біотест – дослід, в якому зіставляються реакції певного організму в умовах токсичного забруднення і в чистому середовищі (контроль). Токсичну дію виявляють за певними показниками (критерієм токсичності), якими є або смертність піддослідних об'єктів, або вірогідні порушення життєво важливих функцій (обміну речовин, фотосинтезу рослин, дихання, поведінки тощо).

Вірогідна (статистично обґрунтована) різниця між кількісними показниками досліду і контролю (в %) свідчить про глибину ушкодження, якого завдає живим організмам тестована субстанція.

Щоб отримати вірогідні дані, придатні для статистичного опрацювання, біотест виконують у кількох повтореннях, кількість яких визначають за принципом необхідної достатності.

Тест-об'єкт – організм або тест-культура (наприклад культура водоростей або інфузорій), які використовуються для проведення біотесту. Розрізняють тест-об'єкти індикаторні, що мають загальне застосування (наприклад *Daphnia magna*), та представницькі, які є характерними для біоценозів певного регіону або водного об'єкта і можуть бути найефективніше застосовані саме в даному регіоні (наприклад деякі молюски і ракоподібні). Тест-об'єкти, що є певною лабораторною популяцією, культивованою за стандартними прописами (наприклад, інфузорії або протококові водорості), називають *тест-культурами*.

Тест-функція – функціональний показник, що реагує на токсичний вплив і може бути вимірний кількісно за допомогою певного методу. Найчастіше виражена тест-функція – це повне припинення життєдіяльності тест-об'єктів, тобто смерть, яка характеризує гостру токсичність. Як тест-функції, що свідчать про пригнічення життєдіяльності, використовують численні фізіологічні, біохімічні і біофізичні показники, які

надійно характеризують зміну інтенсивності життєдіяльності гідробіонтів.

Тест-реакція – кількісний вираз зміни тест-функції.

Для вивчення токсичності складних stokів використовують тест-системи, тобто набір біотестів, що характеризує впливи багатокomпонентних забруднювачів на різні функції гідробіонтів різних трофічних рівнів (водорості, мікроорганізми, безхребетні, риби).

Процедура виконання біотестів за певними методичними рекомендаціями називається *біотестуванням*.

Біотести характеризуються основними показниками:

- а) час відгуку, або експресність;
- б) чутливість, тобто мінімальна концентрація токсиканта, яка може викликати тест-реакцію;
- в) відтворюваність, тобто можливість отримання однозначних наслідків при стабільних умовах біотестування;
- г) точність;
- д) інструменталізованість;
- є) економічність, доступність для масового використання.

Гострі біотести застосовують для виявлення гострої токсичності досліджуваної води або речовини за розглянутими таксиметричними критеріями. Вони тривають 24, 48 або 96 годин, переважно 48. Хронічні досліді проводять на гідробіонтах з коротким життєвим циклом для визначення впливу токсиканта на відтворювальну здатність (репродукцію) гідробіонтів у ряді поколінь (не менше трьох), тобто виходять на популяційний рівень. Тривалість дослідів – до місяця і більше.

Вказані принципи токсиметрії покладені в основу біотестування.

Стандартні тест-об'єкти. Оцінку реальної біологічної небезпеки дії окремих речовин ускладнює багатоманітність видового складу флори і фауни природних вод. Кожен вид має свою специфічну чутливість або резистентність до кожної окремої речовини. Тому коливання летальної дози у гідробіонтів різного систематичного положення надзвичайно широкі.

Загальноприйнятим стандартним тест-об'єктом є *Daphnia magna*. Він запропонований у 1934 р. шведським вченим Е. Науманном як універсальний тест-об'єкт і успішно апробований у багатьох країнах. У США, Франції, Німеччині і деяких інших країнах розроблені стандарти на лабораторні культури цього рачка і техніку виконання біотестів з ними.

Переваги біотестування:

1. Можливості біотестів багатогранні, оскільки їх використовують:

а) як базу для визначення рибогосподарських ГДК;
б) для попереднього відсіву (скринінгу) найбільш небезпечних і високотоксичних речовин, що пропонуються для впровадження;

в) для оцінки токсичності стічних вод;

г) для оцінки токсичності природних вод, забруднених стічними водами або сільськогосподарськими стоками;

д) для іхтіологічної експертизи у випадках отруєння і масової загибелі риб, а також для судово-медичної експертизи;

є) для оцінки токсичності ґрунтових і мулових витяжок.

2. Біотести доступні і дешеві (при використанні спеціально опрацьованих для практичних потреб модифікацій), не вимагають спеціальної підготовки виконавців.

3. Біотестування здійснюють, здебільшого, без будь-якого спеціального коштовного обладнання і реактивів.

4. Деякі біотести можна автоматизувати і використовувати як об'єктивні контролери на підприємствах, які скидають токсичні стічні води.

5. Біотестування дає змогу запровадити єдину стратегію контролю по всьому шляху стічних та інших токсичних вод – від місця зародження до осадження в донних відкладеннях і міграцій по водних шляхах і трофічних ланцюгах.

6. За допомогою хронічних біотестів можна виявити залишкову токсичність водних мас, яка не проявляється видимо у короткі строки, але є не менш небезпечною як фактор повільного вимирання гідробіонтів і генетичних порушень. Водночас багато тестів на гостру

токсичність експресні, дають змогу оцінити токсичність води за лічені секунди або хвилини.

Завдання

Обладнання і реактиви: культура дафній, вода питна відстояна, термометр, колби з притертою пробкою, об'єм 0,25 дм³ – 5 шт., з розчинами двохромовоокислого калію у концентраціях від 1 до 10 мг/дм³, колби з притертою пробкою, об'єм 0,25 дм³ – 5 шт., з розчинами оцтової або іншої кислоти з рН від 2 до 6, колби з притертою пробкою, об'єм 0,25 дм³ – 5 шт., з пробами стічної води, або води з річки Устя різного розведення, годинник, мірний циліндр - 0,1 дм³, посуд скляний для біотестування об'ємом 100-150 см³, сачок для пересаджування дафній, трубки скляні для відлову дафній, діаметром від 5 до 7 мм, олівець для скла.

Порядок роботи

- Розчини речовин і проби стічної води або з річки налити у посудини (дослід) по 100 см³ і підписати олівцем.
- Відстояну питну воду використовують як контроль.
- Повторюваність у досліді і контролі трикратна.
- За допомогою скляної трубки і сачка в кожен посудину помістити по 10 екз. дафній.
- Зафіксувати у зошиті температуру води і час початку біотестування.
- Тривалість досліду – 1 год.
- Через годину у кожній посудині підрахувати кількість живих дафній (вільно рухаються у товщі води або спливають з дна посудини після її легкого струшування не пізніше ніж за 15 с). Результати записати до табл.

Посудини	Концентрація (розбавлення)	Повтори	Кількість живих дафній, шт	Середнє арифметичне	Індекс токсичності
Контрольні		1			
		2			
		3			
Дослідні		1			
		2			
		3			

Опрацювати результати так:

- розрахувати середнє арифметичне кількості живих дафній з трьох повторів у контролі й досліді;
- розрахувати індекс токсичності за формулою (11.1):

$$A = (X_k - X_d / X_k) \times 100, \quad (11.1)$$

де А – кількість загиблих дафній, %;

X_к – середнє арифметичне кількості живих дафній у контролі, екземпляри;

X_д – середнє арифметичне кількості живих дафній у досліді,

Екземпляри (Методичні вказівки..., 2020).

Токсичність розчинів оцінюють да індексом А – якщо він становить 50 і більше відсотків, вважають, що розчин речовини (розбавлення води) виявляє гостру летальну токсичність (Методичні вказівки..., 2020).. Висновки занести до таблиці.

Використані джерела

1. Гідроекологічна токсиметрія та біоіндикація забруднень (теорія, методи, практика використання) / Олексів І. Т., Ялинська Н.С., Брагінський Л. П. та ін. / За ред. Олексіва І. Т., Брагінського Л. П. Львів: Світ, 1995. 440 с.
2. Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наук. Думка, 1994. 280 с.
3. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіук [та ін.]. К. : СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко [та ін.] ; за ред. В. Д. Романенка. К. : Логос, 2006. 408 с.
5. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Визначення токсичності води» з дисципліни «Екологія» для студентів усіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / уклад. Л.А. Васьковець, В. В. Березуцький, О.А. Максименко. Харків: НТУ «ХПШ», 2020. 28 с.
6. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

10. ВИВЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЗОНАЛЬНОСТІ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Мета заняття: ознайомитися з екологічними зонами Світового океану і морів, а також континентальних водойм.

