

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра водних біоресурсів

05-03-219М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних та самостійних робіт
з навчальної дисципліни «**Біологічний моніторинг водного
середовища**» 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 практичних та самостійних робіт з навчальної дисципліни «Біологічний моніторинг водного середовища» 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. – 60 с.

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

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

Керівник групи забезпечення спеціальності 207

«Водні біоресурси та аквакультура»

Петрук А. М.

Попередня версія МВ у посібнику: Гроховська Ю. Р., Кононцев С.В., Колесник Т.М. Біологічний моніторинг водного середовища : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 161 с.

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

Зміст

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 4 |
| 1. Вивчення екологічних груп гідробіонтів | 5 |
| 2. Організмений і популяційний рівень біомоніторингу | 12 |
| 3. Дослідження впливу солоності та мінерального складу води на гідробіонтів | 19 |
| 4. Оцінка забруднення водойм за системою сапробності | 23 |
| 5. «Цвітіння» води та організми, що його викликають | 25 |
| 6. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод | 31 |
| 7. Фітоіндикація та комплексна екологічна оцінка якості природних вод | 36 |
| 8. Визначення видів вищих водних рослин. Еколого-біологічні групи | 39 |
| 9. Визначення життєвих форм та типів стратегій рослин в угрупованнях | 43 |
| 10. ВВР як індикатори екологічного стану водних об'єктів | 46 |
| 11. Методи оцінки індикаторності видів | 48 |
| 12. Визначення середньозваженої напруженості фактора забруднення води | 50 |
| 13. Використання методів біотестування у водній токсикології | 52 |
| Інформаційні ресурси | 59 |

ВСТУП

Навчальна дисципліна вибіркового циклу «Біологічний моніторинг водного середовища» передбачає формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок застосування сучасних методів біологічного моніторингу якості природних вод та стану водного середовища. Дисципліна присвячена шляхам використання біологічних об'єктів для оцінки стану водних екосистем та є основою для фахової підготовки студентів.

Мета – оволодіння майбутніми фахівцями основами знань про сучасні методи біологічного моніторингу якості води та стану водного середовища. Предметом вивчення дисципліни є заходи щодо біологічної оцінки екологічного стану водного середовища, як середовища існування риб та інших промислово цінних гідробіонтів.

Завдання дисципліни: *методичні*: формування вмінь та навичок студентів працювати з навчальною та науковою літературою щодо використання методів біомоніторингу в рибному господарстві та аквакультури, застосовувати їх в навчальному процесі, науковій та практичній роботі; *пізнавальні*: ознайомлення студентів з основними методами, напрямками та розділами біомоніторингу; наслідками впливу різноманітних факторів водного середовища на гідробіонтів та їхтїофауну; *практичні*: набуття практичних навичок проведення досліджень, які дозволяють оцінити стан водного середовища та якість води за біотичними показниками; аналізувати наслідки впливу антропогенного забруднення на водні екосистеми та гідробіонтів; прогнозувати розвиток гідроекологічних процесів на основі біотичних показників; розробляти заходи попередження заморів гідробіонтів, «цвітіння» води, сапробізації та інших негативних явищ у водних екосистемах.

Знання і навички з дисципліни сприяють формуванню у здобувачів вищої освіти комплексу фахових компетентностей для запровадження принципів сталої аквакультури в рамках Європейського Зеленого курсу, зокрема, контролю якості поверхневих вод за біотичними показниками.

1. ВИВЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ГРУП ГІДРОБІОНТІВ

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

Теоретична частина. До складу *планктону* входять мікроводорості, бактерії, коловертки і інші організми, які не можуть протидіяти перенесенню їх водою через відсутність або недорозвинення органів руху (рис. 1.1).

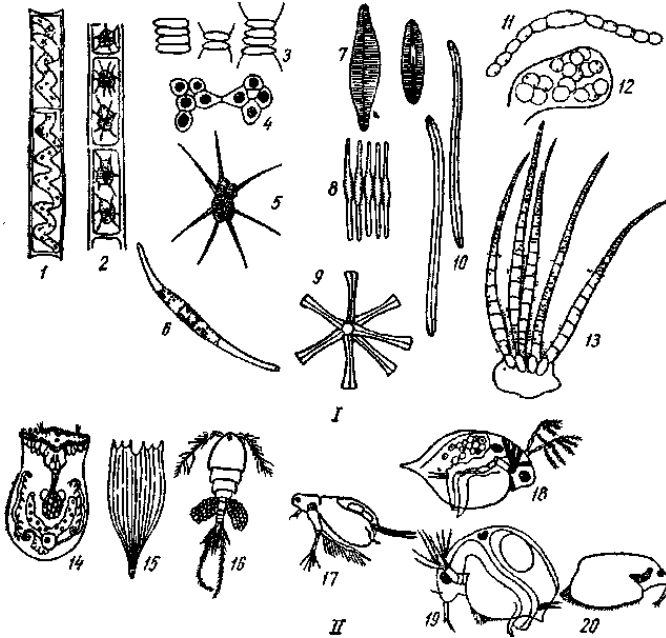


Рис. 1.1. Представники озерно-ставового планктону (за Odum 1959). I — фітопланктон; II — зоопланктон: 1 — *Spirogyra*, 2 — *Zygnema*, 3 — *Scenedesmus*, 4 — *Coelastrum*, 5 — *Richtriella*, 6 — *Closterium*, 7 — *Navicula*, 8 — *Fragilaria*, 9 — *Asterionella*, 10 — *Nitzschia*, 11 — *Anabaena*, 12 — *Microcystis*, 13 — *Gloeotrichia*, 14 — *Asplanchna*, 15 — *Notholca*, 16 — *Macrocylops*, 17 — *Diaphanosoma*, 18 — *Daphnia*, 19 — *Bosmina*, 20 — *Acantholeberis*

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

Фітопланктон представлений водоростями різних систематичних груп, які 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 100м. 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 значно 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 та веслоногі ракоподібні, коловертки, велігери (личинки) молюсків, личинки креветок тощо. 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 великі організми, наприклад медуза *Cyanea*, діаметром до 2 м. Ширяння зоопланктонів у воді сприяють значна поверхня їх тіла, наявність в ньому жирових включень і газових вакуолей.

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, переважно, мізиди, креветки, невеликі медузи.

До *мегалопланктону* відносяться безхребетні дуже великих розмірів – медузи тощо. Планктон разом із завислими у воді частинками, які потрапляють у знаряддя лову (планктонні сітки), 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 *Minyas*, молюсків *Janthina* і деяких інших.

До складу *нейстону* входить відносно невелика кількість організмів – найпростіші, одноклітинні водорості, бактерії, дрібні легеневі молюски (рис. 1.2). Всі вони мешкають біля плівки поверхневого натягу води. До *нейстону* морських водойм відноситься також ікра та личинки риб, що одержали назву *іхтіонейстон*. На поверхні плівки в прісних водоймах можна спостерігати клопів водомірок, які швидко бігають. Тут же живуть личинки комарів, жуки вертячки та інші дрібні безхребетні.

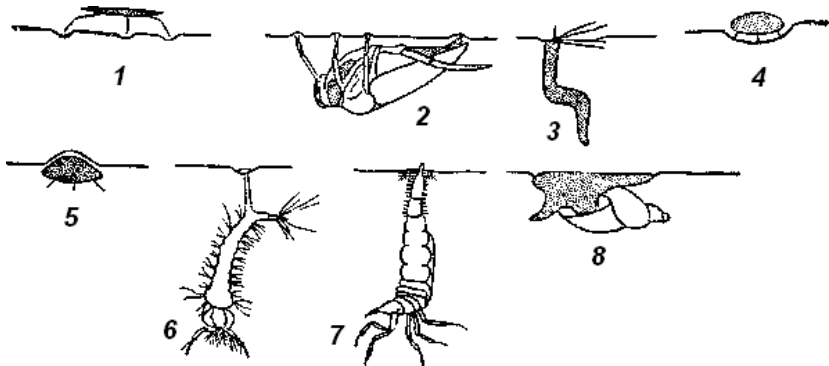


Рис. 1.2. Представники нейстону
 1 — *Hydrometra*; 2 — *Notonecta*; 3 — личинка *Stratiomis*; 4 —
Gyrinus; 5 — *Hydrophilidae*; 6 — личинка *Culex*; 7 — личинка
Dytiscus; 8 — *Limnaea* (за Зерновим, 1949)

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

До складу *бентосу* відносять бактерії, рослини, безхребетні тварини, молюски, ракоподібні та інші групи гідробіонтів.

Розрізняють *фітобентос*, *бактеріобентос* і *зообентос* (рис. 1.3). Фітобентос морських шельфових мілководних зон складається з червоних, бурих та інших макроводоростей і вищих водних рослин. Фітобентос континентальних водойм представлений, переважно, ціанеями, діатомовими, 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 (рогіз, рдесник, очерет та інші квіткові рослини). Їх угруповання специфічні і зазвичай розглядаються не як фітобентос, а як окремий компонент прісноводних екосистем – вища водна рослинність (ВВР). У заростях вищих водних рослин живуть бактерії, водорості, безхребетні тварини.

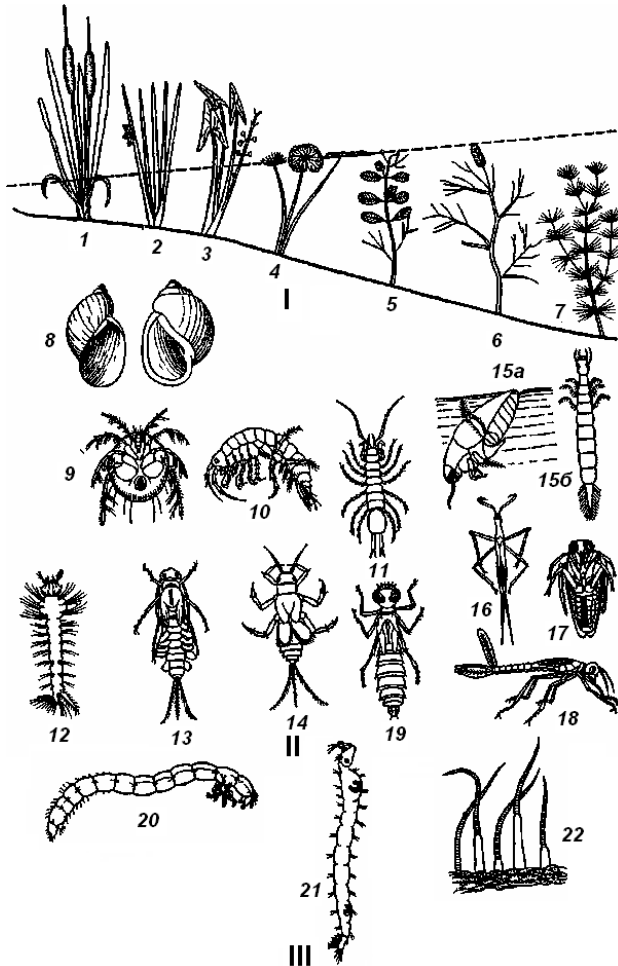


Рис. 1.3. Представники озерно-ставового бентосу (за Odum, 1959). I – фітобентос; II – зообентос; III – характерні форми бентосу профундалі: 1 – *Typha*, 2 – *Scirpus*, 3 – *Sagittaria*, 4 – *Nymphaea*, 5, 6 – *Potamogeton*, 7 – *Chara*, 8 – *Limnaea*, *Physa*, 9 – *Hydracarina*, 10 – *Gammarus*, 11 – *Asellus*, 12 – *Culex pipiens*, 13 – *Clöeon*, 14 – *Caenis*, 15 – *Dytiscus*, 16 – *Ranatra*, 17 – *Notonecta*, 18 – *Lestes*, 19 – *Aeschna*, 20 – *Chironomus*, 21 – *Chaoborus*, 22 – *Tubifex*

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

Типовими представниками *інфауни* є багатощетинкові черви, двостулкові моллюски, деякі голкошкірі та інші безхребетні. Угрупування організмів *онфауни* утворюють ракоподібні, моллюски, деякі багатощетинкові черви, більшість голкошкірих (у морі). *Епіфауна* складається з губок, гідроїдів, актиній, морських жолудів, коралових поліпів і т.д.

