

Лекція 7

Біоіндикація стану водного середовища

План

Чинники забруднення.

Характеристики водного середовища та пристосування до них живих організмів.

Зміни водних екосистем при антропогенному забрудненні. Сапробність і токсобність.

Біоіндикатори стану водного середовища.

Біоіндикація з використанням зообентоса.

Біоіндикація з використанням макрофітів.

Методи біологічної оцінки якості води.

Чинники забруднення

Всі сторони сучасної діяльності людини є потенційним джерелом всіляких видів забруднення водних екосистем. Вирубка лісів, осушення і зрошування земель, зміна мережі гідрографії, урбанізація території, промислові і побутові стоки, добрива, детергенти, пестициди спричиняють за собою зміни режиму екосистем. Розвиток атомної промисловості (радіоактивні осідання, поховання ядерних відходів, скидання ядерних електростанцій) веде до радіоактивного зараження водойм, з подальшою акумуляцією радіоактивних речовин в тілі риби як безпосередньо з води, так і з об'єктів їх живлення.

Скидні води енергетичних підприємств сприяють тепловому забрудненню і є згубними для життя гідробіонтів.

Вживані в сільському господарстві пестициди і добрива потрапляють у водойме і створюють у ряді випадків надлишок мінеральних речовин. Особливо небезпечними для тварин є аміак і солі амонія, які навіть в невеликих концентраціях викликають їх загибель.

З промисловими стоками у водойми поступають важкі метали, хлорорганічні сполуки, пестициди, нафтопродукти і багато інших речовин.

Особливу небезпеку представляють сполуки оксидів азоту і сірки, ТЕЦ, що містяться у викидах автотранспорту і хімічних підприємств, які випадають у вигляді кислотних дощів.

У водоймах падає показник рН, що спричиняє за собою біологічні наслідки. При рН 6,5-6,0 гинуть ракоподібні, молюски, ікра риб і земноводних, при рН 6,0-5,0 настає загибель риб - форелі, плітки, окуня і щуки. Подальше зниження рН до 4,5 і нижче приводить до знищення всякого життя.

Найбільш характерний тип забруднення природних водойм - скидання в них великих мас органічних речовин, що розкладаються, і біогенних елементів, також сприяючих зростанню маси органіки у водоймі. Таке забруднення приводить, насамперед, до замулювання дна, збільшення кормової бази детритоюдних тварин і мікроорганізмів, зниження кількості розчиненого у воді кисню. Саме ці чинники безпосередньо змінюють склад співтовариства. Для кількісної оцінки органічного забруднення введена шкала сапробності (ксено-, оліго-, б-мезо-, а-мезо- і полісапробні водойми). Паралельно із звичайною органікою, але в менших дозах, людуство забруднює водойми отрутохімікатами, нафтопродуктами, солями металів, теплом, шумом, радіацією і електромагнітним випромінюванням. Загальна картина забруднення водойм досить складна, але доведено, що види, стійкіші до органічного забруднення, в цілому стійкіші і до решти типів забруднень. Тому стійкість живих організмів до забруднення вимірюють, як правило, за єдиною шкалою сапробності.

Характеристики водного середовища та пристосування до них живих організмів

Індикатори - це види рослин і тварин, у тому числі і риби, за допомогою яких можна оцінити ступінь забруднення навколишнього середовища, здійснювати постійний контроль її

якості і змін. Наприклад, дзеркальний короп і золота рибка стають неспокійними за наявності у воді стоків нафтової і хімічної промисловості. Висока чутливість щуки до забруднення робить її надійним індикатором стану питної води. Індикаторами чистоти водойми можуть служити головач сибірський і форель.

У своєму природному стані різні природні водойми можуть сильно відрізнятися один від одного. На водну флору і фауну діють такі показники як глибина водойми, швидкість течії, кислотно-лужні властивості води, каламутність, кисневий і температурний режим, кількість розчиненої органіки, сполук азоту і фосфору і багато інших. На всі ці параметри впливає як антропогенне навантаження, так і природні процеси, що відбуваються у водоймах. Для водойм різних типів в нормі буде характерний різний видовий склад і велика кількість водних організмів (гідробіонтів).

Варто відмітити, що найчистіші водойми не матимуть найбагатшу фауну.

Спробуємо ж коротко описати основні умови проживання водних організмів в водоймах з різними характеристиками.

а) Температурний режим.