Теоретична частина. Світовий океан займає 70,8 % земної поверхні і в ньому зосереджено 96,4 % всієї земної води. У структурі Світового океану і морів розрізняють три основні частини: прибережне мілководдя (*материкову обмілину*), перехідну зону від прибережного мілководдя до більших глибин океану (*материковий схил*) і основну глибоководну частину (*океанічне ложе*).

Океани і моря по вертикалі та горизонталі підрозділяються на окремі екологічні зони. Довколишня до морського дна зона називається *бенталь*, а товща води – *пелагіаль*. Найбільше екологічне і господарське значення має прибережна зона, або *літораль*, яка розповсюджується у бік моря до межі переходу в материковий схил приблизно на глибині 150-200 м. Саме тому двохсотметрову ізобату вважають межею материкової обмілини. Її площа, з урахуванням морів, складає по всій акваторії близько 8,0 % площі Світового океану.

Літоральну зону розділяють на:

а) *супралітораль* – прибережну морську смугу, яка заливається водою лише під час високих припливів і заплесків хвиль;

б) власне літораль (*еулітораль*), або припливно-відпливну смугу берега;

в) зону мілководдя, або *сублітораль*, що є нижньою межею літоралі і перехідну вглиб моря. Вона обмежується зоною розповсюдження фотосинтезуючих донних рослин.

Материковий схил (*батіаль*), його іноді називають підводним цоколем континентів, бере свій початок в тій частині дна, яка круто змінює кут нахилу і різко заглиблюється в океан (море) до переходу в *ложе*, або *абісаль*. Такий злам відбувається на глибині близько 3 км. Абісаль на глибині 6—7 км переходить в *ультраабісаль*.

Окрему екологічну зону складають донні відкладення морів і океанів, що утворилися впродовж тисячоліть або цілих геологічних періодів у результаті процесів, що протікають в земній корі, а також за рахунок відмирання великої кількості водних організмів, що осідають на дно у вигляді «дощу трупів». У різні геологічні періоди формувалися різні типи донних відкладень, найважливішими з яких є *глобігериновий*, *птероподовий* і *діатомовий* мули, червона глина і її різновид – радіолярієвий мул. Ці відкладення суцільним пластом покривають дно морів і океанів.

Пелагіаль (від грецьк. *pelagos* – відкрите море) – це товща води морів і океанів, яка є місцем існування водних організмів, не пов'язаних з дном водойми. Її межа тягнеться від літоралі до найвіддаленіших від берегів точок океану. Пелагіаль ділиться на три зони: *епіпелагіаль*, або шар води, що покриває материкову обмілину (глибина 0–200 м), *батіпелагіаль*, або товща води над материковим схилом, і *абісопелагіаль* – товща води над океанічним ложем.

Епіпелагіаль — найпродуктивніша зона морських екосистем. У її верхній частині найінтенсивніше протікають біологічні процеси (фотосинтез автотрофних організмів – фітопланктону) і створюється первинна органічна продукція, яка використовується тваринними організмами, що мешкають в батіпелагіалі, абісопелагіалі і бенталі. На глибині 2,5-3 км., біля підземних термальних вод, органічні речовини можуть утворюватися також у результаті хемосинтезу, здійснюваного хемотрофними бактеріями.

На поверхні морів формується тонка плівка (від 0,1 до 1 см), що містить велику кількість біогенних елементів. У цій плівці виявлені аліфатичні спирти, білки, жирні кислоти, полісахариди і інші органічні речовини. У ній активно розвиваються різні форми життя. Поверхневий (1 см) шар води поглинає до 20 % падаючої сонячної радіації, шар завтовшки 5 см – 40 %, а наступний завтовшки 10 см – 50 % сумарної радіації. Це і визначає високу біологічну продуктивність поверхневого шару морської води. Поверхневий шар завтовшки 5 см розглядається як мікроекосистема Світового океану. Він

виділений в *нейсталь*, а організми, що мешкають в цій зоні, називаються *нейстоном*.

Озера утворюються унаслідок заповнення поглиблень суші (улоговин) водою. Форма улоговин залежить від рельєфу місцевості і характеру їх утворення. Зазвичай вони формуються підводною терасою, яка поступово знижується від берега вглиб озера. На деякій глибині утворюється крутіший кут пониження (звал). Він займає велику частину дна озера і називається котлом. Сформоване таким чином дно озера розглядається як *бенталь*, в якій виділяються *літоральна* і *профундальна* зони.

Літораль – це мілководна зона, яка розповсюджується від берега до звалу, а *профундаль* охоплює більш глибоководну частину озера. Зазвичай літораль покрита вищою водною рослинністю (ближче до берега напівводною, далі від берега – плаваючою, а з наближенням до звалу – зануреною).

Між літоральною і профундальною зонами виділяється *сублітораль*, або перехідна зона, що охоплює площу найбільш глибоководного розповсюдження донної рослинності (5-7 м).

Під час вітрових коливань рівня води прибережна частина озера може заливатися водою. Ділянки узбережжя, які омиваються водою при хвиловому заплескуванні, і ті, які затоплюються, називаються *еуліторальною* екологічною зоною.

Водна товща озер, або *пелагіаль*, ділиться по вертикалі на *епілімніон*, *металімніон* і *гіполімніон*.

Водна маса у водоймах має характер стратифікованої тришарової гідрологічної структури, яка включає верхній прогрітий шар води (епілімніон), середній шар стрибка температури (металімніон) і нижній, найбільш холодний (гіполімніон). Таким чином, зона температурного стрибка, або термоклин, є шаром води, в якому вертикальні градієнти температури більш виражені у порівнянні з градієнтами вище або нижче розташованих шарів води. Термоклин формується в глибоких озерах, водосховищах, морях і океанах. У таких стратифікованих озерах і водосховищах погіршується обмін речовин і енергії між епі- і гіполімніоном.

У глибоких озерах *епілімніон* досягає глибини 5-8 м. Саме у цьому шарі під впливом вітру і конвекційних потоків

найінтенсивніше перемішуються водні маси. Тут відмічені найбільша кількість сонячної енергії і найвища концентрація мінеральних та органічних речовин, умови для розвитку бактерій, найпростіших і безхребетних тварин.

Для *металімніону* (8-14 м) характерним є різкий перепад температури води між епі- і гіполімніоном, у зв'язку з чим цю зону називають ще *термоклин*ом, або *шаром температурного стрибка*.

Гіполімніон – найбільш глибокі шари води, де температура літом не піднімається вище 5-10 °С. На такі глибини проникає мало сонячній радіації, і тому тут практично немає автотрофних організмів. Трансформація речовин і енергії в цій зоні відбувається, в основному, за рахунок відмерлої органічної речовини (детриту).

Екологічні умови в профундалі менш сприятливі для розвитку гідробіонтів, ніж у літоралі.

Період температурної стратифікації, при якому не відбувається циркуляція вод, називається *періодом стагнації*. У озерах і інших водоймах з повільним перебігом води такий стан може спостерігатися в зимовий і літній періоди року.

В період зимової стагнації тепліша вода зосереджується в придонних шарах, в період літньої – навпаки. Під час стагнації виникає *киснева дихотомія*, при якій вміст кисню в поверхневих шарах води значно вищий, ніж в глибинних.

Температурна стратифікація водойм є важливим екологічним чинником. Залежно від сезону року на різних глибинах від поверхні до дна водойм міняється температура води. Літом із збільшенням глибини вода холодніша, а взимку, навпаки, тепліша. При такій загальній тенденції сезонних змін температури води існують і деякі особливості зимового періоду в температурній стратифікації водойм. Вони пов'язані з різними фазами зимового періоду. Зокрема, фаза охолодження за відсутності льодового покриву на поверхні водойм характеризується теплішим придонним шаром води в порівнянні з поверхневим. І навпаки, фаза охолодження мас води під льодовим покривом має зворотну стратифікацію, тобто підлідні води стають теплішими, ніж придонні. Відбувається це

унаслідок віддачі тепла донними ґрунтами, підняття тепліших вод ближче до поверхні, де льодовий покрив захищає їх від охолодження. У таких шарах води міститься більше кисню, ніж у придонних, де інтенсивно проходять анаеробні процеси, пов'язані з розкладанням органічних речовин. У покритих льодом глибоких озерах і водосховищах риби і планктонні організми тримаються ближче до поверхневих шарів води.