У окрему екологічну групу *нектобентосу* виділені водні тварини, які плавають у придонному шарі води і періодично піднімаються в поверхневі шари. До складу нектобентосу входять придонні риби, креветки, мізиди, деякі голотурії та 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, кореніжки, 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 та ін.) і тимчасовими мешканцями дна. До останніх відносяться личинки бабок, одноденок, жуків та інших комах, які впродовж 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 і 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, молюски, 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

1. Використовуючи рекомендовану літературу, малюнки та натурні зразки ознайомитися з різноманітністю екологічних груп гідробіонтів.
2. Замалювати характерних представників екологічних груп, які використовуються у програмах біомоніторингу.
3. Заповнити узагальнюючу таблицю.

| Екологічна група | Особливості поширення в гідроекосистемі | Особливості пристосування організмів | Принципи поділу на підгрупи | Характерні представники |
|------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | | | |

4. Зробити висновки по роботі.

2. ОРГАНІЗМЕННИЙ І ПОПУЛЯЦІЙНИЙ РІВЕНЬ БІОМОНІТОРИНГУ

Мета заняття: ознайомитися можливістю використання різноманітних показників організменного і надорганіменного рівня для потреб біомоніторингу.

Теоретична частина. Основна мета відбору біологічних показників на *організменному рівні* зводиться, переважно, до оцінки фізіологічного стану особини і її поведінки, а також біологічної значущості даних про концентрацію забруднюючих речовин у тілі гідробіонтів. Всі ці біологічні показники повинні корелювати зі змінами на екосистемному рівні, тобто зміни фізіологічних показників повинні призводити до зміни екологічної узгодженості. З іншого боку, для того, щоб пояснити конкретні причини появи фізіологічного відгуку на дії забруднюючих речовин, потрібно бути впевненим у зв'язку фізіологічного відгуку з біохімічним. Проте, іноді дуже важко врахувати природну мінливість фізіологічних відгуків на зміну рН, солоності, хвилювання на морі, швидкості течії, інтенсивності освітлення і концентрації кисню, з одного боку, а також від пов'язаних із сезоном репродуктивних циклів, стадії розвитку, росту, поведінки, розміру і харчування організму. Необхідно дуже добре вивчити організм, який обраний для моніторингу. Це збільшує шанси виявити зміни фізіологічних показників, які пов'язані з негативним впливом забруднення.

Перед складанням програм моніторингу слід з'ясувати шляхи транспортування токсичних речовин в абіотичному компоненті. Забруднюючі речовини можуть бути розчиненими у воді, адсорбованими на завислих частинках або перебувати всередині мікрокрапель. Залежно від типу живлення водні організми по-різному реагують на їх присутність. Тому ефективний контроль можливий лише за умови використання організмів з різними типами живлення. Не виключено, наприклад, що організми які використовують у їжу детрит і осад, які містять забруднюючі речовини, будуть зазнавати більшого впливу, ніж ті, які харчуються фітопланктоном, зоопланктоном, або невеликими рибами.

Для біоти найдоступніша іонна форма металів. Були проведені дослідження з міддю і кадмієм у морському середовищі. Мідь активно утворює комплексні сполуки з розчиненими органічними речовинами. Ці комплекси чутливі до рН. Тому при одній і тій самій концентрації міді активність її вільного іону буде, імовірно, залежати від концентрації органічних лігандів, рН і солоності.

Надмірне надходження кадмію в довкілля перш за все пов'язане з викидами промислових відходів. Його поведінка відрізняється від поведінки міді. Кадмій сполучається з хлором і в деякому діапазоні концентрацій його стан не залежить від зміни рН. Крім того, кадмій не утворює комплекси з органічними речовинами. Отже, зі збільшенням солоності, коли концентрація хлорид-іону зростає, активність іонів кадмію знижується при його постійній загальній концентрації.

Отже, при біотестуванні пов'язаному з патологічними змінами, можна як переоцінити так і недооцінити значення діючої на організм концентрації металів у воді.

Включення *фізіологічних показників* у програми моніторингу повинно базуватися на глибинному знанні біоти і можливих шляхів забруднення. Як правило, концентрація токсичних речовин у воді настільки низька, що їх дуже важко виявити за допомогою аналітичних методів.

При дослідженні морських екосистем використовують такий метод. Якщо джерело надходження забруднень відоме або є припущення про його місцезнаходження, то проби морських організмів беруть вздовж градієнта забруднення. Для активного моніторингу використовують двостулкових моллюсків, які поміщають у корзини. Встановлюють корзини на попередньо вибрані місця на весь час екологічних спостережень. У більшості випадків концентрація забруднюючих речовин у тілі організму тісно пов'язана з величиною відгуку вимірюваного фізіологічного показника.

Реакція організмів на забруднення не завжди лінійно залежить від діючої концентрації, оскільки існує *пороговий рівень*, нижче якого організми можуть детоксифікувати речовину. Аномальні відгуки сигналізують проте, що цей поріг

перевищено. При надпорогових значеннях концентрації речовини фізіологічна реакція буде відповідати величині діючого фактора. Якщо перенести організм у чисте середовище, то він знову відновлює здатність до детоксикації забруднення.

Фізіологічні показники, які використовуються у програмах моніторингу. *Живлення.* Зміна швидкості живлення завислими речовинами або осадом і утворення фекалій є показниками фізіологічного стану в умовах забруднення.

Показник швидкості живлення змінюється в широких межах. Він дуже чутливий навіть до невеликих змін кількості доступної їжі. Це ускладнює завдання виявлення фоновому рівня забруднення.

Є ряд наукових робіт, присвячених впливу важких металів на живлення фільтраторів – моллюсків і ракоподібних. Швидкість живлення і викид фекалій значно знижувалися у присутності високих концентрацій ртуті, хрому, міді та інших металів. Також з цією метою використовують мальків риб, поміщаючи в лабораторних умовах у різні концентрації забруднюючих речовин і підраховуючи число мальків, які живляться.

Дихання. В лабораторних дослідженнях для реєстрації респіраторних процесів (як цілого організму так і окремих тканин, від окремих ікринок і мальків до дорослої риби) використовують спеціальне обладнання: мікрореспірометри, кисневі електроди.

Використовують три показники активності дихання переважно у прісноводних риб:

- частота кашлю;
- частота дихальних рухів;
- частота серцевих скорочень.

Частота кашлю змінюється під дією фізичних (наприклад, завислі тверді частинки) або хімічних (наприклад, важкі метали) факторів на епітелій зябер. Це найчутливіший показник.

Зміна дихального руху пов'язана з рівнем поглинання кисню. Хоча поглинання кисню може бути збалансоване за рахунок регуляції амплітуди рухів. Зміна частоти серцебиття

також пов'язана зі зміною поглинання кисню. Хоча в цьому випадку компенсація може досягатися зміною глибини дихання.

Виділення і азотистий баланс. Продукти виділення гідробіонтів включають аміак, сечовину, амінокислоти. Коли вміст азоту в їжі лімітований, то втрати азоту у виділеннях можуть свідчити про порушення азотистого балансу. Якщо швидкість виділення перевищує норму, це свідчить про стресову ситуацію, яка викликана серйозним порушенням живлення під впливом забруднення.

При *позитивному* азотистому балансі кількість Нітрогену, яка надійшла у організм, перевищує кількість виділеного, при *негативному* навпаки. Позитивний азотистий баланс спостерігається під час росту організму, і в усіх випадках збільшення загальної кількості м'язової маси. Негативний азотистий баланс спостерігається під час хвороби і у період старіння організму. Для організму що припинив ріст, при повноцінному харчуванні характерна *азотиста рівновага*. Якщо у 2-3 рази збільшити кількість Нітрогену в кормі, через певний час у 2-3 рази збільшиться вміст Нітрогену, який виводиться з організму.

Ріст. Зниження росту тварин – це неспецифічний відгук на будь-які стресові впливи. Сповільнення росту може настати через зниження інтенсивності живлення або збільшення витрат енергії, які пов'язані з диханням або виділенням під дією різних екологічних факторів (рН, солоності, концентрації розчиненого кисню, їжі, іонів металів, швидкості руху води тощо).

На ріст організмів-фільтраторів впливає присутність у воді нафтопродуктів, особливо ароматичних вуглеводнів. Сповільнюється ріст і при підвищенні температури води.

Розмноження. Здатність до розмноження і швидкість росту тісно пов'язані між собою. Зниження показників росту може призвести до зниження плодючості тварини, оскільки на утворення гамет витрачається істотна частина накопиченої енергії.

Ембріональні і личинкові стадії розвитку, як правило, найчутливіші до токсикантів у порівнянні з дорослими особинами. Ікра деяких ракоподібних не запліднюється у

присутності нафти і нафтопродуктів через порушення хемосенсорної системи сперматозоїдів.

Виявлено значний вплив хлоровуглеводнів на частоту линяння личинок крабів. Токсикант впливає на метаболізм стероїдного гормону, який регулює линяння. Розроблена спеціальна методика вимірювання частоти линяння та методика культивування личинок.

Склад крові. Для оцінки стану риб і їх відгуків на зміну оточуючого середовища часто використовують гематологічні методи. Число червоних і білих кров'яних тілець, вміст гемоглобіну і сумарного білка плазми, як правило, вищі у недавно виловлених особин, ніж у тих, що перебувають у акваріумі. Тому для уніфікації методики при гематологічному аналізі рекомендують поміщати риб на деякий час у акваріум, а лише потім брати проби крові.