Температура води і динаміка її змін - найважливіший екологічний чинник для всіх мешканців водойм. Адже температура не тільки безпосередньо впливає на гідробіонтів, регулює швидкість життєвих процесів, але і визначає найважливіші фізико-хімічні властивості води.

Водні організми пристосувалися до різних температурних умов проживання: одні з них живуть в гарячих джерелах при температурі 45-50 °С і вище, інші активні при температурі води -2°С і можуть витримувати промерзання - 12°С. Важливе інше: через свою високу теплоємність вода є набагато більш термостабільним середовищем, ніж повітря тобто її температура змінюється поволі, а це сприятливо для існування живих організмів. У водоймах суші температура зазвичай коливається значно істотніше, ніж в морях і океанах. Особливо це характерно для водойм помірного поясу, де сезони сильно відрізняються один від одного, і температура води протягом року може змінюватися на 10-20 градусів. Організми здатні жити у воді різної температури і переносити значні її коливання, називаються евритермними. У них виробляються різні пристосування, що дозволяють компенсувати дії змінної температури: змінюється активність ферментів, загальна інтенсивність процесів обміну речовин. Самі організми проводять міграції в місця з стабільнішою або сприятливішою температурою. Так багато прісноводних риб взимку скупчуються в найбільш глибоких ділянках водойми. Іноді зниження швидкості обміну речовин при низькій температурі може бути вигідно для організму: наприклад, риб це оберігає від виснаження організму взимку, в період з несприятливими кормовими умовами.

Організми, здатні існувати тільки у вузькому діапазоні температур, називаються стенотермними. Для них зміну температурну режиму водойми може виявитися згубним. Існують стенотермні види пристосовані до життя тільки в холодній воді (струмкова форель) - це оліготермні види. Навпаки, є види, що живуть тільки в теплій воді, що гарно прогрівається. До таких політермних видів із звичних нам організмів відносяться багато акваріумних рибок. Людина може відчутно впливати на температурний режим водойм. Скидання води з системи охолодження теплових і атомних електростанцій підвищує температуру значних ділянок річки або озера на 5-10 градусів що приводить до корінних змін в співтоваристві організмів, що населяють цю зону.

б) Газовий склад.

У воді природних водойм розчинені різні гази. Концентрації цих газів залежать від їх природи, їх вмісту в атмосфері, а також від температури і солоності води (при підвищенні цих двох показників розчинність газів падає). Та кількість газу, яка може розчинитися в воді за даних умов, називається "нормальною". Величезне значення для водних організмів має концентрація розчиненого у воді кисню. Цей газ потрапляє у водойми з атмосфери, а також виділяється водними рослинами в процесі фотосинтезу. Відносне значення кожного з цих

шляхів може мінятися залежно від характеристик водойми: у швидкій, порожистій річці із слабо розвиненою рослинністю більш значуща дифузія кисню з атмосфери. А в озері що має могутні зарослі водної рослинності, велика частина кисню може поступати у воду в результаті їх фотосинтетичної активності. При 0°C і нормальному атмосферному тиску в одному літрі прісної води може розчинитися 10,3 мл кисню. Чим тепліша вода, тим менше кисню може бути в ній розчинено.

Насичення води атмосферним киснем йде через поверхню. Фотосинтез максимально інтенсивний теж у верхньому, найбільш освітленому шарі води. Тому кисневі умови у поверхні зазвичай краще, ніж на глибині. Особливо сильно це може бути виражено в тих водоймах, де перемішування води майже не відбувається, а на дні є значна кількість органічних залишків: адже при гнитті органіка поглинає кисень з води. Через такі процеси вміст кисню у воді може падати нижче необхідного для нормального життя водних організмів рівня. Вміст кисню у водоймі міняється також залежно від сезону і часу доби. Мінімальні його концентрації у воді виявляються зазвичай рано вранці: адже вночі рослини не фотосинтезують, а тільки поглинають кисень в процесі свого дихання. З сезонів найменш сприятлива з точки зору кисневого режиму зима: лід не дозволяє проникати у воду кисню атмосфери, умови для фотосинтезу під шаром льоду теж несприятливі. Тому саме взимку найчастіше відбуваються замори - масова загибель гідробіонтів через брак кисню. Деякі водні мешканці порівняно легко переносять низькі концентрації кисню у воді (карась, молюск живородка, малощетинковий черв'як трубочник), оскільки вони пристосувалися до життя у водоймах, де дефіцит кисню - звичайне явище. Інші організми навпаки, надзвичайно вимогливі до вмісту кисню: форель, поденки з сімейства гептагеніди (*Heptageniidae*), бродячі ручейники (*Rhyacophilidae*).