У весняну фазу перемішування, коли відсутня температурна стратифікація в озері, гідробіоти, зокрема риби, розподіляються по всій товщі води.

У середині літа, коли чітко виявляється температурна стратифікація у водоймах і термоклин розділяє товщу води на більш насичену киснем верхню частину (епілімніон) і нижню частину (гіполімніон), де вода холодніша і менш насичена киснем, планктонні організми і риби зосереджуються у верхній частині водойми.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, ознайомитись із різноманітністю екологічних зон водних екосистем. Заповнити таблицю 10.1, характеризуючи екологічні зони морів і океанів, а також (окремо) озер.
2. З'ясувати зміст термінів "термоклин" і "стагнація" та значення температурного стрибка для функціонування водних екосистем.
3. Замалювати схеми екологічних зон водних екосистем.

Таблиця 10.1

Екологічна зона	Підзона	Межі розташування	Особливості поширення гідробіонтів

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

11. ВИВЧЕННЯ ТИПІЗАЦІЇ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЇХ ГІДРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Мета заняття: ознайомитися з різноманітністю водних об'єктів, їх гідрологічною характеристикою та фазами водного режиму.

Теоретична частина. Залежно від гідрологічного режиму всі водні об'єкти підрозділяються на такі групи: водотоки, водойми, підземні водоносні горизонти і артезіанські басейни та льодовики. З погляду гідроекології найцікавішими є екосистеми водотоків і водойм.

Водотоки характеризуються рухом води у напрямі ухилу у витягнутому поглибленні земної поверхні. Це – річки, струмки, канали, протоки між озерами або лагунами і морем. Розрізняють *постійні* водотоки, в яких відбувається перенесення водних мас протягом цілого року, і *тимчасові*, такі, що функціонують частину року.

Водойма – це скупчення безстічних або із сповільненим стоком вод у поглибленні земної поверхні. Водойми можуть бути як природні, так і штучні. *Природні* водойми – це океани, моря, озера, болота. *Штучні* – це водосховища на великих і малих річках, стави, водойми-охолоджувачі теплових і атомних електростанцій, накопичувачі атмосферних і підземних вод.

Структурно-функціональний стан водних об'єктів визначається загальною закономірністю змін рівня води, що повторюються, її об'ємів, швидкістю течії, характером хвилеутворення і іншими гідрологічними показниками.

Рівень води в річках і озерах, або висота водної поверхні річок і озер щодо якої-небудь умовної горизонтальної поверхні, є однією з найбільш інформативних характеристик стану водойм і водотоків. Рівень води в річках, озерах, водосховищах і інших водних об'єктах залежить від безлічі чинників, перш за все від сезонних атмосферних опадів. Літом, унаслідок їх меншого випадання і підвищеного випаровування, рівень води знижується, а восени, за рахунок більшої кількості дощів і зменшення випаровування, – зростає. Взимку, особливо в передвесняний період, рівень води мінімальний, а при таненні снігу і льоду він різко збільшується і досягає максимуму під час

повені. Такий режим властивий річкам, що живляться за рахунок дощових і талих вод. Для гірських річок характерне літнє підвищення рівня води.

Рівень води у *водосховищах*, які побудовані на річках і мають гідроелектростанції, регулюється відповідно до графіка їх роботи. Найбільш високий рівень води в річках спостерігається під час повені і паводка.

Повінь – це фаза водного режиму, що щорічно повторюється в один і той же сезон, яка характеризується найбільшою водністю, високим і тривалим підняттям рівня води. Причиною повені, зокрема на річках України, є весняне сніготанення. Повінь відіграє позитивну екологічну роль у функціонуванні річкових екосистем. Під час повені великі маси води промивають річкове русло, очищаючи його від накопичених за зиму відмерлих організмів, продуктів гниття і забруднюючих речовин. На річках, водність яких формується на значних гірських територіях (наприклад, на Дунаї), протягом року спостерігаються дві повені: весняна, після танення снігу в долинах, і літньо-осіння, обумовлене таненням снігу в горах і випаданням дощів.

На відміну від повені, *паводок* – швидке, порівняно короткочасне підняття рівня води, що виникає після рясних дощів або значного сніготанення унаслідок різкого потепління зимою. І повінь, і паводок можуть мати катастрофічні наслідки, якщо зростання рівня води в річках і водоймах значно перевищує їх можливість до накопичення або пропускання води. У Україні такі повені і паводки найчастіше спостерігаються в Карпатському регіоні. Особливо загострилася ця ситуація в Карпатах унаслідок вирубування лісів на схилах гір.

Формування водного стоку з водозбірної площі залежить від кліматичних чинників. Так, у посушливі сезони надходження води значно менше, ніж, наприклад, восени, коли йдуть часті дощі.

Кількість води, що протікає через поперечний перетин водотоку за деякий проміжок часу, називається *об'ємом стоку*. Він виражається в кубічних одиницях (км^3 , м^3) за добу, місяць, сезон або рік. Об'єм стоку характеризує *водність об'єкта* і

застосовується в гідрологічних і водогосподарських розрахунках. *Витрата води* – це кількість води, що протікає в одиницю часу через поперечний перетин водотоку, вимірюється зазвичай в м³/с.

Водність визначає цілий ряд важливих в екологічному відношенні параметрів водних екосистем. Так, при невеликій водності підвищується мінералізація води, знижується водообмін, формуються застійні зони в річках, що негативно впливає на життєдіяльність гідробіонтів.

Окрім сезонних змін водності, спостерігаються *багаторічні коливання стоку* – маловодні (50 % водозабезпечення), середньоводні (75 %) і багатоводні (95 %).

Водний баланс – це кількісна оцінка всіх форм надходження і витрати води на певній частині земної території (включаючи випаровування, інфільтрацію і ін.). У глобальному масштабі він є кількісним виразом кругообігу води на Землі. Водний баланс – один з найважливіших показників для характеристики водних екосистем, їх абіотичних компонентів (гідрологічна структура, хімічний склад води і т. п.) і біоти.

Водообмін – процес обміну води у водному об'єкті або заміщення одних водних мас іншими на окремих його ділянках. Залежно від розмірів водойми і кількості води, що надходить за одиницю часу, водообмін може продовжуватися дні, місяці, роки, десятки і навіть тисячі років. Наприклад, середній багаторічний період умовного відновлення запасів води Світового океану оцінюється в 2650 років. У найбільшому прісноводному озері Байкал цей процес займає близько 380 років. Період водообміну водосховищ Дніпра в середньому складає: Київського – 36 днів, Канівського – 20, Кременчуцького – 85, Дніпродзержинського – 18, Запорізького – 23, Каховського – 130 днів. У деяких водоймах вода оновлюється протягом декількох діб, наприклад в заплавах озер пониззя Дніпра.

Розрізняють зовнішній і внутрішній водообмін. *Зовнішній водообмін* – це водообмін з атмосферою (випаровування і надходження атмосферної води), з прилеглими ділянками мережі гідрографії і з ґрунтовими водами. Інтенсивність цих процесів виражається в кубічних кілометрах за рік (км³/год) або кубічних

метрах за секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) і характеризує загальну кількість води, що поступила у водний об'єкт або, навпаки, втрачену їм впродовж конкретного проміжку часу.

Внутрішній водообмін залежить від динамічних процесів, що протікають у водоймах, і є обміном водних мас усередині водного об'єкта між його окремими ділянками і шарами води. Зовнішній і внутрішній водообмін значною мірою взаємозв'язані між собою.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, ознайомитись із різноманітністю водних об'єктів. Скласти класифікаційну схему водних об'єктів.
2. Заповнити таблиці

Таблиця 11.1

Гідрологічний показник	Одиниці вимірювання	Визначення	Причини і наслідки змін

Таблиця 11.2

Фаза водного режиму	Причини виникнення	Наслідки для водних екосистем та господарства

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

12. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО, ТЕРМІЧНОГО І ЛЬОДОВОГО РЕЖИМУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття: ознайомитися з відмінностями температурного, термічного і льодового режимів водних об'єктів, їх значенням для функціонування водних екосистем.

Теоретична частина. Зміни температури води по акваторії і глибині впродовж певного проміжку часу називають *температурним режимом* водного об'єкта. Коливання температури води у водних екосистемах можуть бути добові, місячні, сезонні, річні і багаторічні. У таких випадках говорять про середньодобову, середньомісячну, середню сезонну і середню температуру за декілька років. Температура визначає особливості *термічного режиму* водойм. Під останнім розуміють не тільки зміни температури, але і запаси тепла, яке утримується водними масами. Якщо відома кількість води, що міститься у водному об'єкті, і її середньодобова (або за інший проміжок часу) температура, то можна обчислити його теплозапас – кількість тепла, що акумульована у водному об'єкті і перевищує її величину при температурі 0 °С.