Показники поведінки організмів. Є три підходи для оцінки поведінкових реакцій:

- 1) передбачає спостереження за поведінкою тварин, які мешкають у природних умовах;
- 2) передбачає перенесення тварин з лабораторних умов або контрольованих акваторій на якийсь час у природні умови;
- 3) передбачає перенесення води і донних відкладень з природних умов в акваріуми, у які поміщають тест-організми.

Вибраний для моніторингу організм повинен при появі забруднення своєю поведінкою сигналізувати про зміну умов. Поведінковий відгук у будь-якого виду формується під впливом різноманітних стимулів. Але всі вони так чи інакше пов'язані з загальною стратегією поведінки виду, спрямованою на виживання.

Наприклад, блакитні краби весною закопуються у донні відкладення і тому стають менш вразливими до впливу забруднюючих речовин. Проте, якщо цей інстинкт порушити, це призведе до зниження чисельності популяції. Виявилося, що блакитні краби, які мешкають у районах забруднених ДДТ, не виявляли жодних ознак відхилення від нормальної поведінки,

поки не настали осінні або весняні зміни температури води. Поєднання високого вмісту ДДТ у тілі блакитних крабів і зниження температури викликало порушення звичної моделі поведінки, пов'язаної з закопуванням, що призводило до підвищення смертності.

Значні зміни структури всього угруповання супроводжуються, як правило, випаданням з нього одного або декількох видів. Наприклад, було проведено дослідження на морських блюдечках (рід черевоногих моллюсків). У присутності нафтопродуктів звична модель поведінки блюдечок (прикріплення до поверхні скельних порід) порушується. Більша частина паралізованих, неприкріплених до субстрату особин гине, що призводить до докорінної зміни біологічної структури скельних екосистем, розташованих у зоні припливів і відпливів.

Личинки американського омара, паралізовані короточасним перебуванням у морській воді з нафтою, втрачають здатність до плавання і повільно осідають на дно. Загалом, зміна моделі поведінки може викликати також порушення трофічних зв'язків. Наприклад, це незворотні порушення хеморецепції або локомоції. Зміна звичної поведінки хижака відразу відбивається на зміні показників популяції жертви при умові, якщо жертва менш чутлива до забруднення, ніж її хижак. Якщо модель поведінки змінюється під дією токсиканта, то це призводить до зміни виживання виду. Коли це домінуючий вид – до структурних змін в угрупованні.

Хеморецепція. Морські організми реагують на присутність у воді природних і синтетичних речовин у дуже невеликих концентраціях. Наприклад, блакитний краб починає реагувати на появу харчового екстракту в концентрації 10-12 мг/л зміною частоти биття зябер. Краби реагують також на появу нафталіну в концентрації 10 мг/л і водорозчинної фракції нафти.

У програми моніторингу морського середовища включають спостереження за поведінкою мідій. Зі збільшенням концентрації іонів міді у воді у мідій спостерігаються наступні реакції закривання стулук:

1) при порівняно низьких концентраціях після різкого скорочення м'язів-замикачів спостерігаються короточасні хвилеподібними відкриваннями стулок для «апробування» води.

2) при великих концентраціях стулки швидко закриваються.

Популяційний рівень біомоніторингу. Обрані для спостереження популяції повинні бути частиною екосистем, які зазнають забруднення.

Відбір видів для моніторингу. Для відбору видів необхідно мати дані про біоту досліджуваного району. Об'єктом спостережень може бути будь-яка група організмів: від мікрофлори до мегафауни і водоплавних птахів. Якщо програмою передбачено використання відносно маловідомих видів, потрібно детально вивчити також їх фізіологію і екологію.

При відборі видів необхідно враховувати їх просторове розміщення. Наприклад, у літоральній зоні перебуває найдоступніша частина морських мешканців. Їх використання особливо вигідне у випадку спостережень за антропогенними речовинами, які надходять у море з поверхні суші, наприклад нафти.

З глибиною доступність об'єктів погіршується і помітно зростає вартість відбору проб. Обмежена доступність може спричинити необхідність багаторазового відбору проб. Ускладнюють відбір проб також особливості поведінки організмів залежно від сезону, віку і міграції під час припливів. При розробці програм моніторингу слід використовувати широко розповсюджені у даному районі види. Це дозволяє збільшити число пунктів спостереження і число вивчених популяцій, доступних досліднику. В ідеальному варіанті популяція повинна рівномірно розподілятися на будь-якій обраній станції, оскільки нерівномірний (наприклад плямистий) розподіл потребує розробки відповідної статистичної програми.

При відборі видів для моніторингу слід надавати перевагу видам, які належать до різних трофічних рівнів і чутливі до потенційних забруднень. Вони можуть мати обмежене екологічне і промислове значення. Ідеальними для моніторингу

на популяційному рівні є чутливі ключові види (якщо роль їх в угрупованні відома). Для нафтового забруднення, наприклад, таким видом є морське блюдечко.

Рухливість вибраного виду повинна бути невисокою, щоб іміграція і еміграція не впливали на кінцеві результати. Перевагу надають видам, які ведуть осілий спосіб життя. Якщо рухливість виду висока, то дані про структуру популяції і її ріст будуть малоцінними. Адже тривалість дії забруднюючої речовини на популяцію виявиться невідомою через можливе уникання видом місць забруднення.

Завдання

1. За рекомендованою літературою встановити які показники використовуються у програмах біомоніторингу.
2. Заповнити узагальнюючу таблицю.

| Рівень біомоніторингу | Показники | Особливості показників і пристосування організмів |
|-----------------------|-----------|---|
| | | |

3. Підготувати відповіді на запитання:
 1. У чому полягають особливості відбору показників організменного рівня біомоніторингу?
 2. Які фізіологічні показники використовуються у програмах біомоніторингу?
 3. Ріст та розмноження організмів як показники біомоніторингу.
 4. Які особливості поведінки гідробіонтів використовують у біомоніторингу?
 5. Які особливості відбору видів для біомоніторингу?

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОЛОНОСТІ ТА МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ВОДИ НА ГІДРОБІОНТІВ

Мета заняття: ознайомитися з особливостями поширення і пристосування гідробіонтів до різної солоності водного середовища і можливістю їх використання для потреб біомоніторингу.

Теоретична частина. 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 ‰).

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 ‰)[6].

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

У прісних водах концентрація карбонатних іонів найбільша у порівнянні з вмістом інших іонів. Мінералізація морських (океанічних) вод визначається, в основному, хлоридами натрію і магнію.

Зелені водорості і ціанеї переважно прісноводні. Червоні і бурі переважно мешкають у солонуватих, солоних і пересолених водах. Діатомові в цілому рівнозначно представлені і в морських і в континентальних водоймах.

Більшість прісноводних організмів живе при підвищеній солоності води в гирлах річок, що впадають у море.

Дуже чутливі до зміни солоності води *бурі* водорості. Багато з них не здатні рости навіть і при незначному опрісненні. Тому бурі бідно представлені у Балтійському морі з порівняно низькою солоністю.

У *червоних* водоростей – подібна закономірність. У Середземному морі (солоність 37 – 39 ‰) – зустрічаються понад 300 видів червоних водоростей, у Чорному морі (солоність 17 – 18 ‰) – 129 видів, у Каспійському (10‰) – 22 види.

Конкретні види *діатомових* водоростей нерідко розвиваються при певній солоності і настільки чутливі до її змін, що можуть бути використані як індикаторні організми.

У пересолених (гіпергалінних) озерах, при майже граничному насиченні солями, живе і розвивається зябронігий рачок *Artemia salina*, який живиться зеленою джгутиковою водорістю *Dunaliella*.

Водорості, які мають назву *галобіонти* і вегетують при підвищеній концентрації у воді солей, що досягає 285 г/л в озерах з переважанням NaCl і 347 г/л в глауберових озерах. У пересолених гіпергалінних водоймах переважають одноклітинні рухливі зелені водорості – *гіпергалоби*, клітини яких не мають оболонки і оточені лише плазмалею (види родів *Dunaliella*, *Asteromonas*, *Pedinomonas*). Ці водорості мають високий вміст NaCl у протоплазмі, високий осмотичний тиск (до $250 \cdot 10^3$ ГПа), накопичують у клітинах каротиноїди і гліцерин. У солоних водоймах півдня України вони часто розвиваються у масових кількостях, викликаючи червоне або зелене «цвітіння» солоних водойм.

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 й інші хімічні елементи, розчинені в ній. Надлишок натрію, разом з іншими неорганічними компонентами, що надходять 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 спрямовані на затримання натрію, калію й інших елементів та 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. Організм прісноводних риб відносно водного середовища є *гіпертонічним*. Межі виживання основних видів риб при різній солоності води представлені нижче (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Оптимальна солоність води для риб – об'єктів товарного
рибництва

| Солоність води, ‰ | Риба |
|----------------------|--|
| До 5 | Короп (молодь), товстолобик, амур, сом, буфало, золотий карась, лин, язь, щука, храмуля |
| До 8 | Короп (дволітки і старші), судак, бестер, сазан, стерлядь, веслоніс, лящ, срібний карась |
| До 18 | Пелядь, деякі інші сигові |
| До 36 | Форель райдужна, лосось, кета, горбуша і інші лососеві, вугор, смугастий окунь, кефаль, осетер, севрюга, білуга, бичок (вирощується як корм) |
| До 40 | Кефаль, бичок, вугор, деякі тилапії |

На живі організми впливає також *кислотність* води. Наприклад, більшість харових водоростей живуть у лужних водах при високому значенні рН.

Розподіл вищих водних рослин залежно від типу вод за класифікацією Альокіна зробив Pietsch W. у 1972 році. Пізніше цю типологію дещо змінив Кокін К.А. і представив у вигляді схеми (рис. 3.1), де вказано види вищих водних рослин, які характерні для гідрокарбонатних та сульфатних вод при різному значенні рН.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, малюнки та натурні зразки ознайомитися з впливом мінерального складу води на гідробіонтів.
2. Замалювати характерних представників солоних і пересолених водойм.
3. Законспектувати теоретичну частину і підготуватися до письмової відповіді на питання «Охарактеризуйте вплив солоності і мінерального складу води на гідробіонтів».