З інших газів, що мають важливе значення для гідробіонтів, треба відзначити вуглекислий газ: у невеликих концентраціях він необхідний для ходу фотосинтезу, регулює швидкість деяких процесів метаболізму. Наявність у воді вуглекислого газу дозволяє також стабілізувати її кислотно-основні властивості.

в) Кислотно-основні властивості води.

Кислотно-основні характеристики води природних водойм зазвичай не відчувають сильних змін. Вони залежать перш за все від характеру живлення водойми, від того, якими породами складено його ложе, а також від хімічних і біологічних процесів, що в ній відбуваються. Вода з рН нижче 6,95 є кислою. За нейтральну вважається вода з рН від 6,96 до 7,3.

Природні води з вищими значеннями рН називаються лужними. Сильний вплив на реакцію води в наших широтах надають сфагнові мохи, що містять велику кількість органічних кислот. У невеликих водоймах на сфагнових болотах рН води може складати до 3,4! Навпаки, в ході активного фотосинтезу у водоймі реакція його води може ставати більш лужною (до рН=10) із-за вичерпання запасів вуглекислоти. Протягом ночі, коли фотосинтез не відбувається, а всі гідробіонти продовжують дихати і насичати воду вуглекислотою, рН знову знижується. Розмах таких добових коливань кислотності зазвичай не перевищує двох одиниць рН. Найбільш чутливі до закислення водойми молюски та інші істоти з вапняними раковинами: їх раковини в кислій воді просто починають розчинятися.

г) Солоність, мінеральний склад.

Солоність - сума концентрацій всіх розчинених у воді мінеральних речовин. За прісну вважається вода, що має солоність нижче 0,5 грам/кг (ця одиниця називається промілле). Вода океану зазвичай має солоність від 30 до 35 промілле. Окрім прісних водойм і солоного моря існують водні об'єкти з проміжним рівнем солоності. Сума концентрацій у воді іонів магнію і кальцію називається жорсткістю. Особливо важливий цей показник для організмів, що мають вапняні скелети і раковини. Якщо для регіону поклади вапняків і інших легкорозчинних гірських порід нехарактерні, вода більшості водойм буде "м'якою" - тобто містити мало іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} . Прісна і солоня вода дуже по-різному впливають на організм водних тварин.

Особливо сильно розрізняються у морських і прісноводних мешканців системи осморегуляції. Тому солоні водойми мають свою характерну фауну, а прісні водойми - свою. Найменш сприятливі для життя водойми з проміжним рівнем солоності. Як правило, вони мають дуже бідну фауну водних безхребетних.

г) Прозорість, світловий режим.

На поверхню водойм нашого регіону в рік падає в середньому біля 320 кДж/см² сонячної енергії. Якщо сонце стоїть в зеніті, а поверхня води ідеально гладка, то від неї відбивається близько 5% падаючої енергії. Навіть при слабкому хвилюванні частка відбитої енергії зростає до 15%. Збільшується вона і при косому падінні променів: якщо сонце знаходиться під кутом 30° до лінії горизонту, то навіть від гладкої водної поверхні буде відбиватися 25% енергії. Але і сонячні промені, що проникли у водну товщу, чекає нелегка доля: вода набагато менш прозора, чим повітря, вона сильно поглинає і розсіює світлові промені. Проте, хоч би мінімальний рівень освітленості необхідний для більшості водних організмів: рослинам він потрібний для ведення фотосинтезу органічних речовин, тваринам - для розпізнавання навколишнього середовища, орієнтації, синхронізації життєвих циклів. Водні тварини сильно «близорукі». Риби бачать достатньо чітко тільки на відстані 5-10 см. Зате вони можуть задовольнятися в мільйони раз слабкішим рівнем освітлення, ніж мешканці суші.

Прозорість води - характеристика, що показує, наскільки зменшилася інтенсивність світла при його проходженні через шар води певної товщини. Океани і моря зазвичай прозоріші, ніж континентальні водойми: у них слабке світло проникає до глибини 150 і більше метрів (глибше за всіх проникають сині і зелені промені). І на таких глибинах ростуть види червоних водоростей, здатні вести фотосинтез цьому мізерному освітленні. У континентальних водоймах прозорість і умови освітленості міняються дуже сильно. У гірських річках і озерах світло може проникати до дна: дно цих водойм складене малорозчинними породами, в них мало планктону. У рівнинних водоймах прозорість залежить від сезону. У паводок вона мінімальна. На значні глибини світло проникає тільки в озерах з низькими концентраціями органічних речовин - в них прозорість може досягати 40 м. У більшості ж річок і озер прозорість не перевищує 2 - 3 м. Особливо низьку прозорість мають дистрофні озера з сильно гуміфікованою коричневою водою і евтрофні озера, в яких багато планктону. Кількість зважених частинок, річок, що сильно впливають на прозорість максимально, якщо швидкість течії велика, а підстилаючі породи - м'які.