Найбільші теплозапаси у водних об'єктах доводяться на кінець літа, коли добові втрати тепла майже дорівнюють величині його надходження з сонячною енергією. Різниця між максимальною і мінімальною величинами теплозапасу називається *тепловим запасом водойми*. Це дуже важливий в екологічному відношенні показник водного середовища. Встановлено, що між середньорічною, особливо весняно-літньою, температурою води і показниками росту риб, що мешкають в природних водоймах, існує прямий корелятивний зв'язок. Наприклад, якщо сума градусо-днів у вегетаційний період в місцях розташування рибницьких ставів складала 2000 і більше, то маса коропів дворічного віку досягала 450-500 г, а при прохолоднішому літі (1700-1800 градусо-днів) – не перевищувала 370 г. Така залежність обумовлена, з одного боку, інтенсифікацією метаболічних процесів в організмі риб, а з іншої – сприятливішими умовами для розвитку кормових організмів – водоростей і безхребетних тварин планктону і бентосу.

Відповідно до закону Вант-Гоффа, із зростанням температури тіла гідробіонтів на кожні 10 °С швидкість метаболічних реакцій подвоюється. Вплив температури на швидкість реакцій визначається коефіцієнтом (12.1):

$$Q_{10} = \left(\frac{k_1}{K_2} \right) \frac{10}{t_1 - t_2} \quad (12.1)$$

де k_1 , і k_2 – константи швидкості реакцій при температурах t_1 , і t_2 .

У біологічному діапазоні температур величина Q_{10} для багатьох метаболічних реакцій коливається в межах 2-2,5.

Порівнюючи споживання кисню водними тваринами, що знаходяться в активному стані і в стані спокою, можна визначити характерні для цих станів рівні обміну речовин за різних температурних умов. Наприклад, у молюска *Cardium* величини Q_{10} для активного стану і спокою рівні відповідно 1,84 і 1,2.

Водойми прогріваються за рахунок надходження на поверхню води сонячної енергії. Від температури водної поверхні залежить теплообмін з придонними шарами води. Причому, унаслідок нерівномірного нагрівання і охолодження води на різних глибинах відбувається розшарування водної товщі водойм спочатку за фізичними властивостями, а потім і за хімічними і біологічними характеристиками. Зміни температури води по акваторії і глибині бувають добові, сезонні, річні і багаторічні. Вони залежать, в першу чергу, від режиму надходження і поглинання сонячної енергії. Нагрітий поверхневий шар води перемішується з глибшими шарами за рахунок різноманітних гідродинамічних процесів.

Температурний режим водойм включає періоди денного і весняно-літнього нагрівання та нічного і осінньо-зимового охолодження. Завдяки таким коливанням температури відбувається динамічне перемішування водних мас. Періоди нагрівання і охолодження поверхневого шару приводять до формування на певній глибині шару температурного стрибка, або *термоклин*, густина води в якому зростає. Водна маса у водоймах має характер стратифікованої тришарової гідрологічної структури, яка включає верхній прогрітий шар води (епілімніон), середній шар стрибка температури (металімніон) і нижній, найбільш холодний (гіполімніон). Таким чином, зона температурного стрибка, або термоклин, є шаром

води, в якому вертикальні градієнти температури більш виражені в порівнянні з градієнтами вище або нижче розташованих шарів води. Термоклин формується в глибоких озерах, водосховищах, морях і океанах. У таких стратифікованих озерах і водосховищах погіршується обмін речовин і енергії між епі- і гіполімніоном.

Період температурної стратифікації, при якому не відбувається циркуляція вод, називається періодом *стагнації*. У озерах і інших водоймах з повільною течією води такий стан може спостерігатися в зимовий і літній періоди року.

В період зимової стагнації тепліша вода зосереджується в придонних шарах, в період літньої – навпаки. Під час стагнації виникає *киснева дихотомія*, при якій вміст кисню в поверхневих шарах води значно вищий, ніж в глибинних.

Термічний режим водойм залежить від їх географічного положення, клімату, характеру ложа і інтенсивності водообміну. Вони можуть сильно розрізнятися за гідрологічним і температурним режимом. Так, при інтенсивному перемішуванні води в неглибоких проточних водоймах може бути відсутньою температурна стратифікація, а температура водних мас залишатися рівномірною по всій їх товщі.

Залежно від особливостей температурної циркуляції протягом року водойми поділяють на *диміктичні* (мають два сезонні цикли перемішування води), *мономіктичні* (одне перемішування), *поліміктичні* (циркуляція відбувається постійно), *олігоміктичні* (циркуляція сповільнена або відбувається рідко) і *мероміктичні* (відбувається постійна стратифікація).

Гідрологічний режим водотоків і водойм з високою проточністю характеризується слабо вираженою прямою температурною стратифікацією літом і відсутністю або зворотним характером її взимку. Для таких водних об'єктів вирішальну роль в характері стратифікації відіграє температура води, що надходить. Незвичайний характер стратифікації полягає в тому, що взимку в проточних водних об'єктах ближче до поверхні піднімається тепліша вода.

У малопроточних водосховищах, до яких відносяться дніпровські, спостерігаються істотні просторові відмінності термічного режиму. В період весняного танення крижаного покриву при повній вертикальній гомотермії (рівномірний розподіл температури по акваторії водойми) температура води в мілководних зонах може перевищувати глибоководну на 4-5 °С. Відбувається це унаслідок надходження більш прогрітих вод з приток. У період же осіннього похолодання в найбільш глибоководних пригребельних частинах водосховищ температура води утримується на 2-3 °С вище, ніж у верхів'ях, куди надходить холодніша вода приток.

Температурна стратифікація водних мас у водоймах і водотоках створює умови для запобігання як перегріву, так і переохолодженню гідробіонтів, які мають можливість мігрувати в зони із сприятливішою температурою води.

У зв'язку з тим, що при взаємодії трьох простих молекул H_2O між ними залишаються досить значні порожнечі, лід легший за рідку воду, що і визначає його плавучість на поверхні водойм.

Лід, що вкриває водойми взимку, ізолює глибші шари води від замерзання. Нижче температура води утримується на рівні плюсових значень.

У неглибоких водоймах при лютих морозах може спостерігатися замерзання всієї товщі води до самого дна. У таких випадках риби і інші водні організми вмерзають в лід і, як правило, масово гинуть.

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

Льодовий режим. При зниженні температури до 0 °С і нижче на водоймах і водотоках утворюється крижаний покрив. Період замерзання починається з появи кристалічних структур води (лід) спочатку біля берега, де течія не така швидка і глибина промерзання води значно менша, ніж в глибоководній частині водойм. Розрізняють процес утворення криги, що приводить до появи плавучого льоду, і формування суцільного крижаного покриття. У першому випадку відбувається кристалізація води в окремих місцях, де температура падає до 0 °С і нижче. Потім поверхня водойм покривається суцільним льодом унаслідок змерзання окремих вогнищ льодових утворень.

Існує два типу крижаних покривів: статичний і динамічний. Перший характерний для слабопроточних мілководних і невеликих за площею водойм (озера, водосховища, стави, окремі застійні зони річок, каналів). Такий крижаний покрив має рівну поверхню і невелику початкову товщину. При динамічному типі замерзання через інтенсивне перемішування водних мас відбувається переохолодження всієї товщі води і занесення на глибину ядер кристалізації. Внаслідок цього кількість так званого внутрішньоводного льоду може перевищувати на певних етапах кількість льоду, який утворюється на поверхні озер і водосховищ з інтенсивним перемішуванням води. Динамічний тип крижаного покриття характерний для ділянок річок з швидкою течією. Як більш легкі в порівнянні з донною фазою води, такі глибоководні центри кристалізації спливають на поверхню, де і відбувається їх змерзання.

При дуже швидкій течії в гірських річках (понад 1,6-1,8 м/с) суцільний крижаний покрив може не утворюватися. При сильному охолодженню води внутрішньоводний лід не мерзне, а переноситься швидкими потоками води у вигляді локальних дрібних скупчень, які називають *шугою*. У гірських річках шуга руйнується на перекатах, а при перенесенні на ділянки з повільнішою течією збивається в окремі кулясті скупчення.