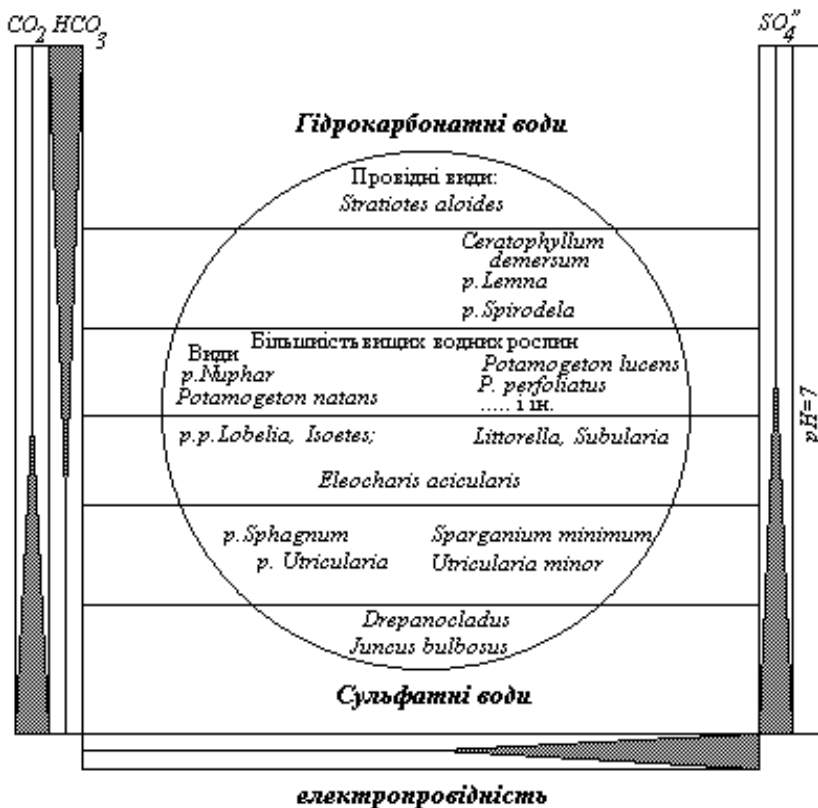


Рис. 3.1. Типологія вод і вищі водні рослини (за Pietsch, 1972, зі змінами)

4. ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЗА СИСТЕМОЮ САПРОБНОСТІ

Мета заняття: ознайомитися з системою сапробності та індикаторними організмами різних зон.

Теоретична частина. Оцінка забруднення водойм за шкалою сапробності, запропонована понад століття тому, в 1908 р. Р.Кольквітцем і М. Марссоном. За цією шкалою

водойми або їх зони залежно від ступеня забруднення органічними речовинами підрозділяються на *полі-*, *мезо-* і *олігосапробні*. Полісапробні водойми характеризуються майже повною відсутністю вільного кисню, наявністю у воді білків та пептидів, значних кількостей сірководню і вуглекислого газу, відновним характером біохімічних процесів. У мезосапробних водоймах забруднення виражене слабше: немає білків, що не розклалися, а сірководню і вуглекислого газу небагато, кисень присутній у помітних кількостях; проте у воді є ще такі слабко окиснені азотисті сполуки, як аміак, амінокислоти і амідокислоти. У олігосапробних водоймах сірководень відсутній, вуглекислого газу мало, кількість кисню близька до величини нормального насичення, розчинених органічних речовин практично немає. Іноді виділяють ще *катаробні води*, в яких кількість розчиненого кисню вище нормального (пересичені), а вільної вуглекислоти і сірководню немає зовсім.

У полісапробних водах самоочищення відбувається переважно внаслідок діяльності бактерій *Thiopolycoccus ruseri* і *Sphaerotilus natans*, джгутикових *Oicomonas mutabilis*, інфузорій *Paramecium putrinum* і *Vorticella putrina*, олігохет *Tubifex tubifex*, личинок мухи *Eristalis tenax*. Число видів, здатних жити в край забруднених водоймах, порівняно невелике, та зате вони зустрічаються тут в масових кількостях.

Мезосапробні води (зони водойм) підрозділяються на α - і β -*мезосапробні*. У першій, α -мезосапробній підзоні, зустрічаються аміак, аміно- і амідокислоти, але вже є і кисень. Найхарактерніші тут численні бактерії, гриб *Mucor*, ціанеї *Oscillatoria*, *Phormidium uncinatum*, найпростіші *Chlamydomonas debrayana*, *Euglena viridis*, *Stentor coeruleus*, багато коловерток, молюск *Sphaerium corneum*, рачок *Asellus aquaticus*, личинки двокрилих *Chironomus* і *Psychoda*. Мінералізація органічної речовини переважно відбувається шляхом аеробного окиснення, особливо бактерійного. Наступна підзона, β -мезосапробна, характеризується присутністю аміаку і продуктів його окиснення — азотної і азотистої кислоти. Амінокислот немає, сірководень присутній у незначних кількостях, кисню у воді багато, мінералізація

відбувається за рахунок повного окиснення органічної речовини. Видова різноманітність мешканців цієї підзони набагато вища, ніж попередньої, але чисельність і біомаса організмів нижчі. Найхарактерніші тут діатомові *Melosira varians*, *Diatoma* і *Navicula*, зелені *Cosmarium*, *Botrytis*, *Spirogyra crassa*, *Cladophora*, багато протококових і бактерій. Вперше з'являються квіткові рослини — кушир занурений *Ceratophyllum demersum*. З тварин численні кореніжки, сонцевики та інфузорії, починають траплятися губки, мохуватки і основна маса молюсків. Численні ракоподібні та риби.

Населення олігосапробних вод найрізноманітніше у видовому відношенні, але кількісно помітно бідніше, ніж в інших зонах.

На основі відомостей про видовий склад гідробіонтів, знайдених в тих або інших водах, можна скласти уявлення про те, наскільки останні чисті або забруднені. Тому перераховані вище організми і багато інших, характерні для зон різної сапробності, носять назву *біоіндикаторів* ступеня забруднення водойм. Індикаторна роль гідробіонтів характеризується не лише фактом знаходження або відсутності їх у водоймі, але і ступенем кількісної представленості.

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу ознайомитися з особливостями біоценозів різних за ступенем забруднення органічними речовинами водойм.
2. За готовими препаратами та малюнками визначити характерні види різних зон сапробності та замалювати їх.
3. Визначити ступінь сапробності водойми за відібраною пробою планктону та зробити висновки по роботі.

5. «ЦВІТІННЯ» ВОДИ ТА ОРГАНІЗМИ, ЩО ЙОГО ВИКЛИКАЮТЬ

Мета заняття: ознайомитися з представниками водоростей, які найчастіше викликають «цвітіння» водойм та способами запобігання цьому явищу.

Теоретична частина. Під «цвітінням» води розуміють інтенсивний розвиток водоростей в товщі води, внаслідок чого вона набуває різного забарвлення. При цьому колір води може варіювати від синьо-зеленого, яскраво-зеленого, сірого до жовто-зеленого, каштанового або яскраво-червоного, цегляно-червоного, червоно-бурого і коричневого (залежно від забарвлення організмів, які викликають «цвітіння», і їх чисельності).

Масовому розвитку водоростей аж до «цвітіння» води сприяє збільшення евтрофікації (евтрофування) водойм, яке відбувається як під впливом природних чинників (за тисячі і десятки тисяч років), так і, значно швидше, під впливом антропогенних чинників (за роки, десятки років).

«Цвітіння» води спостерігається як в континентальних водоймах (прісних, солонуватих і солоних), так і в морях та океанах (переважно в прибережних районах). У морях і океанах «цвітіння» води викликають переважно діатомові (*Centrophyceae*) і динофітові (*Dinophyta*), а також ціанеї. У морях помірних широт описані випадки червоного «цвітіння», обумовлені інтенсивним розвитком діатомових водоростей: *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl., *Eutreptiella pascheri*, *Aulacodiscus kittonii* Arn. var. *africana* (Cottan) Rattr., *Pyramimonas cruciata*. Дуже небезпечне «цвітіння» води, що викликається токсичними видами динофітових водоростей (види родів *Gonyaulax* Diesing, *Gymnodinium* Stein).

Червоне «цвітіння» спостерігається і в континентальних водоймах. Так, в Японії нерідко бурхливо розвивається прісноводна золотиста водорість *Uroglena americana* Calkius. Токсична золотиста водорість *Prymnesium parvum* Cart, викликає «цвітіння» в озерах, гірських басейнах і естуаріях Західної Європи і Близького Сходу. Калюжеподібні прісні водойми Середньої Європи нерідко забарвлюються в червоний колір *Haematococcus pluvialis* Flotow, а солоні водойми півдня України — в цегляний-червоний *Dunaliella salina* Teod. із зелених водоростей.

З прісноводних водойм, схильних до «цвітіння», в першу чергу слід зазначити великі рівнинні річки і побудовані на них

водосховища, а також стави різного призначення (біологічні, технічні, рибоводні, всілякі відстійники), озера, водойми-охолоджувачі.

У прісних водоймах літом «цвітіння» води найчастіше викликається ціанеями і динофітовими водоростями, навесні і восени – діатомовими. Рідше «цвітіння» води обумовлюють зелені або жовто-зелені водорості. З ціаней (синьозелених водоростей), що викликають «цвітіння» в дніпровських водосховищах, зустрічаються *Microcystis aeruginosa* Kutz. em. Elenk., *M. wesenbergii* Komarek, *Woronichinia naegeliana* (Ung.) Elenk., *Anabaena flos-aquae* Breb., *A. lemmermannii* P. Richt., *A. circinalis* (Kutz.) Hansg., *A. spiroides* Klebs., *A. affinis* Lemm., *A. scheremetievi* Elenk., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born, et Flah.

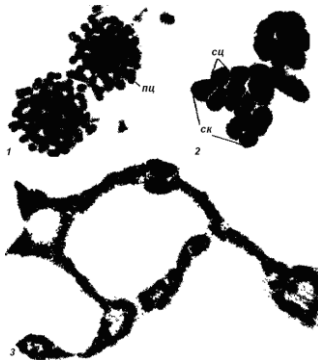


Рис. 5.1. *Microcystis aeruginosa* Kiitz. em. Elenk. f. *aeruginosa*:

1 — st. simplex; 2 — st. viridis; 3 — st. scriptus (*nc* — «простий» одноклітинний ціаноїд, *ск* — складна колонія; *сц* — складний ціаноїд)

Масове розмноження водоростей, переважно синьозелених ціаней, є одним з основних чинників, що погіршує питні якості води і ускладнює водопостачання. Під час масового розмноження водоростей вода набуває різних запахів і присмаку. Крім того, водорості та їх метаболіти можуть бути токсичними для людини. «Цвітіння» водойм знижує їх значення як місць відпочинку і спорту, а відмирання водоростей з їх подальшим розкладанням погіршує кисневий режим водойм,

особливо в придонному шарі, нерідко викликаючи загибель промислових риб і їх кормових організмів.