д) Ґрунти

Розрізняють дрібнозернисті (м'які) і грубозернисті (жорсткі) ґрунти. До м'яких ґрунтів відносяться глину (діаметр частинок менше 0,01 мм) мул (від 0,01 до 0,1 мм) і пісок (0,1 - 1 мм). До жорстких - гравій (діаметр частинок 0,1 - 1 см), галька (1 - 10 см), валуни (10 - 100 см) і глиби (більше 100 см). Зазвичай реальні ґрунти складаються з суміші різних фракцій. Більшість водних організмів вважають за краще мешкати на визначених типах ґрунту. Організми, що мешкають на піщаних ґрунтах, називаються псаммофілами. На кам'янистих - літофілами. На мулах - пелофілами і так далі. На незвичних ґрунтах водні організми не можуть нормально харчуватися, будувати притулки, що веде до їх ослаблення і загибелі. Існує цікава закономірність: при порівнянні мешканців кам'янистого ґрунту з псаммофілами і далі - з пелофілами, середні розміри і маси окремих особин зменшуються, зате їх кількість зростає. Водні організми і самі роблять вплив на донний ґрунт. Рослини скріпляють його своїм корінням, тварини збагачують органікою і активно «переорюють».

е) Гідродинаміка (течії, хвилювання).

Для водойм суші найбільш характерні постійні течії викликані нахилом русла (у річках), а також періодичні або тимчасові течії, що відбуваються через тертя повітряних мас об водну поверхню або через різниці в температурі і щільності води в різних частинах водойми. На порожистих ділянках річок швидкість течії може досягати декількох метрів в секунду. Умови проживання на таких ділянках дуже своєрідні: через інтенсивне перемішування вода насичена

киснем, існує постійна небезпека бути відірваним від ґрунту і знесеним течією. Харчові частинки з великою швидкістю проносяться мимо. Організми, пристосовані до проживання в таких умовах, називаються реофілами. Втім, більшість рівнинних річок мають спокійнішу течію, її швидкість зазвичай не перевищує декількох десятків сантиметрів в секунду. У озерах і ставках течії мають ще менші швидкості, але їх значення для життя водних організмів дуже велике. Двічі в рік, навесні і осінню, в всіх водоймах помірного поясу, що мають достатню глибину, відбувається масштабне перемішування водних мас. Вода у поверхні нагрівається (навесні) або охолоджується (восени) до температури +4 °С. Відомо, що при такій температурі вода має максимальну щільність, тому верхні шари води опускаються вниз, а придонні витісняються вгору, до поверхні. При цьому перемішуванні глибини водойми збагачуються киснем, а до поверхні піднімаються з глибини біогени і мінеральні солі.

Зміни водних екосистем при антропогенному забрудненні. Сапробність і токсобність

Поняття "Якість води" має на увазі комплексну оцінку, яка включає гідрохімічні і гідробіологічні характеристики. У наш час продовжує використовуватися традиційний підхід до оцінки якості води, заснований на визначенні тільки ряду хімічних показників. Це не дозволяє оцінити зміни у водній екосистемі, оцінити ступінь порушень, з'ясувати їх механізм і дати прогноз подальшої зміни в екосистемі. Такі завдання можна вирішити, використовуючи методи біоіндикації.

У водоймах з найбільш «чистою» водою, що містяться низькі концентрації біогенних і органічних речовин, кількість видів гідробіонтів звичайно нижча, ніж в тих водоймах, де органічні речовини, сполуки азоту і фосфору присутні в помірних концентраціях. Для багатьох водних організмів, що мешкають в мезо- і евтрофних водах, помірний рівень забруднення є нормальним станом місця існування. Частина таких видів цілком може служити індикаторами забруднення води органічними і біогенними речовинами.

Інша частина видів, що мешкають у вузьких межах умов навколишнього середовища не витримують навіть невеликого забруднення і зникають - такі види є хорошими індикаторами низьких рівнів забруднення.