На початку зими наступає період замерзання водойм. Він характеризується появою різноманітних за формою крижаних

утворень і фаз розвитку льодового режиму. Утворення суцільного крижаного покриву, який стабільно тримається на поверхні водойм і водотоків, називають *льодоставом*.

Період льодоставу негативно впливає на живе населення водних об'єктів. Крижаний покрив ізолює воду від повітря, припиняє надходження атмосферного кисню, а після випадання снігу на поверхню льоду зменшується проникнення сонячної радіації. Згасає фотосинтез водоростей і вищих водних рослин, що різко уповільнює утворення кисню у фотосинтетичних реакціях і надходження його у водне середовище. На цьому фоні витрачання кисню бактеріями, водними рослинами і тваринами для підтримки своєї життєдіяльності різко прискорює розвиток кисневої недостатності (дефіциту). У найбільш суворі і тривалі зими *дефіцит кисню* буває настільки значним, що виникають *замори риб* і інших гідробіонтів, що супроводжуються їх масовою загибеллю. Такі явища в останні десятиліття неодноразово спостерігалися на дніпровських водосховищах і інших водоймах України. Ослабити ці негативні явища можна порушенням крижаного покриву або закачуванням повітря під лід в застійні зони водойм.

Навесні, з підвищенням температури повітря і води, лід починає танути. Танення починається з поверхні. У озерах і водосховищах при зменшенні товщини крижаного покриву на 25-50 % від первинної товщини лід починає ламатися і стає не суцільним. *Розтин* – це фаза льодового режиму, що характеризується руйнуванням крижаного покриву.

Сприяє розтину вітер, що часто зламає лід і відгонить його від берега, зміщуючи тим самим крижане поле. Утворюються вільні від льоду ділянки водойм, на яких з'являються вітрові хвилі. Вони, у свою чергу, прискорюють розтин льоду на всій поверхні водойм. Перенесення значних мас льоду, що відбувається при підвищенні рівня води і збільшенні швидкості течії, називається *льодоходом*.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати зміст та відмінності між поняттями "температурний" і "термічний" режими водойм, тепलोзапас, термоклин,

- температурна стратифікація; класифікацію водойм за особливостями температурної циркуляції.
2. Встановити залежність між величиною теплозапасу водойм і показниками росту риб.
 3. З'ясувати причини виникнення *кисневого дефіциту* у період льодоставу.
 4. Заповнити таблицю 12.1:

Таблиця 12.1

Фаза льодового режиму	Екологічні особливості цього етапу

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

13. ВИВЧЕННЯ РОЛІ ГІДРОФІЗИЧНИХ ЧИННИКІВ В ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ГІДРОБІОНТІВ

Мета заняття: ознайомитися з особливостями розселення організмів різних систематичних груп, залежно від зміни гідрофізичних та гідродинамічних чинників.

Теоретична частина. Турбулентне перемішування водних мас, їх температура, сонячна радіація і осадотворення відіграють вирішальну роль у формуванні якості води і біологічної продуктивності водних екосистем. Завдяки стічним і вітровим течіям забезпечується насиченість води киснем, прискорюється процес бактеріального розкладання (деструкції) органічних речовин, активізуються метаболічні процеси в організмі гідробіонтів, що позитивно впливає на їх продуктивність.

На формування якості води великий вплив мають бактерії, які реагують на зміну проточності води, насиченості її киснем і забруднення органічними речовинами. Їх чисельність визначається екологічними чинниками середовища. Так, у поверхневій плівці води, де відбувається мікроконвективне перемішування її самого верхнього шару (*перша екологічна ніша*), рівень насичення киснем і поживними речовинами

високий, а загальна чисельність бактерій складає від 0,3 до 4 млрд клітин в 1 см³.

Друга екологічна ніша у водоймах знаходиться на глибині 20-50 см. Тут відбувається масовий розвиток фітопланктону, що обумовлено оптимальним освітленням (фотичний шар води). Завдяки стічним, вітровим і дрейфовим течіям, які добре перемішують цей шар, інтенсивність функціонування бактеріо-, фіто- і зоопланктону тут висока.

Третя екологічна ніша співпадає із зоною термоклину, де унаслідок більшої густини води затримуються частинки детриту і відмерлі планктонні організми, що опускаються з верхніх шарів води на дно. У зоні термоклину різко зростає чисельність бактеріального населення.

У придонному шарі води (*четверта екологічна ніша*), де водообмін обмежений і є анаеробні застійні зони, серед бактерійного населення переважають залізобактерії, тіонові, метанокиснюючі та гідрогенокиснюючі бактерії. Безпосередньо у зоні контакту води з дном переважають сульфатредуючі бактерії і бактерії маслянокислого бродіння. У донних відкладеннях (*п'ята екологічна ніша*) найбільш висока загальна чисельність бактерій, яких налічується десятки і навіть сотні мільярдів клітин у 1 см³ вологого мулу.

У мезотрофних озерах і водосховищах на деякій глибині від поверхні мулу походить утворення метану, редукція сульфатів і маслянокисле бродіння. Цей шар мулу характеризується бідним бактерійним населенням і невеликою кількістю інших бентонтів, що пов'язано із зменшенням концентрації органічних речовин, біогенних елементів і високим вмістом токсичних для гідробіонтів сполук.

На відміну від стратифікованих озер і водосховищ, де бактеріальне населення чіткіше прив'язане до певних екологічних ніш, у річках вирішальне значення в розселенні планктону належить гідродинамічним і гідрофізичним чинникам. Так, в гірських річках, де швидкість течії значна (2-6 м/с), а в періоди паводку і повені висока каламутність, розвиток фіто- і зоопланктону пригнічується, а в товщі води домінує *бактеріопланктон*, хоча його чисельність відносно невелика. У

рівнинних річках склад планктону різноманітніший і включає крім бактерій також водорості та безхребетних. У періоди повені і паводку в річки заноситься велика кількість всіляких ґрунтових змивів, унаслідок чого вода збагачується алохтонним бактеріопланктоном, чисельність якого може зростати в десятки разів у порівнянні з меженим періодом.

Гідродинамічні процеси мають важливе значення для життєдіяльності водоростей. Планктонні діатомові водорості з кремнеземним панциром краще розвиваються в умовах активного перемішування води, що перешкоджає осіданню їх на дно і сприяє перебуванню в завислому стані. На різні водорості неоднаково впливає швидкість течії. Найбільш реофільні діатомові водорості, що добре розвиваються при швидкості течії, 0,7 м/с і більше. Для хлорококкових лімітуючою є швидкість у межах 0,5-0,8 м/с, а для ціаней – збудників «цвітіння» води – швидкість 0,2-0,3 м/с вже несприятлива.

Течія – один з основних чинників, що визначає поведінку *безхребетних тварин* в біотопі. Бентосні безхребетні, що мешкають у малопроточних придонних шарах води, надзвичайно чутливі до змін динаміки водних мас. Швидкість течії для них є особливо важливим екологічним чинником, оскільки з нею пов'язано відновлення запасів кисню в придонному шарі води. Чим більша швидкість течії, тим швидше і в більшій кількості відбувається притік кисню до бентонтів. Спостереження за водними тваринами свідчать про те, що інтенсивність перемішування води у водоймах і водотоках іноді має для них навіть більше значення, чим високий рівень насичення води киснем. Зареєстровані неодиначні випадки швидкої загибелі безхребетних у достатньо насичених киснем водоймах під час припинення течії. Загибель наступала унаслідок отруєння власними метаболітами, які не відносилися від бентонтів потоком води. В той же час в проточній воді з невисоким рівнем розчиненого кисню безхребетні розвивалися нормально.

Планктонні і бентосні безхребетні стоячих водойм мають у своїй структурі морфофункціональні елементи, що дозволяють їм самим створювати струм води навколо свого тіла (джгутики,

вії і сифональні канали, через які прокачується вода).

У безхребетних, що живуть у проточній воді, утворень для примусового створення струму води немає. Для них характерніша наявність пристосувань для стабілізації свого положення в потоці води (витагнута або плоска форма тіла, наявність присосок або гачків, рух назустріч потоку води і т. п.).

Швидкість течії і характер донних ґрунтів часто грають основну роль у пристосуванні окремих груп гідробіонтів до різних біотопів. Від швидкості течії залежить чисельність і біомаса організмів з розрахунку на одиницю об'єму води або площі дна. Вважається, що продуктивність безхребетних найбільш висока при швидкості потоку води 0,3-0,9 м/с.