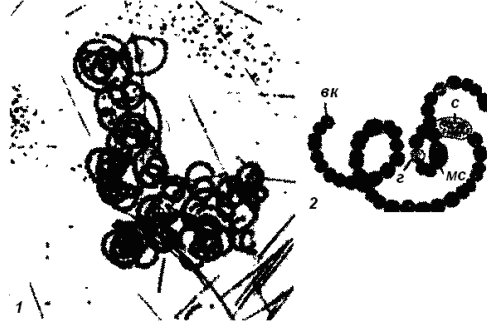


Рис. 52. *Anabaena flos-aquae* Bréb.: 1 – загальний вигляд колонії (клубочка); 2 – окрема нитка (вк – вегетативна клітина, г – гетероциста, мс – молода спора; с – спора (акінета))



Рис. 53. *Aphanizomenon flos-aque* (L.) Ralfs: 1 – загальний вигляд колонії (пучка ниток); 2 – кінці трихомів; 3 – акінета

У період «цвітіння» прісноводних водойм біомаса водоростей досягає 1,5—2,0 кг/м³, а в місцях їх скупчень — 5-7 кг/м³. У штильову погоду водорості збираються в поверхневих шарах води в т.з. плямах «цвітіння», де їх біомаса досягає 40-50 кг/м³ (у перерахунку на суху речовину, представлену сестоном). Для порівняння можна вказати, що в арктичних морях при «цвітінні» води біомаса фітопланктону досягає 6-14 г/м³, в Каспійському морі 1-3, в Азовському 270 г/м³. Вважають, що

помірна вегетація ціаней, до 250 г/м^3 (у сирій масі), не позначається негативно на екосистемі водойми, і, навіть, навпаки впливає на неї позитивно. При значному збільшенні біомаси водоростей (до 500 г/м^3 і вище), починає виявлятися біологічне забруднення, унаслідок чого значно погіршується якість води. Зокрема, змінюється її кольоровість, рН, в'язкість, знижується прозорість, змінюється спектральний склад проникаючої у водну товщу сонячної радіації в результаті розсіювання і поглинання водоростями світлових променів. У воді з'являються токсичні сполуки (продукти життєдіяльності водоростей і супутніх бактерій) та велика кількість органічних речовин, що слугують поживним середовищем для бактерій, у тому числі патогенних. Вода набуває неприємного запаху (наприклад, водорість *Anabaena lemmermanni* додає воді затхлий запах, *Microcystis aeruginosa* — сильний ароматичний, *Ceratium hirundinella* — запах риб'ячого жиру).

Виникає дефіцит розчиненого кисню, який витрачається на дихання водоростей і розкладання відмерлої біомаси. Нестача кисню призводить до літніх заморів риб та інших гідробіонтів, а також гальмує процеси самоочищення і мінералізації органічної речовини. Все це сприяє накопиченню у воді все більшої кількості різних шкідливих речовин, багато з яких небезпечні для людини (токсини, канцерогенні сполуки, алергени). При бродінні і розкладанні водоростей у воді накопичується ацетон, масляна і оцтова кислоти, бутиловий спирт, феноли, аміни типу трупної отрути тощо.

Крім того, через велику кількість суспензій у воді її важко очистити фільтруванням, а підвищена концентрація солей приводить до утворення накипів і осадів у системі технічного водопостачання.

Боротьба з «цвітінням» повинна бути спрямована перш за все на запобігання антропогенній евтрофікації водойм, а також на ліквідацію вже наявних негативних наслідків «цвітіння». В той же час, не можна забувати про перспективи використання біомаси водоростей вилученої з водойм в господарських цілях.

Для профілактики евтрофікації штучних водойм рекомендується виконувати комплекс водозахисних заходів, який

включає прибирання території майбутнього ложа ставу, надійне поховання торфовищ, створення навколо водойм водозахисної зони, тобто насадження наземної і водної рослинності. Вважають, що з водних рослин дуже перспективні очерет і рогіз, які поглинають з води величезну кількість хімічних елементів і детоксифікують різноманітні отруйні сполуки. Очерет, крім того, пригнічує розвиток ціаней.

Заходи з профілактики евтрофікації різноманітних водойм передбачають також обмеження на території водозбору розвитку тваринницьких комплексів, зміна агротехніки сільськогосподарських робіт (використання гранульованих добрив, збільшення глибини їх заорювання в ґрунт, дотримання термінів їх внесення до ґрунту) і здійснення заходів щодо захисту ґрунту від ерозії. Заслужують уваги такі водозахисні заходи, як припинення скидання стічних вод або відведення їх за межі водних об'єктів; будівництво буферних водойм і додаткових водних об'єктів, що не допускають стічні води в основну водойму; поліпшення очищення стічних вод, зв'язування і осадження фосфору у водоймах; використання штучної аерації водойм за допомогою повітря або кисню; скидання з озер і водосховищ збагаченого поживними речовинами придонного шару води; використання альгіцидів для пригнічення розвитку водоростей і, нарешті, видалення з водойм надмірної органічної речовини. Водночас вилучена біомаса є цінною природною органічною речовиною, яка може застосовуватися в господарстві для різних потреб.

Відмічена позитивна роль рослиноїдних риб (зокрема білого товстолобика) в очищенні водойм, схильних до «цвітіння». При цьому товстолобик не отруюється токсинами і не накопичує їх в своєму тілі, якщо «цвітіння» води не перевищує певних меж; потрапляючи ж у масові скупчення ціаней, що особливо знаходяться на стадії розкладання, білий товстолобик також гине, як і інші риби. У деяких країнах для деєвтрофікації водосховищ з успіхом використовують теплолюбну тиліпію.

Вірогідні терміни масової появи водоростей досить точно прогнозуються за допомогою наступної методики. Воду з

водойми поміщають в *термолюміностат*, в умови, що прискорюють масову появу водоростей (висока температура, цілодобове освітлення). Встановивши час масової появи водоростей в термолюміностаті і знаючи величину прискорення біологічних процесів, що надається ним, можна визначити, коли почнеться масове розмноження водоростей у досліджуваній водоймі.

Завдання

1. За рекомендованою літературою встановити причини «цвітіння» континентальних водойм та способи запобігання цьому явищу.
2. За готовими препаратами і малюнками вивчити морфологічні особливості видів водоростей, які найчастіше викликають «цвітіння» води та замалювати їх в альбом.
3. Встановити, які види викликають «цвітіння» води досліджуваного водного об'єкту (р. Устя).
4. Розробити комплекс заходів щодо запобігання «цвітінню» води річки та зробити висновки.

6. 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. 6.1-3).

Таблиця 6.1

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, 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> |
| 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 ($N_{\text{заг}}$, $N\text{-NH}_4^+$, $N\text{-NO}_3^-$, $N\text{-NO}_2^-$, $P_{\text{заг}}$, $P\text{-PO}_4^{3-}$).</p> <p>Специфічні забруднюючі речовини: синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини, що надходять у водний об'єкт</p> |

Таблиця 6.2

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 масиву поверхневих вод в референційних умовах</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 «добрий»</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». Концентрації хімічних та фізико-хімічних показників перевищують екологічні нормативи якості, встановлені для екологічного стану «задовільний»</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> |

Таблиця 6.3

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

| | Стан «відмінний» | Стан «добрий» | Стан «задовільний» |
|--|--|---|---|
| Загальні умови | Значення хімічних та фізико-хімічних показників відповідають повністю або майже повністю умовам, за яких відсутні антропогенні впливи. Концентрації біогенних речовин залишаються в межах діапазону, характерного для умов, за яких відсутні антропогенні впливи. Температура, водневий показник, кисневий режим не виявляють ознак антропогенних впливів і залишаються у діапазоні, характерному для умов, за яких відсутні антропогенні впливи | Температура, водневий показник, кисневий режим знаходяться в межах діапазону, встановленого для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних показників. Концентрації біогенних речовин не перевищують рівнів, встановлених для забезпечення функціонування екосистеми і досягнення значень, наведених для біологічних показників | Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників |
| Специфічні синтетичні забруднюючі речовини | Концентрації близькі до нуля або принаймні нижчі, ніж поріг виявлення найбільш сучасного аналітичного обладнання | Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості | Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Специфічні несинтетичні забруднюючі речовини | Концентрації залишаються в межах діапазону, характерного для умов, за яких відсутні антропогенні впливи | Концентрації не перевищують екологічних нормативів якості | Умови, що дають змогу досягти значень, наведених для біологічних показників |
|---|---|---|---|

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

Як методичну базу для виконання гідроекологічної оцінки застосовують «Методику екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями», кількісним узагальненням якої є інтегральний екологічний індекс (I_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 6.1:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (6.1)$$

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 6.1-6.3.
2. Використовуючи рекомендовану літературу, ознайомитись з методикою екологічної оцінки якості води за 5 класами і 7 категоріями. Використовуючи дані до попередньої роботи, поррахувати 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.

7. ФІТОІНДИКАЦІЯ ТА КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД

Мета заняття: ознайомитися з процедурами фітоіндикації для комплексної екологічної оцінки якості води та стану водного середовища континентальних водойм.

Теоретична частина. Більшість гідробіологічних досліджень трудомісткі і довготривалі, вимагають

кваліфікованих спеціалістів і спеціального обладнання. І тут на допомогу можуть прийти вищі водні рослини. Недаремно існує думка, що рослинність – це дзеркало довкілля. На відміну від рухливих тваринних організмів, рослини не можуть уникнути несприятливих для життя умов шляхом перемішень у просторі. Вони постійно «перебувають на посту» і сигналізують про порушення. Завдання дослідника природи – виявити ці сигнали і правильно їх розтлумачити.

Фітоіндикація – один з напрямків екології рослин, геоботаніки, який ставить за мету оцінити стан довкілля за реакцією рослинного світу, за зміною флористичних ознак. Поняття «флористичні ознаки» за Дідухом і Плютою (1994) вживається у широкому розумінні і «включає як властивості видів, рослинних угруповань, так і власне види або групи видів, рослинні угруповання, їх кількісні відношення, відображення на картах, схемах тощо».

Як і решта організмів, вищі рослини реагують на зміну екологічних умов середовища існування. За адаптаційними властивостями водні рослини, досить умовно, поділяються на політопні – очерет звичайний (*Phragmites australis*), лепешняк великий (*Glyceria maxima*), стрілолист стрілолистий (*Sagittaria sagittifolia*), сусак зонтичний (*Butomus umbellatus*) і інші, стенотопні – катаброза водяна (*Catabrosa aquatica*), зіркоплідник частуховидний (*Damasonium alisma*), руслиця мокрична (*Elatine alsinastrum*), кушир напівзанурений (*Ceratophyllum submersum*) та проміжні види. Індикаційні властивості видів, залежно від їх адаптаційних можливостей, розглядаються у зв'язку зі зміною їх структурних, продукційних показників, або зі змінами їх життєвого циклу. Найбільшу чутливість до якості води мають занурені рослини, оскільки контакт з водним середовищем у них максимальний. Деяко менша залежність у нейстофітів і плейстофітів. Згідно результатів досліджень науковців у цій галузі, найменшою чутливістю до стану водного середовища з усіх екологічних груп володіють прибережні повітряно-водні рослини.