У міру надходження органічних і біогенних речовин відбувається поступова зміна хімічного складу води, видового складу гідробіонтів, відбувається перебудова структури і функцій екосистеми в цілому. На початку процесу забруднення зміни в екосистемі незначні і зворотні. Надалі екосистема збільшує свою здатність до переробки речовин, що поступають, але до певної межі. Їх перевищення приводить до деградації і повного руйнування екосистеми.

Біоіндикатори стану водного середовища

Для біологічної індикації якості вод можна використовувати майже всі групи організмів, які населяють водойми: планктонні і бентосні безхребетні, найпростіші, водорості, макрофіти, бактерії. Організми, які зазвичай використовують як біоіндикатори, відповідальні за самоочищення водойми, беруть участь у створенні первинної продукції, здійснюють трансформацію речовин у водних екосистемах.

Склад і стан рослинності може вказати на наявність забруднювачів води в межах різноманітних промислових комплексів.

Наявність і розподіл водоростей - це надійний показник забруднення й санітарного стану вод у морях, ріках та озерах. Деякі види водоростей зникають у ході наближення до джерел забруднення, а інші (наприклад, морський салат *Ulva lactuca*) поширюються за підвищеного забруднення вод. У місцях витоку стічних вод залишається лише бідна флора полісапробіонтних водоростей, що витримують велику концентрацію органічних речовин у воді й тому є індикаторами дуже забруднених вод.

Водорості бентосу є ще точніші індикатори санітарного стану морських вод. У бухтах Чорного моря в чистих водах живуть десятки видів діатомей, що зникають у міру забруднення

води. У разі слабкого забруднення з'являються полісапробіонтні діатомеї (мелозіри та ін.) На максимальне забруднення води вказує масовий розвиток *Melosira moniliformis*.

Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймищі можна за допомогою проявів її токсичного ефекту на рибах.

Встановлено, що найбільша чутливість до дефіциту кисню збігається з чутливістю до органічного забруднення. Щодо стійкості до органічних забруднень і дефіциту кисню розрізняють індикаторні групи організмів:

полісапроби - організми, що витримують сильний ступінь дефіциту кисню (личинки комара *Chaoborus*, мухи-бджоловидки *Fristalis tenax*);

мезосапроби - витримують лише середній ступінь забруднення (інфузорія парамеція, карась, короп, лин);

олігосапроби - здатні витримати лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню (форель, багато личинок мошок).

Потреба в кисні в різних видів риб неоднакова: у форелі - висока, яка становить 7-11 см³ /л; у піскаря, коблика - середня (5-7 см³ /л); у плотви, йоржа - низька (4 см³ /л); у коропа, лина - наднизька (0,5 см³ /л).

Гідробіологічні показники якості води - кількісні та якісні характеристики груп водного населення, що використовуються для оцінки еколого-санітарного стану водних екосистем.

Якість води визначають, оцінюючи реакцію гідробіонтів на забруднення. Індикатори-гідробіонти - це зообентос, перифітон, зоопланктон і фітопланктон.

Зообентос - сукупність донних тварин, що живуть на дні або в ґрунті морських і прісних водоймищ. Стан зообентосу характеризує зміни водного середовища протягом тривалого часу. Вивчення зообентосу, відібраного в різних місцях водоймища, дає змогу одержати інтегральні оцінки якості води та ступеня забруднення донних відкладів.

Перифітон - поселення водних рослин і тварин на підводних скелях, камінні, річкових суднах, палях та інших об'єктах. Дослідження перифітону застосовують для оцінювання усередненої якості води водного об'єкта протягом довготривалого періоду часу, а також встановлення фактів забруднення водного об'єкта (за рахунок накопичення токсикантів) у тому разі, якщо в момент спостереження вода вже повністю самоочистилася.

Зоопланктон - сукупність тварин, що населяють водну товщу та пасивно переносяться течіями. Зоопланктон - досить надійний індикатор якості води в малопроточних річках, озерах, водосховищах та ставках. Його досліджують для отримання характеристик якості води в пунктах спостереження за порівняно короткий період часу.

Фітопланктон - сукупність рослинних організмів, які населяють товщу води морських та прісних водоймищ і пасивно переносяться течіями. Фітопланктон характеризує якість водних мас, де проходив його розвиток, тому на водотоках забирають проби фітопланктону, які використовують для одержання інформації про рівень забруднення на ділянках, розміщених за течією вище від пунктів спостережень.

Оцінка якості води водойм і водотоків може бути проведена з використанням фізико-хімічних та біологічних методів. Біологічні методи оцінки - це характеристика стану водної екосистеми по рослинному і тваринному населенню водойми.