Властивості і колір донних відкладень у процесі формування можуть змінитися. Так, донні ґрунти, що утворюються в добре аерованих водоймах з високим рівнем насичення придонних шарів води киснем, мають світлий колір. А при переважанні анаеробних процесів і дефіциті кисню, коли мул насичений сульфідними сполуками, колір ґрунту чорний.

На структуру і властивості донних ґрунтів істотним чином впливають донні гідробіонти (бентос). Під впливом бактерій, олігохет, хірономід і інших бентосних організмів важкорозчинні у воді органічні і мінеральні сполуки переходять у розчинені форми азоту, фосфору, заліза і інших біогенних елементів. Значна кількість їх виявляється в інтерстиціальній воді донних відкладень, що заповнює капіляри між окремими частинками донного ґрунту. Використовуючи мул як кормовий субстрат, донні черви роблять його більш структурованим. Під впливом організмів зообентосу поступово змінюється хімічний склад поверхневого шару донного ґрунту і полегшується кругообіг речовини і енергії між донними відкладеннями і товщею води. Між донними ґрунтами та товщею води здійснюється постійний обмін біогенними елементами, що забезпечує функціонування водних екосистем у нерозривній єдності всіх їх компонентів. Зокрема, донні ґрунти є джерелом вторинного забруднення водних об'єктів, оскільки накопичені в них мінеральні і органічні речовини поступово переходять в товщу води. Цей процес відіграє особливу роль у підтримці високого вмісту біогенних

елементів у водоймах сповільненого стоку (озера, водосховища). У озерних екосистемах відкладення донного мулу під впливом мікроорганізмів, які мінералізують органічні речовини, можуть перетворюватися на *сапронель* («гниючий мул»).

Структура донних відкладень відіграє визначальну роль у розселенні бентонтів, у формуванні їх чисельності і біомаси. Так, на мулистих ґрунтах розселяються переважно черви і личинки комах, які можуть занурюватися в товщу ґрунту. В той же час вони уникають напіврідких донних ґрунтів, що легко розмиваються.

На піщаних ґрунтах мешкають в основному моллюски, здатні закріплюватися на твердому піщаному дні водойм. Особливі умови існування складаються в інтерстиціальних водах піщаних ґрунтів. У них зосереджуються бактерії, водорості, прості, дрібні безхребетні тварини. Донні ґрунти прибережних зон визначають і склад фітоценозів вищих водних рослин.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати відмінності розвитку гідробіонтів різних екологічних і систематичних груп у водоймах та водотоках за умов зміни гідрофізичних і гідродинамічних чинників.
2. З'ясувати вплив організмів бентосу на структуру і властивості донних ґрунтів, а також навпаки – вплив структури донних відкладень на біоценози.
3. Заповнити таблиці.

Таблиця 13.1

Екологічна ніша	Розташування у водній екосистемі	Особливості природних умов	Особливості гідробіоценозів

Таблиця 13.2

Гідробіонти	Реакція на гідродинамічні чинники (наявність течії)
Бактерії	
Водорості	
Безхребетні тварини	

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

14. НАТРІЙ, КАЛІЙ І ЦЕЗІЙ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Мета заняття: ознайомитися з особливостями поширення та роллю лужних металів у водних екосистемах.

Теоретична частина. Натрій, калій і цезій відносяться до підгрупи лужних металів, які легко віддають один електрон, перетворюючись на позитивно заряджені йони. У зв'язку з цим вони зустрічаються в природі тільки у вигляді сполук.

Натрій (*а.м.* 22,98) і калій (*а.м.* 39) взаємодіють з молекулами води, причому йони Na^+ утримують молекулу води в гідратній оболонці міцніше, ніж йони K^+ . Менша електролітична рухливість натрію обумовлена його масивнішою гідратною оболонкою. У зв'язку з цим йони натрію відіграють важливу роль в транспорті молекул води через мембрани і в підтримці водно-натрієвого балансу в тканинах рослинних і тваринних організмів. На відміну від Na^+ , великі за розміром йони калію не володіють такою ж вираженою властивістю утримувати воду в гідратній оболонці.

Калій і натрій є постійними компонентами біологічних рідин і структур протоплазми рослин і тварин. Велика частина натрію сконцентрована в мембранах, ядрі і міофібрилах, тоді як в цитоплазмі і матриксі мітохондрій його вміст невисокий. Калій і натрій містяться в цитоплазмі і у внутріклітинних органоїдах у вигляді йонів, які компенсують негативні заряди поліелектролітів. На відміну від натрію, концентрація якого вища в позаклітинних біологічних рідинах, вміст калію в 2-10 разів вищий в клітинах. Цитоплазматична активність калію залежить від його взаємодії з внутріклітинною водою.

Підтримка концентраційного градієнта між внутрі- і позаклітинним вмістом натрію і калію є важливою умовою функціонування організму гідробіонтів.

Натрій і калій в організмі морських і прісноводних риб

Організм морських риб *гіпотонічний* по відношенню до морської води. Щоб підтримувати водний баланс, морські риби

вимушені постійно поглинати морську воду, з якою в організм поступає не тільки натрій, але і інші хімічні елементи, розчинені в ній. Надлишок натрію, разом з іншими неорганічними компонентами, що поступають в організм з морською водою, виводиться з організму залозистими клітинами зябер.

У прісноводних риб, навпаки, унаслідок постійного проникнення води через слизисті покриви тіла регуляторні механізми направлені на затримання натрію, калію і інших елементів і на виведення з організму надлишку води. В процесі еволюції у прісноводних риб сформувалися ефективні системи підтримки позитивного натрієвого балансу за рахунок його інтенсивної реабсорбції в ниркових каналцях і абсорбції йонів безпосередньо з води залозистими клітинами зябер.

Основна кількість калію в організм як прісноводних, таких морських риб поступає з їжею, хоча певна його частина потрапляє і при заковтуванні морської води. Все ж таки вирішальна роль в надходженні калію в організм належить спожитій їжі.

Природний цезій в організмі гідробіонтів

Цезій (а.м. 132,9) має один стабільний ізотоп і 21 – радіоактивних. Після випробувань ядерної зброї і аварій на атомних електростанціях в гідросфері збільшився вміст ізотопів ^{137}Cs і ^{134}Cs .

У океанічних водах середня концентрація цезію складає $4 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³, а в прісних водах річок Європейського континенту – від 0,003 до 0,099 мкг/дм³.

У атмосферу цезій потрапляє при спалюванні нафти і кам'яного вугілля, в якому його вміст досягає 3,0 мкг/кг. Цим пояснюється той факт, що в донних відкладеннях водних об'єктів, розташованих поблизу теплових електростанцій, рівень цезію значно підвищений. Але основним джерелом надходження цезію в біосферу є природні процеси.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати основні властивості лужних металів і їх значення для функціонування водних екосистем.

2. За допомогою мікроскопа спостерігати процес плазмолізу рослинної клітини під впливом солоної води різної концентрації. Виконати малюнки.
3. Заповнити таблицю.

Таблиця 14.1

Елемент	Особливості поширення	Функції в організмі гідробіонтів

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

15. КАЛЬЦІЙ І МАГНІЙ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Мета заняття: ознайомитися з особливостями поширення і значенням кальцію і магнію в морських і прісноводних екосистемах.

Теоретична частина. Кальцій – один з основних йонів водних екосистем. Він переважає серед катіонів слабо мінералізованих вод, а при зростанні загальної мінералізації його частка в порівнянні з іншими хімічними елементами зменшується. У природних водах йони Ca^{2+} утворюють важкорозчинні сполуки – карбонати і сульфати, в значній кількості випадають в осад.

Основним джерелом надходження кальцію в поверхневі води є його вимивання з вапняків, доломіту, цементу, гіпсу. Деяка частина кальцію поступає у водойми унаслідок вивітрювання гірських порід. У підземні води він потрапляє в процесі ґрунтової інфільтрації. Значна кількість кальцію поступає у водойми із стічними водами і змивається з сільськогосподарських угідь, де застосовуються мінеральні добрива, що містять його фосфатні сполуки.

Вміст кальцію в морських і океанічних водах. Океанічні (морські) води є водами хлоридного класу, групи натрію. Тому вміст кальцію в них менший, ніж в поверхневих водах суші. Основна його кількість поступає в Світовий океан з річковим стоком. Щорічно з річковими водами в моря і океани поступає до 961 млн. т карбонату кальцію і 558 млн. т розчиненого

кальцію. Його концентрація неоднакова на різних глибинах. Так, в поверхневому шарі Чорного моря вона досягає 0,250, а на глибині 200 м – 0,287 г/дм³. Менша концентрація кальцію в поверхневих шарах води обумовлена використанням його планктонними організмами в процесі фотосинтезу, а також чинником розбавлення морської води атмосферними опадами.