Процедури процесу фітоіндикації забруднення водних екосистем за вищими водними рослинами (ВВР). За Дідухом і Плютою (1994) процес фітоіндикації включає п'ять процедур.

Перша – вибір індиката, що передбачає постановку мети індикації (*що індикувати?*). У нашому випадку індикат – антропогенне забруднення водних екосистем, якість води, екологічний стан водного середовища.

Друга – вибір способу та масштабу виміру величини чи зміни індикатора (*де індикувати?*). Для виміру величини антропогенного забруднення водних об'єктів використаємо значення комплексного екологічного індексу (Іе), як інтегрального показника забруднення поверхневих вод.

Гідрохімічні дослідження повинні фіксувати рівень забруднення води впродовж кількох років, оскільки для трансформації угруповань макрофітів під його впливом потрібен певний час. Для оцінки якості поверхневих вод проводять відбори проб води згідно рекомендацій Держкомгідромету до 4 разів на рік за гідрологічними сезонами. Лабораторні аналізи з визначення показників якості води виконують згідно з чинними керівними нормативними документами.

Третя процедура – пошук індикатора на основі логічного доведення його каузальних зв'язків з даним фактором (*чим індикувати?*)

Індикатор – угруповання вищих водних рослин. Зв'язки між індикатором і індикатом доведені науковцями у процесі досліджень у цій галузі.

Четверта процедура – це розробка шкали зміни індикаційних ознак (*як індикувати?*). Ознаки – це якісні та кількісні показники популяцій і угруповань ВВР, за якими можна оцінити рівень антропогенного забруднення води у кількох градаціях.

Для виявлення зв'язку між забрудненням води на основі екологічного індексу Іе та частотою трапляння видів ВВР на різних ділянках річки можна використати елементи кількісного градієнтного аналізу (аналізу - R).

П'ята процедура – визначення ступеню кореляції між

зміною фактора і індикатора та способу його вираження (*наскільки індикувати?*).

Завдання

1. Використовуючи рекомендовану літературу, ознайомитись із послідовністю дій у процесі фітоіндикації водних екосистем.
2. Користуючись табличними даними обчислити комплексний екологічний індекс якості поверхневих вод для різних створів річок.
3. Заповнити таблицю і зробити висновки по роботі.

8. ВИЗНАЧЕННЯ ВИДІВ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН. ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ГРУПИ

Мета заняття: ознайомитися з еколого-біологічними групами водних рослин та визначити до якої групи належать запропоновані види.

Теоретична частина. При вивченні рослинності водойм та водотоків дослідник має справу з різними за морфологічними, біологічними та екологічними особливостями видами. Перш ніж приступати до індикації стану водних екосистем за вищими водними рослинами потрібно з'ясувати ці особливості.

Мікрофіти – це мікроскопічні водні рослини, водорості. Відповідно, макрофіти – це видимі неозброєним оком водні рослини. Макрофітами називають вищі водні рослини і нижчі рослини – макроскопічні водорості (харові, зелені тощо). У нижчих рослин (водоростей) тіло не розчленоване на органи і тканини, на відміну від вищих, у яких є складно побудовані вегетативні і генеративні органи: стебло, листок, корінь, квітка.

Вищі водні рослини (ВВР) об'єднуються в три великі *еколого-біологічні групи*.

1. Гідатофіти – занурені в воду рослини:
 - а) безкореневі, вільноплаваючі (завислі) в товщі води або прикріплені зануреними в мул нижніми частинами стебла;
 - б) укорінені.
2. Нейстофіти – рослини з плаваючими асиміляційними органами:

- а) вільно плаваючі на поверхні води;
 б) укорінені з плаваючими листками.
3. Гелофіти – надводні (повітряно-водні, земноводні) зі стеблами, які розташовані над водою (рис. 8.1).

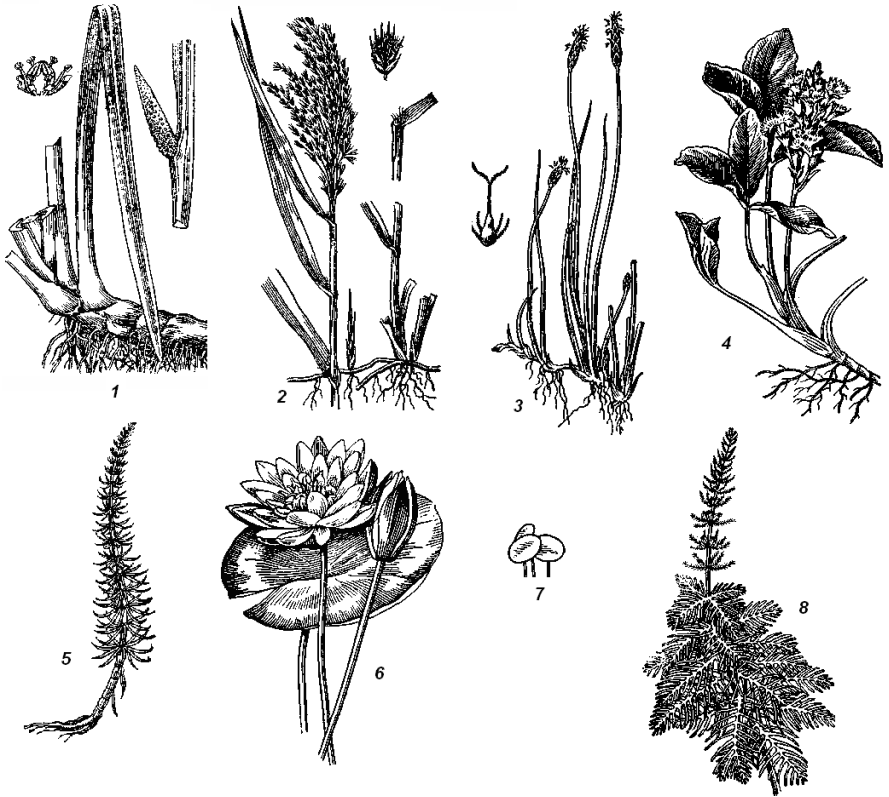


Рис. 8.1. Судинні макрофіти

1 – *Acorus calamus*, 2 – *Phragmites australis*, 3 – *Eleocharis palustris*, 4 – *Menyanthes trifoliata*, 5 – *Hippuris vulgaris*, 6 – *Nymphaea alba*, 7 – *Lemna minor*, 8 – *Myriophyllum verticillatum* (1-5 – гелофіти, 6 – нейстофіт, 7 – плейстофіт, 8 – гідатофіт)

Життєві форми. Вищі водні рослини ростуть в умовах коливання рівня води впродовж вегетаційного періоду.

Амплітуда реакцій пристосування до зміни рівня води у видів різних екологічних груп різна. За класифікацією Гейни С. (1993), групи біоморф водних макрофітів об'єднуються до 12 екологічних типів. В основу виділення екотипів покладено ознаку проходження певних етапів розвитку рослини за наявності коливання рівня води протягом вегетаційного періоду.

У флорі водойм України переважають багаторічні рослини з потужними кореневищами, здатні до інтенсивного вегетативного розмноження. Є види, насінне розмноження яких пригнічене, буває рідко, не завжди і не всюди; у них переважає розмноження вегетативним шляхом. Це – представники родини ряскових (*Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*), очерет звичайний (*Phragmites australis*) тощо.

Розрізняють два типи запилення квіткових рослин: ксеногамія і автогамія. Перехресне, коли на приймочку маточки квітки однієї рослини потрапляє пилок з іншої – це ксеногамія. Автозапилення (на приймочку маточки потрапляє пилок тієї самої рослини) – це автогамія.

За способом *перенесення пилку* з однієї на приймочку маточки іншої рослини поділяють на анемофілів (вітрозапильних), гідрофілів (переноситься водою) та ентомофілів (переноситься комахами).

За способом *розповсюдження плодів і насіння* у квіткових рослин теж розрізняють кілька еколого-біологічних груп, кожна з яких має специфічні пристосування. Наприклад, рослини, які розповсюджуються за допомогою тварин (зоохори) можуть мати соковиті м'ясисті плоди, але сама насінина оточена міцною оболонкою, яка не перетравлюється у шлунково-кишковому тракті. Вони охоче поїдаються тваринами і у такий спосіб переносяться ними на нові місця зростання. Рослини-зоохори також можуть мати сухі плоди з гачками і зачіпками, які зачіпляються за шерсть тварин і одяг людей.

Рослини, які розповсюджуються вітром (анемохори), мають легке насіння з виростами, опушенням, «парашутиками» і іншими пристосуваннями, які збільшують парусність плодів і насіння.

Види, які пристосувалися до розповсюдження водними течіями (гідрохори), теж мають спеціальні пристосування для утримання на воді плодів і насіння і збільшення їх плавучості.

Завдання

1. Вивчити гербарні матеріали і підготувати таблицю для заповнення (табл. 8.1).
2. Визначити систематичне положення кожного виду вищих водних рослин. Заповнити таблицю 8.1, види в межах родини (1).
3. Користуючись літературними джерелами встановити, біоморфу (2), гігоморфну (3), групу за способом запилення і розповсюдження плодів і насіння (6, 7). Зробити висновки по роботі.

Таблиця 8.1

Перелік вищих водних та прибережно-водних рослин і їх біоекологічна паспортизація

| <i>Види у межах родини</i> | Біоморфи | Гігоморфи | Життєві форми | Біоморфи за клас. Гейни | Група за способом запилення | Група за способом розповсюдження | Тип стратегії |
|----------------------------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|----------------------|
| <i>1</i> | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

Приклад

| <i>1</i> | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|

Частухові (Alismataceae)

Частуха

подорожникова (Alisma plantago-aquatica L.)

Per

He

гемікриптофіт

гідроохтофіт

анемофіл
ентомофіл

гідрохор, зоохор

R-стратег
експлерент

Скорочені латинські позначення екоморф видів рослин

Гігроморфи:

Hu (Hydatophyton) – гідатофіт
(занурений);

Pl (Pleistophyton) – плейстофіт (з
плаваючим листям);

He (Helophyton) – гелофіт
(повітряно-водний);

Hg (Hydrophyton) – гідрофіт
(вологих місцезростань);

Ms (Mesophyton) – мезофіт
(середніх по зволоженню
місцезростань).

Біоморфи:

Ann – однорічник;

Per – багаторічник.

Інші:

r (Radicatus) – укорінений;

er (Eradicatus) – неукорінений;

Adv (Adventus) – занесений з
інших географічних зон.

9. ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВИХ ФОРМ ТА ТИПІВ СТРАТЕГІЙ РОСЛИН В УГРУПОВАННЯХ

Мета заняття: ознайомитися з життєвими формами вищих водних рослин та типами стратегій в угрупованнях, визначити життєві форми і типи стратегій запропонованих видів судинних макрофітів.