Будь-яка водна екосистема, перебуваючи в рівновазі з факторами зовнішнього середовища, має складну систему рухомих біологічних зв'язків, які порушуються під впливом антропогенних факторів. Перш за все, вплив антропогенних факторів, і зокрема, забруднення відбивається на видовий склад водних спільнот і співвідношення чисельності складають їх видів. Біологічний метод оцінки стану водойми дозволяє вирішити завдання, вирішення яких за допомогою гідрофізичних і гідрохімічних методів неможливо. Оцінка ступеня забруднення водойми за складом гідробіонтів дозволяє швидко встановити його санітарний стан, визначити

ступінь і характер забруднення та шляхи його розповсюдження у водоймі, а також дати кількісну характеристику протікання процесів природного самоочищення.

Найбільш повно методи біотестування розроблені для гідробіонтів і дозволяє використовувати їх для оцінки токсичності забруднень природних вод, контролю токсичності стічних вод, експрес - аналізу в санітарно-гігієнічних цілях, для проведення хімічних аналізів у лабораторних цілях і вирішення цілого ряду інших завдань.

При скиданні у водоймище токсичних речовин, що містяться у промислових стічних водах, відбувається пригнічення і збіднення фітопланктону. При збагаченні водойм біогенними речовинами, що містяться, наприклад, у побутових стоках, значно підвищується продуктивність фітопланктону. У разі перевантаження водойм біогенними виникає бурхливий розвиток планктонних водоростей, офарблюючих воду в зелений, синьо-зелений, золотистий, буре або червоний кольори ("цвітіння" води). "Цвітіння" води настає за наявності сприятливих зовнішніх умов для розвитку одного, рідко двох-трьох видів. При розкладанні надлишкової біомаси, виділяється сірководень або інші токсичні речовини. Це може призводити до загибелі зооценозов водойми і робить воду непридатною для пиття. Багато планктонні водорості в процесі життєдіяльності нерідко виділяють токсичні речовини. Збільшення у водоймах вмісту біогенних речовин у результаті господарської діяльності людини, що супроводжуються надмірним розвитком фітопланктону, називають антропогенним евтрофікуванням водойм.

Хорошим біоіндикатором є водорості Ностак сливоподібна. Наявність цього виду говорить про чисту воду. Перша ознака тривоги - подрібнення і порушення правильної округлої форми смарагдових "куль" цієї водорості.

Бурхливий розвиток інших синьо-зелених водоростей, наприклад, осцилятор - хороший індикатор небезпечного забруднення води органічними сполуками.

Кращий індикатор небезпечних забруднень - прибережне обростання, що розташовуються на поверхневих предметах у кромки води. У чистих водоймах ці обростання яскраво-зеленого кольору або мають бурий відтінок. При надлишку у воді органічних речовин і підвищення загальної мінералізації обростання набувають синьо-зелений колір, тому що складаються в основному з синьо-зелених водоростей.

Хороші результати дає аналіз бентосних (придонних) безхребетних. Оцінка чистоти водойм робиться за переважанням, або відсутності тих чи інших таксонів. Фітопланктон найбільш поширена і добре вивчена з усіх екологічних груп водоростей. Склад фітопланктону має велику видову насиченість. Аналіз видового складу, достатку і кількісного розвитку видів фітопланктону входять у всі програми екологічного моніторингу водойм.

Вивчення фітопланктону водойм проводиться шляхом збору проб на встановлених станціях. Для визначення видового складу фітопланктону з проби на предметне скло наноситься крапля матеріалу, закривається покривним склом і аналізується під мікроскопом. Ідентифікація видів здійснюється за допомогою визначника.

Синьо-зелені водорості - прокаріотів, зустрічаються повсюдно і можуть мешкати в таких екстремальних біотопах, як гарячі джерела і кам'яністі пустелі.

Діатомові водорості - мікроскопічні організми, зустрічаються у всіх видах вод. Утворюють основну масу складу продуцентів у водоймі, вони є початком харчового ланцюга. Їх поїдають безхребетні тварини, деякі риби. Масове розвиток деяких діатомових водоростей може мати і негативні наслідки (впливають на якість води, викликають загибель личинок риб, забиваючи їм зябра). Багато діатомеї можна використовувати як індикатори якості води водойми.