Вміст кальцію в континентальних водах суші дуже непостійний і може істотним чином коливатися залежно від геологічних особливостей водозбірної площі і кліматичних умов. Води більшості озер, річок, водосховищ відносяться до гідрокарбонатного класу, групи кальцію. При мінералізації річкових вод до 1000 мг/дм³ домінує положення серед інших катіонів займає кальцій. З її збільшенням вище 1000 мг/дм³ можуть переважати йони натрію, а іноді магнію. Ця закономірність простежується майже на всій території України.

На вміст кальцію у водоймах незалежно від їх типу великий вплив мають атмосферні опади і сезон року. В період весняної повені під час вступу великих об'ємів снігових і дощових вод з низьким вмістом кальцію його концентрація у водоймах значно знижується, а в меженний період, навпаки, зростає. Серед різноманітних форм кальцію найбільше значення для водних екосистем мають його карбонатні солі. Вміст карбонатів в природних водах залежить від розчинності карбонатних порід і хімічного вивітрювання алюмосилікатів під впливом розчиненого у воді CO₂.

При високій інтенсивності процесів фотосинтезу в літній період, коли утилізувався не тільки розчинений у воді CO₂, але і зв'язаний іншими сполуками, карбонатна рівновага зміщується у бік розкладання гідрокарбонатів з утворенням карбонатів і вільного CO₂. Останній утилізувався водними рослинами в процесі фотосинтезу, а карбонати вступають в реакції з кальцієм і магнієм, утворюючи важкорозчинні солі CaCO₃ і MgCO₃, які випадають в осад. Взимку, при ослабленні фотосинтезу, відбувається зворотний процес розчинення карбонату кальцію.

У більшості внутрішніх водойм йон HCO₃²⁻ є основним компонентом сольового складу вод. Вміст його в річкових водах може коливатися від 50 до 500 мг/дм³. Джерелом HCO₃ у воді є

головним чином карбонатні породи – вапняки і доломіт, поширені серед осадових порід. Розчиняючись у воді, що містить CO_2 , вони збагачують воду йонами Ca^{2+} і HCO_3^- . Гідрокарбонатні води утворюються також унаслідок вивітрювання алюмосилікатів – найбільш поширених породоутворюючих мінералів земної поверхні (польові шпати, цеоліти, нефеліни і т. п.).

Вирішальним чинником формування карбонатного режиму водойм, зокрема неглибоких рибницьких ставів, є концентрація у воді CO_2 . Значне прогрівання таких ставів в теплі літні дні, невисока проточність і добре розвинений фітопланктон, а на берегах – вища водна рослинність створюють необхідні умови для інтенсивного фотосинтезу.

Метаболічна роль кальцію і шляху його надходження в організм гідробіонтів. Кальцій бере участь у формуванні кісткового скелета, регуляції проникності клітинних мембран. Йому належить важлива роль у функціонуванні нервової, м'язової і залозистих тканин, синаптичної передачі, молекулярному механізмі м'язових скорочень, ферментативних реакціях, пов'язаних з процесами тканинного дихання і гліколізу.

Близько 1,5 млрд. т солей кальцію, що поступають в моря і океани з річковим стоком, засвоюються в процесі життєдіяльності гідробіонтами. При цьому більшість морських і прісноводних організмів можуть накопичувати і концентрувати кальцій в окремих органах і тканинах.

При антропогенному впливі на водні екосистеми, що супроводжується значним зменшенням концентрації кальцію (на тлі зростання у воді вмісту інших елементів), видова різноманітність і чисельність безхребетних різко знижуються. В той же час збагачення води солями кальцію до оптимального рівня позитивно впливає на їх розвиток, зокрема у молюсків збільшується не тільки розмір черепашки, але і питома вага м'яких тканин.

Слід, проте, відзначити, що, не дивлячись на велике значення кальцію для нормального розвитку рослин, його надмірне надходження у водойми може викликати збіднення

флори. Так, у водоймах, розташованих поблизу підприємств з переробки мармуру, значне підвищення вмісту кальцію у воді супроводжується деградацією фітоценозів.

Магній морських і континентальних вод. У водні об'єкти магній поступає в основному при розчиненні доломіту, мергелів або при вивітрянні гірських порід.

Висока розчинність сполук магнію сприяє його постійному надходженню з річковим стоком в моря і океани. У 1 л морської води міститься в середньому 1,317 г магнію.

У природних водах магній утворює комплексні сполуки з органічними речовинами. Комплексні сполуки магнію в деяких озерах Німеччини складають більше 65 % загального вмісту розчинених форм. У слабомінералізованих водах зони вічної мерзлоти (тундра) майже 90-100 % йонів Mg^{2+} утворюють комплекси з гуміновими і фульвокислотами. Такі комплекси відіграють стабілізуючу роль у водних розчинах.

Природна вода, в якій розчинена значна кількість гідрокарбонатів і сульфатів кальцію і магнію, відрізняється підвищеною *жорсткістю*, яку виражають сумарною кількістю міліграм-еквівалентів йонів кальцію і магнію, що знаходяться в 1 л води. Один міліграм-еквівалент відповідає вмісту 20,04 мг/дм³ йонів Ca^{2+} або 12,16 мг/дм³ йонів Mg^{2+} .

На відміну від прісних, морські і океанічні води характеризуються високим вмістом не тільки натрію, але і магнію. У океанічній воді хлориди натрію і магнію складають 88,7 % кількості всіх розчинених солей. Через високу концентрацію магнію морська вода має гіркуватий присмак. Всього в океанічній воді на сполуки магнію доводиться близько 11 % вмісту всіх солей. У морях його концентрація дещо менша, зокрема у воді Чорного моря вона складає близько 3,34 % загальної маси солей.

Вміст магнію в організмі *гідробіонтів* залежить від того, в якій воді – морській або прісній вони мешкають. Так, в гемолімфі морських моллюсків мідій, устриць його концентрація складає 55-58 ммоль/дм³, а у прісноводної беззубки і живородки – лише 0,19 і 0,31-0,37 ммоль/дм³. У морських ракоподібних (лангустів і креветок) концентрація магнію в гемолімфі рівна

відповідно 16,6 і 12,6 ммоль/дм³. Значно вища вона у краба (*Carcinus*) – 23,6 ммоль/дм³. У гемолімфі прісноводного американського річкового рака (*Cambarus*) – 4,3.

Метаболічна роль магнію у гідробіонтів. Магній відноситься до йонів з дуже широким спектром дії. Він відіграє виключно важливу роль в активації ферментативних реакцій, що протікають у автотрофних і гетеротрофних організмів. У водоростей і вищих водних рослин він входить до складу молекули хлорофілу.

Про значення магнію для нормального протікання фотосинтезу свідчить той факт, що при його дефіциті у воді спостерігається блідість і пожовтіння листя у водних рослин. У водних тварин магній відіграє ключову роль в забезпеченні біоенергетики мембранного транспорту йонів і внутріклітинному обміні амінокислот.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати основні властивості кальцію і його значення для функціонування водних екосистем.
2. Заповнити таблицю.

Джерела надходження	Значення для екосистем	Антропогенний вплив

3. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати основні властивості магнію і його значення для функціонування водних екосистем.
4. Заповнити таблицю.

Джерела надходження	Значення для екосистем	Антропогенний вплив

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

16. СІРКА ПРИРОДНИХ ВОД І ПРОЦЕСИ СУЛЬФАТРЕДУКЦІЇ

Мета заняття: ознайомитися з особливостями поширення і значенням сірки в морських і прісноводних екосистемах.

Теоретична частина. Сірка зустрічається в природі як в самородному вигляді, так і у вигляді різних сполук, а також в газоподібному стані (сірководень і оксид сірки). Легкорозчинні сульфати містяться у великій кількості в морській воді.

Сірка один з незамінних компонентів при синтезі білків в організмі тварин і утворенні сірковмісних органічних речовин у рослин. *Сіркобактерії* здатні окиснювати сірководень (H_2S) до сірки, а енергію, що звільняється при цьому, використовують для метаболічних процесів – здійснюють хемосинтез.

Сульфати можуть поступати у поверхневі водойми при хімічному вивітрюванні і вимиванні з таких мінеральних покладів, як гіпс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ангідрит ($CaSO_4$) і барит ($BaSO_4$). При вилуговуванні солончаків води також збагачуються сульфатними йонами.