Теоретична частина. *Класифікація життєвих форм рослин за Раункієром К. (1906-1907).* Це найпопулярніша система життєвих форм. Побудована на ознаці, що характеризує пристосування рослин до перенесення несприятливої пори (холодної або сухої – за положенням бруньок відновлення на рослині відносно рівня субстрату і снігового покриву.

Раункієр виділив 5 головних життєвих форм: фанерофіти, хамефіти, гемікриптофіти, криптофіти і терофіти.

У *фанерофітів* бруньки зимують або переносять сухий період «відкрито», досить високо над землею (дерева, кущі, дерев'яністі ліани, епіфіти), тому переважно захищені спеціальними лусочками, що зберігають конус наростання і молоді зачатки листків від втрати вологи.

У *хамефітів* бруньки розташовуються майже на рівні ґрунту або не вище 20-30 см над ним (кущики, півкущики, рослини, що стеляться). У холодному і помірному кліматі ці бруньки зимують під снігом.

У *гемікриптофітів* бруньки відновлення перебувають на рівні ґрунту, або занурені у ґрунт чи підстилку з опалого листя та решток рослин на деяку глибину. Це трав'янисті багаторічні рослини.

Криптофіти – представлені або геофітами з бруньками відновлення в землі на деякій глибині (кореневища, бульби і цибулини), або гідрофітами з бруньками відновлення, що зимують під водою. Криптофіти – це геофіти водні.

У *терофітів* усі вегетативні частини відмирають до кінця сезону і зимуючих бруньок не залишається. Вони відновлюються на наступний рік із насіння.

Раункієр з'ясував взаємозв'язок життєвих форм з кліматом. У вологих тропіках переважають фанерофіти, у помірній зоні – гемікриптофіти, у пустелях – терофіти, у тундрі і пустелях – хамефіти.

У ході еволюції рослинного світу змінювалися і життєві форми. Перші наземні рослини, що вийшли з води на сушу були невисокими рослинами, подібними до сучасних трав'янистих. Пізніше розвивалися великі деревовидні форми, у тому числі папороті до 30-45 м висотою. Були і трав'янисті папороті, що дожили до наших днів.

Голонасінні представляють собою деревну групу. Квіткові рослини – найрізноманітніші за життєвими формами. У ході еволюції покритонасінні пройшли шлях від порівняно невисоких з товстими стовбурами, малорозгалужених розеткових дерев (подібних до сучасних пальм і динного дерева), до великих справжніх дерев з добре розвинутим стовбуром і кроною; від дерев – до кущів, кущиків і різноманітних трав. Трав'янисті рослини більш пристосовані до освоєння нових екологічних умов.

За *типом стратегій* рослин в угрупованнях рослини відносять до таких типів:

Виоленти (рослини-леви, конкуренти, К-стратегі) – це рослини, які мають високу конкурентну спроможність, енергійно розвиваючись вони захоплюють територію і утримують її за собою, підкоряючи і пригнічуючи суперників енергією життєдіяльності і повнотою використання середовища.

Патієнти (рослини-верблюди, витривалі, S-стратегі) – у боротьбі за існування беруть не енергією життєдіяльності та росту, а своєю витривалістю до вкрай суворих умов, постійних або тимчасових.

Експлеренти (рослини-шакали, рудерали, R-стратегі) – мають дуже низьку конкурентну спроможність, проте здатні дуже швидко захоплювати звільнену територію, заповнюючи проміжки між сильнішими рослинами; так само легко вони витісняються останніми. Вони інтенсивно розмножуються, формують «банки насіння», зростають на порушених територіях – бур'яни, рудерали.

Дж. Грайм виділив три типи стратегій і назвав їх первинними, вказавши, що існують вторинні типи стратегій і, через це, поділ рослин досить умовний. Зараз ці три типи стратегій називають типами Раменського-Грайма.

Американський еколог Піанка для розуміння принципів виділення стратегічних типів підкреслив роль урахування частки енергії, яку використовує організм на розмноження, від загальних річних витрат на життєдіяльність і розробив концепцію двох полярних типів К і г.

У першому випадку (К), основна життєва енергія рослини йде на підтримання вегетативної активності (ріст і підтримання організму в дорослому стані). Такі організми звичайно живуть багато років і їх внесок у кожний акт розмноження обмежений.

У другому випадку (г), велика кількість енергії використовується на розмноження, на «виробництво» великої кількості потомства. Вони, як правило, живуть недовго, ефективно розмножуються і вид підтримує свою стабільність за рахунок великого енергетичного внеску на виробництво нащадків, які викидаються навмання і, внаслідок величезної кількості особин, деś виживають.

На думку Дідуха і Плюти (1994) найкращі результати фітоіндикація за видовим складом угруповань дає у природних або близьких до природних екотопах, де домінують віоленти і патієнти.

Завдання

1. Продовжити заповнення таблиці 8.1 (див. роботу 8).

2. Користуючись літературними джерелами встановити життєву форму і тип стратегії.
3. Замалювати у альбом вищі водні рослини.
4. Зробити висновки по роботі.

10. ВВР ЯК ІНДИКАТОРИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття: ознайомитися з індикаторними властивостями окремих видів ВВР.

Теоретична частина. Оцінюючи якість води за біологічними показниками більшість дослідників основну увагу звертали на організми фіто- та зоопланктону. Вищі водні рослини з цією метою використовували рідко. Відомий ряд спроб визначення типу вод за угрупованнями вищих водних рослин і виділення індикаторних видів. Значний інтерес представляє список ВВР у системі сапробності, поданий чеським ученим Сладечком В. у 1973 році (табл. 10.1). За висновком дослідника, ВВР розвиваються, переважно, в олігосапробній та β -мезосапробній зонах.

Таблиця 10.1

Вищі водні рослини в системі сапробності
(за Sladecsek, 1973 зі змінами)

| Вид | Зона | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | <i>s</i> | <i>x</i> | <i>o</i> | β | α | <i>p</i> | <i>I</i> | <i>S</i> |
| <i>Equisetum fluviatile</i> | <i>o</i> | 2 | 8 | - | - | - | 4 | 0,8 |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> | β | - | 2 | 8 | - | - | 4 | 1,8 |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | β | - | 1 | 9 | - | - | 5 | 1,9 |
| <i>Potamogeton gramineus</i> | β | - | 3 | 7 | - | - | 4 | 1,7 |
| <i>Potamogeton lucens</i> | β - <i>o</i> | - | 6 | 4 | - | - | 3 | 1,4 |
| <i>Potamogeton crispus</i> | β | - | 2 | 8 | - | - | 4 | 1,8 |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> | β | - | 3 | 7 | - | - | 4 | 1,7 |
| <i>Nuphar lutea</i> | β - <i>o</i> | - | 5 | 5 | - | - | 3 | 1,7 |
| <i>Nymphaea alba</i> | β - <i>o</i> | - | 7 | 3 | - | - | 3 | 1,4 |
| <i>Spirodela polyrrhiza</i> | β | - | 1 | 8 | 1 | - | 4 | 2,0 |
| <i>Elodea canadensis</i> | β | - | 2 | 7 | 1 | - | 3 | 1,85 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|---|---|---|---|---|---|------|
| <i>Lemna minor</i> | β | - | 1 | 6 | 3 | - | 3 | 2,25 |
| <i>Lemna trisulca</i> | $\alpha\beta$ | - | 5 | 5 | - | - | 3 | 1,8 |
| <i>Polygonum amphibium</i> | β | - | 3 | 6 | 1 | - | 3 | 1,75 |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> | $\alpha\beta$ | - | 5 | 5 | - | - | 3 | 1,5 |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> | $\alpha\beta$ | - | 6 | 4 | - | - | 3 | 1,4 |

У роботі колективу авторів «Макрофіти – індикатори змін природного середовища» (1993), зроблено спробу підсумувати працю попередників у галузі використання ВВР для індикації змін стану природного середовища. Авторами підкреслено більшу чутливість до забруднення води гідроморфних макрофітів. Це впливає з їх екології і неодноразово згадувалося в літературі раніше.

Найближчий до нашого університету водний об'єкт – річка Устя і процедури фітоіндикації можна застосувати щодо рослинного покриву цієї річки. Це добре вивчений водний об'єкт, історія його досліджень має майже вікову історію. Наприклад, рослинність у басейні річки Устя досліджували у 1933 році польський вчений Panek J., у 1972 році відомий український ботанік Дідух Я.П. Згаданих авторів цікавила ділянка степової рослинності на території сучасного ботанічного заказника «Вишнева гора».

Оскільки більшість гідробіологічних досліджень трудомісткі та довготривалі, повинні виконуватися кваліфікованими спеціалістами-систематиками, а одних лише гідрохімічних показників недостатньо для повної характеристики екологічного стану досліджуваного водного об'єкта, на допомогу можуть прийти традиційні та нові методи фітоіндикації. Визначити видовий склад угруповань ВВР порівняно легше, ніж організми фіто- чи зоопланктону, які традиційно використовують у аналізі.

Багато наукових робіт містить суперечливі дані щодо індикаторної ролі окремих видів, не підтверджені математичними залежностями та не визначено імовірні межі дії екологічних факторів антропогенного походження. Частково це пояснюється стійкістю ВВР до короточасних спалахів забруднення, широкими географічними та екологічними ареалами рослин. Але більшість вчених визнають, що вища водна рослинність чутливо реагує на зміни довкілля; при

забрудненні водойм змінюється видовий склад, біомаса і продуктивність фітоценозу, виникають морфологічні аномалії, відбувається зміна едіфікаторів. Видовий склад та розвиток угруповань макрофітів відповідають умовам в яких перебувають рослини до моменту досліджень. Отже, за станом вищої водної рослинності можна судити про середнє забруднення води за певний проміжок часу, що передував дослідженню.

Підкреслюємо, і це неодноразово згадувалося у літературі, що можливості фітоіндикації обмежуються природними факторами, які впливають на розвиток водних рослин: активний вітро-хвильовий вплив; швидка течія, яка не лише зносить неукорінені рослини, але і визначає розвиток інших екологічних груп макрофітів; значні коливання рівня води впродовж вегетаційного періоду; характер донних відкладень – гравійні, галькові та піщані легко рухливі ґрунти мало сприятливі для розвитку рослинності тощо.

Завдання

1. Користуючись результатами попередньої роботи та даними літературних джерел скласти біоекологічний паспорт вищих водних рослин.
2. З'ясувати які види найчутливіші до стану водного середовища і якості води.
3. Зробити висновки по роботі.

11. МЕТОДИ ОЦІНКИ ІНДИКАТОРНОСТІ ВИДІВ

Мета заняття: ознайомитися з методом визначення індикаторної інформативності за методом Василевича В.І.