Зелені водорості - один із самих великих відділів водоростей. Евгленові водорості - поширені виключно в прісних водоймищах, багаті органічними речовинами, в клітинах містять численні криваво-червоні гранули. При масовому розвитку ці види утворюють на поверхні води червоний наліт, деякі види викликають "цвітіння" води, фарбуючи її в коричневий колір.

Золотисті водорості - переважно прісноводні водорості, найчастіше зустрічаються в чистих водоймах. Зазвичай вони розвиваються в холодну пору року.

Дінофітові водорості - існують у прісних водах і в морях. Серед них існують паразити які знищують личинок устриць, види які виробляють отруту, смертельну для риб. Крім, того розкладаючись після свого масового розвитку, так званих "червоних припливів", вони можуть отруювати воду на багато кілометрів шкідливими продуктами розпаду, впливаючи на риб та інших водних тварин.

Таблиця 2.3. - Види забруднюючих речовин у воді

Характер запаху води	Речовини, що забруднюють воду
Хімічний	Промислові стічні води, хімічна обробка води
Хлорний	Вільний хлор
Вуглеводневий (нафтовий)	Стоки нафтоочисних заводів, АЗС
Затхлий	Органічні речовини
Лікарський	Феноли і йодоформ
Неприємний або сильно виражений неприємний	Сірководень - показник сильного забруднення води гниючими тваринними залишками
Огірковий, квітковий	Ароматичні вуглеводи
Гнильний	Застояні стічні води, затхлий
Землистий, прілий, свіжозораної землі, глиняний	Спра земля
Рибний	Риба, риб'ячий жир
Дерев'яний	Деревної кори, мокрої шіпки
Невизначений	Не підходить до жодного із названих

Підкреслюючи всю важливість методів біоіндикації як дослідження, необхідно відзначити, що біоіндикація передбачає виявлення забруднення навколишнього середовища, що вже відбулося або відбувається, по функціональних характеристиках особин і екологічних характеристиках співтовариств організмів. Поступові ж зміни видового складу формуються в результаті тривалого отруєння водойми, і явними вони стають у випадку у разі далеко йдучих змін. Для річок і струмків найбільш точні результати дає вивчення донних організмів (бентоса) і мешканців укорінених на дні водних рослин (перифітона), які, не переміщаючись разом з потоком, краще відображають загальну якість води, що протікає над ними. У стоячих водоймах разом з бентосом перспективне використання організмів - мешканців товщі води (планктону).

Для біоіндикації можуть використовуватися показники біосистем всіх рангів. Зазвичай, чим нижчий ранг біосистеми, використовуваної як біоіндикатор, тим більше точними можуть бути виводи про вплив чинників середовища і навпаки.

Для біоіндикації найбільш показові наступні характеристики

- * хімічний склад клітин;
- * склад, структура і ступінь функціональної активності феноменів;
- * структурно-функціональні характеристики клітинних органодів;
- * розміри клітин, їх морфологічні характеристики, рівень активності;
- * гістологічні показники;
- * концентрації поллютантів в тканинах і органах;
- * частота і характер мутацій, канцерогенезу, потворності.

Найбільш зручним для неспеціаліста об'єктом біоіндикації є, мабуть, макрозообентос - макроскопічні (завдовжки більше 2 мм) безхребетні тварини, що мешкають на дні водойм і в заростях водних рослин. Це, головним чином, водні личинки і імаго комах, молюски, п'явки,

малоцетинкові черв'яки і вищі ракоподібні. Для їх збору в природі потрібний простий бентосний сачок з вічком 0,5-1 мм (можна застосовувати господарське сито з капроною сіткою) і пінцетом; визначення у ряді випадків ведеться неозброєним оком, в решті випадків застосовується застосування бінокюляра типу МБС.

Методи біологічної оцінки якості води

Індекс сапробності. Як приклад приведемо індекс сапробності в модифікації Сладечека, один з найбільш популярних в гідробіології і прийнятий на озброєння в Гідрометслужбі України:

$$\text{Ind } S = \sum (Sh) / \sum h.$$

де h - велика кількість кожного виду за 9-бальною шкалою, K - сапробність цього виду за 4-бальною шкалою (приведена в спеціальних довідниках). Як індикаторні види можуть використовуватися організми як бентоса, так і планктону.

Індекс Гуднайта-Уїглія. Цей показник обчислюється дуже просто, якщо є кількісні дані по макробентосу. Він дорівнює відношенню, в %, чисельності малоцетинкових черв'яків (олігохет) до чисельності всього макробентоса. Вважається, що частка олігохет тим більша, чим сильніше забруднена вода і дно (більше органічних речовин). Індекс задовільно працює лише на м'яких ґрунтах (мулах і пісках), де взагалі можуть жити олігохети, і взагалі дуже чутливий до типу ґрунту.