Причиною зростання вмісту сірки у воді може бути окиснення сульфідів, що поступають із стічними водами промислових, сільськогосподарських і комунально-побутових підприємств. Джерелом утворення сірководню у водних об'єктах є також розкладання органічних речовин в донних ґрунтах в анаеробних умовах.

Хоча сульфати добре розчинні у воді, їх вміст у водоймах обмежується утворенням малорозчинних сульфатів кальцію ($CaSO_4$), що осідають на дно.

У водних екосистемах сульфатні йони знаходяться в біологічному кругообігу, який здійснюється за участю практично всіх гідробіонтів, що засвоюють сульфати для побудови свого тіла. Після відмирання організмів H_2S під впливом сіркобактерій окиснюється спочатку в S , а потім в йон SO_4^{2-} , який знову включається в кругообіг. У водних екосистемах відбувається також процес сульфатредукції.

Сульфатредукція – це відновлення сульфатних йонів до сірководню під впливом сульфатредукуючих бактерій за

відсутності кисню і у присутності органічних речовин. Схематично реакція протікає так:



У анаеробних умовах сульфатредуючі бактерії використовують енергію сульфатів для дихання, а сірководень виділяється у воду. Подібні реакції характерні практично для всіх водойм, де є значні поклади донних мулів і сповільнений водообмін. Характерними ознаками таких водойм є наявність у воді сірководню, сульфідів, тіосульфатів і сульфатредуючих бактерій. Процеси сульфатредукції протікають з найбільшою активністю в мероміктичних водоймах, до яких відноситься Чорне море.

Мероміктичні водойми мають двошарову стратифікацію товщі води, причому вода нижнього шару більш мінералізована і значно щільніша, ніж верхнього. У таких водоймах циркуляція охоплює тільки поверхневий шар води меншої густини. Чорне море належить до найбільших в світі мероміктичних водойм. На глибині 150-250 м в ньому проходить *хемоклін*, який розділяє розпріснений і збагачений киснем *міксолімніон*, або верхній шар, і в 10 разів могутніший *моніолімніон*, або нижній шар води, який не перемішується.

У водоймах з хорошим кисневим режимом сульфатредукція відбувається тільки в товщі відкладень мулу. При цьому чорний колір донних відкладень свідчить про характер сульфатредуючих процесів. Вони властиві водним об'єктам, в які скидаються висококонцентровані стічні води, збагачені органічними речовинами, що містять в своєму складі сульфати. Сульфатредукція часто виникає в евтрофних водоймах в періоди літньої або зимової стагнації.

Підвищений вміст сірководню у водному середовищі негативно впливає на життєдіяльність гідробіонтів, тому вони володіють високою чутливістю до нього. Так, поліхети *Nereis zonata*, *Phyllodoce tuberculata*, гіллястовусі рачки *Daphnia magna* і багато інших не витримують навіть слідів сірководню у воді. Стійкіші до сірководню донні поліхети *Nereis diversicolor*, черви *Capitella capitata* і деякі інші бентоніти, які живуть в товщі донних відкладень, де відбувається гниття органічних речовин.

Виняткову стійкість до сірководню проявляє рачок *Artemia salina*. Токсичною для його молоді є концентрація 76,8 мг/дм³, а для дорослих – 109 мг/дм³. Риби, особливо молодь, відрізняються підвищеною чутливістю до сірководню.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, з'ясувати основні причини появи сірки і сірковмісних речовин у водних екосистемах і їх значення для функціонування водних екосистем.
2. Заповнити таблицю.

Джерела надходження	Значення для екосистем	Антропогенний вплив

Використані джерела

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.

17. ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РИБОГОСПОДАРСЬКИМ ВИМОГАМ

Мета заняття: 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 (17.1):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_3}{ГДК_3} \dots \frac{C_n}{ГДК_n} < 1, \quad (17.1)$$

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 риб і інших гідробіонтів (табл. 17.1).

Таблиця 17.1

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

Показники	ГДК _{риб}	Показники	ГДК _{риб}
рН	6,5-8,5	PO ₄ -P	1
O ₂	6	Fe _{зар}	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 риб і кормових гідробіонтів.

У зв'язку з тим, що хімічні речовини можуть накопичуватися в органах і тканинах риб, 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.

18. ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Мета заняття: 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. 18.1-3).

Таблиця 18.1

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

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

Прибережні води	Перехідні води
<p>Загальні фізико-хімічні показники: прозорість; температура; водневий показник рН; розчинений кисень; біологічне споживання кисню; біогенні елементи ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3^-$, $N\text{-NO}_2^-$, $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$); силіцій; дигідроген сульфід; сума завислих у воді речовин. Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт</p>	<p>Загальні фізико-хімічні показники: прозорість; температура; розчинений кисень; вміст розчинених солей (мінералізація, 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</p>

Таблиця 18.2

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

Стан «відмінний»	Стан «добрий»	Стан «задовільний»
<p>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</p>	<p>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</p>	<p>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».</p>

масиву поверхневих вод в референційних умовах	«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 18.3

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	Температура, водневий показник, кисневий режим знаходяться в межах діапазону, встановленого для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних	Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників

	<p>умов, за яких відсутні антропогенні впливи.</p> <p>Температура, водневий показник, кисневий режим не виявляють ознак антропогенних впливів і залишаються у діапазоні, характерному для умов, за яких відсутні антропогенні впливи</p>	<p>показників.</p> <p>Концентрації біогенних речовин не перевищують рівнів, встановлених для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних показників</p>	
<p>Специфічні синтетичні забруднюючі речовини</p>	<p>Концентрації близькі до нуля або принаймні нижчі, ніж поріг виявлення найбільш сучасного аналітичного обладнання</p>	<p>Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості</p>	<p>Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників</p>
<p>Специфічні несинтетичні забруднюючі речовини</p>	<p>Концентрації залишаються в межах діапазону, характерного для умов, за яких відсутні антропогенні впливи</p>	<p>Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості</p>	<p>Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників</p>

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

Як методичну базу для виконання гідроекологічної оцінки застосовують «Методику екологічної оцінки поверхневих вод за

відповідними категоріями», кількісним узагальненням якої є інтегральний екологічний індекс (I_e), який встановлюється за трьома блоковими індексами (за компонентами сольового складу, трофо-сапробіологічними показниками і специфічними показниками токсичної та радіаційної дії). 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 17.1:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (17.1)$$

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 17.1-17.3.
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.

Використані джерела

1. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 460 с.
2. 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". Міністерство екології та природних ресурсів України. Наказ № 5 від 14.01.2019 (Електронний ресурс). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#n14>
3. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
4. Svobodová Z., Lloyd R., Máchová J., Vykusová B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Рекомендована література

1. Беспалова Л.Е., Оліфіренко В.В., Рачковський А.В. Водна токсикологія : навчальний посібник. Херсон : ВЦ «Колос», 2011. 131 с.
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. Клименко М. О. Гідроекологія : навч. посіб. / М. О. Клименко, Ю. Р. Гроховська, О. О. Бєдункова. Рівне : НУВГП, 2008. 178 с.

4. 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>.
5. Мацнев А. І., Проценко С. Б., Саблій Л. А. Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2000. 504 с.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан та ін. ; за ред. В. Д. Романенка. К.: Логос, 2006. 408 с.
7. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. К. : СИМВОЛ. 1998. 28 с.
8. Романенко В.Д. Основи гідроекології. К. : Обереги, 2001. 726 с.
9. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Second Edition. Wiley-Blackwell, 2010. 538 p.

Електронні ресурси

1. Сайт журналу «Екологічний вісник» URL: <https://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichnyi-visnyk>
2. Сайт журналу «Aquatic Ecology». A Multidisciplinary Journal Relating to Processes and Structures at Different Organizational Levels - URL: <https://www.springer.com/journal/10452>.
3. Сайт журналу “Hydrobiologia”. The International Journal of Aquatic Sciences. URL: <https://www.springer.com/journal/10750>.
4. Фотогалерея. Marine and Freshwater Photos. Wageningen University & Research - Image collections. URL: <https://images.wur.nl/digital/collection/coll118/search>.
5. Фотогалерея. Root System Drawings. Wageningen University & Research - Image collections. URL: <https://images.wur.nl/digital/collection/coll113/search>.
6. Фотогалерея WoRMS URL: <https://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=766>.

Методичне забезпечення

1. Лінк дисципліни на платформі НУВГП MOODLE: <https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=4869>