Теоретична частина. Для оцінки індикаторної інформативності видів і відбору найбільш інформативних з них, використовують метод Василевича В.І. (1972). Метод полягає в наступному: спочатку вісь ординації ділиться на k частин, якщо число описів у кожній частині градієнта M_j , а число описів, у яких зустрічався вид i , відповідно m_{ij} , то індикаторне значення цього виду визначається за формулою (11.1):

$$H_i = \frac{I}{\log k} \left[- \sum_{j=1}^k \frac{m_{ij}}{M_j} \log \frac{m_{ij}}{M_j} \right]; \quad (11.1)$$

Величина H_i являє собою ступінь евритопності виду: $H_i = 0$, якщо вид зустрічається у межах одного відрізка осі, і $H_i = 1$, якщо вид «проходить» через усі градації.

Віссю ординації є значення комплексного екологічного індексу (робота № 2). Вісь ординації потрібно поділити на декілька частин. Розподіл ділянок дослідження ВВР за комплексним екологічним індексом виглядає наступним чином:

- 1 градація (задовільний стан водного середовища) – I_e від 3,0 до 5,0;
- 2 градація (посередній стан) – I_e від 5,1 до 8,0);
- 3 градація (перехідний стан) – I_e від 8,1 до 13,0);
- 4 градація (поганий стан) – значення I_e понад 13,0.

Завдання

1. Визначити середнє значення I_e у кожній градації.
2. Заповнити таблицю 11.1.

Таблиця 11.1

Градації забруднення за класами та категоріями якості води

| Характеристика, показник | Градації забруднення | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Стан водного середовища | | | | |
| I_e | | | | |
| I_e (середнє) | | | | |
| Число описів ВР | | | | |

3. Побудувати графік розподілу постійності видів за градієнтом якості води.
4. Провести розрахунок H_i .
5. Зробити висновки по роботі.

Приклад виконання завдання

Завдання. 1. Побудувати графік розподілу постійності виду за градієнтом загального засолення ґрунту (за даними Бурцевої (1978).

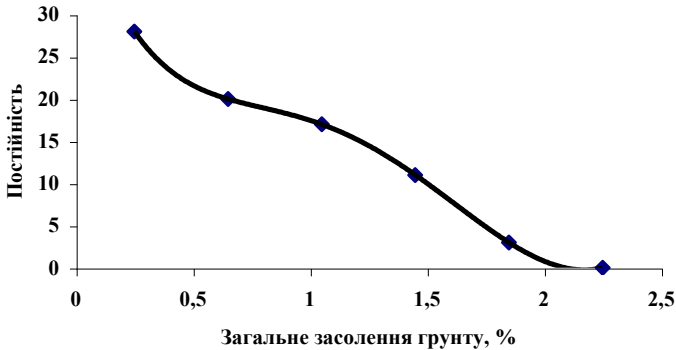
| | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Градації | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Загальне засолення | 0,1- | 0,5- | 0,9- | 1,3- | 1,7- | 2,1- |

| | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| (від – до), середнє, % | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 |
| | 0,25 | 0,65 | 1,05 | 1,45 | 1,85 | 2,25 |
| Кількість описів | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Число ділянок на яких виявлено вид | | | | | | |
| <i>Artemisia commutata</i> | 28 | 20 | 17 | 11 | 3 | 0 |

2. Розрахувати індикаторне значення.

Розв'язок

1. Графік розподілу постійності виду за градієнтом загального засолення ґрунту



$$2. H_i = \frac{1}{\log 6} \left(- \left(\frac{28}{40} \log \frac{28}{40} + \frac{20}{40} \log \frac{20}{40} + \frac{17}{40} \log \frac{17}{40} + \frac{11}{40} \log \frac{11}{40} + \frac{3}{40} \log \frac{3}{40} \right) \right) = 0,84$$

12. ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ФАКТОРА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ

Мета заняття: навчитися визначати середньозважену напруженість фактора забруднення води для водних рослин.

Теоретична частина. Середньозважена напруженість фактора – це екологічний центр розподілу виду. Показник характеризує середнє положення виду на градієнті середовища з елімінацією різниці числа зустрічі у зв'язку з різною представленістю класів у виборці (12.1):

$$\overline{X}_i = \sum_{j=1}^k p_{ij} x_j \quad (12.1); \quad p_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_j \sum_{l=1}^k \frac{m_{il}}{n_l}} \quad (12.2);$$

одночасно з визначенням \overline{X}_i розраховується дисперсія, як показник екологічної амплітуди виду за градієнтом (12.3):

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^k p_{ij} (x_j - \overline{X}_i)^2 \quad (12.3)$$

де x_j – середнє значення фактору для j -ої градації ($j=1, k$), n_j - число спостережень в j -й градації, m_{ij} – число зустрічі виду i у описах j -ої градації. За середнє значення фактора для градації беремо середнє арифметичне KEI по створах, які в неї потрапили.

Завдання

1. Обчислити середньозважену напруженість фактора \overline{X}_i (екологічний центр розподілу) за градієнтом забруднення води (за значенням KEI).
2. Обчислити амплітуду середньозваженої напруженості фактора σ_i^2 (екологічну амплітуду) за градієнтом забруднення води.
3. Результати обчислення подати у табличній та графічній формі.

Приклад виконання завдання

1. Розраховуємо середньозважену напруженість фактора (екологічний центр розподілу виду)¹

$$p_1 = \frac{28}{40 \left(\frac{28}{40} + \frac{20}{40} + \frac{17}{40} + \frac{11}{40} + \frac{3}{40} + \frac{0}{40} \right)} = \frac{28}{79} = 0,35;$$

$$p_2 = \frac{20}{40 \left(\frac{28}{40} + \frac{20}{40} + \frac{17}{40} + \frac{11}{40} + \frac{3}{40} + \frac{0}{40} \right)} = \frac{20}{79} = 0,25;$$

¹ Використовуємо дані попередньої роботи

$$p_3 = \frac{17}{40 \left(\frac{28}{40} + \frac{20}{40} + \frac{17}{40} + \frac{11}{40} + \frac{3}{40} + \frac{0}{40} \right)} = \frac{17}{79} = 0,21;$$

$$p_4 = \frac{11}{40 \left(\frac{28}{40} + \frac{20}{40} + \frac{17}{40} + \frac{11}{40} + \frac{3}{40} + \frac{0}{40} \right)} = \frac{11}{79} = 0,13;$$

$$p_5 = \frac{3}{40 \left(\frac{28}{40} + \frac{20}{40} + \frac{17}{40} + \frac{11}{40} + \frac{3}{40} + \frac{0}{40} \right)} = \frac{3}{79} = 0,03;$$

$$\bar{X}_i = 0,35 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,65 + 0,21 \cdot 1,05 + 0,13 \cdot 1,45 + 0,03 \cdot 1,85 + 0 \cdot 2,25 = 0,69;$$

2. Розраховуємо дисперсію середньозваженої напруженості фактора (екологічний центр розподілу):

$$O^2 = 0,35(0,25-0,69)^2 + 0,25(0,65-0,69)^2 + 0,21(1,05-0,69)^2 + 0,13(1,45-0,69)^2 + 0,03(1,85-0,69)^2 = 0,19$$

13. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ У ВОДНІЙ ТОКСИКОЛОГІЇ

Мета заняття: ознайомитися зможливостями 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 загальнотоксикологічному (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, є непростою щодо нижчих організмів (одноклітинні і колоніальні водорості, мікроорганізми) і вимагає використання спеціальних методик (забарвлення спеціальними барвниками, люмінесцентна мікроскопія, флуориметрія, вибіркове, 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 стоків використовують тест-системи – набір біотестів, що характеризує впливи багатокомпонентних 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 дослідження 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. Переваги біотестування.

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 $0,25 \text{ дм}^3$ – 5 шт., з розчинами двохромовоокислого калію у концентраціях від 1 до 10 мг/дм^3 , колби з притертою пробкою, об'єм $0,25 \text{ дм}^3$ – 5 шт., з розчинами оцтової або іншої кислоти з рН від 2 до 6, колби з притертою пробкою, об'єм $0,25 \text{ дм}^3$ – 5 шт., з пробами стічної води, або води з річки Устя різного розведення, годинник, мірний циліндр - $0,1 \text{ дм}^3$, посуд скляний для біотестування об'ємом $100\text{-}150 \text{ см}^3$, сачок для пересаджування дафній, трубки скляні для відлову дафній, діаметром від 5 до 7 мм, олівець для скла.

Порядок роботи

1. Розчини речовин і проби стічної води або з річки налити у посудини (дослід) по 100 см^3 і підписати олівцем.
2. Відстояну питну воду використовують як контроль.
3. Повторюваність у досліді і контролі трикратна.
4. За допомогою скляної трубки і сачка в кожен посудину помістити по 10 екз. дафній.
5. Зафіксувати у зошиті температуру води і час початку біотестування.
6. Тривалість дослідів – 1 год.

7. 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 (13.1):

$$A = (X_k - X_d / X_k) \times 100, \quad (13.1)$$

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 за 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.

Підготуйте відповіді на наступні питання:

- 1) У чому полягають особливості біотестування як методу біомоніторингу?
- 2) Що розуміють під термінами «біотест», «тест-об'єкт», «тест-функція», «тест-реакція»?
- 3) Як визначають мінімально допустиму, медіанну і летальну концентрацію або дозу?
- 4) Які є переваги біотестування для визначення якості води?

Інформаційні ресурси

Рекомендована література

1. Гідроекологічна токсикометрія 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. Оксіюк 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 «ХП», 2020. 28 с.
6. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
7. Bartram, Jamie; Ballance, Richard, eds. Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. CRC Press, 1996.

Електронні ресурси

1. Водна рамкова директива ЄС (ВРД ЄС). URL: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm.
2. Водний Кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст.189 (Редакція від 19.04.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#n389>.
3. Про затвердження «Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву

- поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод». Наказ Міністерства екології та природних ресурсів. 14.01.2019 № 5. (Із змінами, внесеними згідно з Наказом № 332 від 01.04.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#n93>.
4. Сайт Агентства з охорони навколишнього середовища США. Розділ біологічна оцінка якості води. Biological Assessment of Water Quality – US Environmental Protection Agency (EPA). URL: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/bioassess.html>
 5. Сайт Департаменту охорони навколишнього середовища штату Мен. "Why Biological Monitoring?" Maine Department of Environmental Protection. URL: <https://www.maine.gov/dep/water/monitoring/biomonitoring/why.html>.
 6. Сайт журналу «Гідробіологічний журнал», рубрика Загальна, санітарна і технічна гідробіологія [Електронний ресурс]. URL: <http://hydrobiolog.com.ua/>.
 7. Сайт журналу "Hydrobiologia". The International Journal of Aquatic Sciences. URL: <https://www.springer.com/journal/10750>.
 8. Holt E. A., Miller S. W. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. The Nature Education. Knowledge Project. 2010. 3(10):8. URL: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicator-s-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>
 9. Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Davies, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 2010. 467, 555-561. URL: https://www.researchgate.net/publication/47743050_Global_Threats_to_Human_Water_Security_and_River_Biodiversity.