Метод і індекс Вудівісса. Для біологічного аналізу забруднених вод по складу донних тварин найбільш простим і достатньо зручним представляється метод Вудівісса (1977), розроблений для р. Трент (Англія). Він заснований на зменшенні різноманітності фауни в умовах забруднення і на характерній послідовності зникнення з водойми різних груп тварин у міру збільшення забруднення. Цей метод припускає збір тільки якісних проб, без урахування великої кількості тварин, і допускає визначення тварин до рівня підрядів і родин.

Таблиця 1. - Обчислення індексу Вудівісса

Знайдені групи	Всього знайдено груп				
	0-1	2-5	6-10	11-15	>15
веснянки > 1 вида	-	7	8	9	10
1 вид	-	6	7	8	9
поденки > 1 вида	-	6	7	8	9
1 вид	-	5	6	7	8
ручайники > 1 вида	-	5	6	7	8
1 вид	4	4	5	6	7
бокоплав	3	4	5	6	7

водяний віслучок	2	3	4	5	6
трубочник або мотиль	1	2	3	4	-
види с повітряним диханням	0	1	2	-	-

Список груп Вудвісса:

планарії Tricladida (кожен вид), малощетинкові черв'яки Oligochaeta, п'явки Hirudinea, молюски Mollusca, вищі ракоподібні Malacostraca, веснянки Plecoptera, поденки Ephemeroptera, ручейники Trichoptera (кожне сімейство), вислокрилка Sialis, личинки хірономід Chironomidae, личинки мошок Simuliidae, інші личинки двокрилих Diptera, водні жуки Coleoptera, водні клопи Heteroptera, водні кліщі Hydracarina.

Крім того, за окремі групи Вудвісс запропонував вважати олігохету Nais, поденку Baetis rhodani і хірономіду Chironomus thummi; проте, визначити ці таксони для неспеціаліста важко.

Значення індексу Вудвісса змінюється від 0 (найбільш забруднена вода) до 10 (вода вищої якості). Для обчислення індексу потрібно знайти відповідний рядок в таблиці 1 (рухаючись по ній зверху вниз - тобто саму верхню з відповідних рядків). Потім підрахувати загальне число знайдених груп із списку, що додається, і по правій частині таблиці знайти значення індексу.

Наприклад, в пробі не зустрінуто личинок веснянок, але зустрінуто 1 вид личинок поденок. Значить, нас цікавить 4-й зверху рядок в таблиці. Допустимо, крім того в пробі знайдені п'явки, равлики, водяний ослик, 2 сімейства ручейників і хірономіди - всього (рахуючи поденку) 7 груп. Відповідно, індекс Вудвісса дорівнює 6.

Загальне число груп Вудвісса потенційно досить велике (за рахунок необмеженого числа видів планарій і великого числа сімейств ручейників. На практиці, проте, число цих груп в пробі рідко перевищує 15. При неможливості визначення сімейств ручейників і видів планарій можна рахувати окремо кожен їх нову форму (зокрема, планарій різних кольорів і ручейників з різними типами хаток). Метод досить чутливий до об'єму проби (у загальному випадку рекомендується виловити не менше 50 тварин, інакше значення індексу може бути занижене).

Метод і індекс Вудвісса призначений для річок, проте застосовується для оцінки сапробності самих різних водойм, для яких не розроблено адекватніших показників. Слід враховувати: у стоячих водоймах значення індексу нижче, ніж в протічних, а на м'яких ґрунтах (мулі, піску) в тому ж водоймі набагато нижчий, ніж на каменях, корчах і макрофітах. Індекс порівняно непогано відображає рівень сильних і дуже сильних забруднень, але малочутливий до слабких і середніх забруднень, особливо на жорстких ґрунтах. Так, для швидкої річки з кам'янистим дном в індекс Вудвісса коливається від 7 до 9 навіть при значних органічних забрудненнях. Це зв'язано, насамперед, з наявністю стійких до забруднення видів навіть серед личинок веснянок (*Nemoura cinerea*, *Nemurella pictetii*) і поденок (*Baetis vernus*, *Heptagenia sulphurea*).

Метод Ніколаєва. Для малих і середніх річок відома шкала і метод оцінки якості вод Ніколаєва (1992). Він є, по суті, спрощеним варіантом оцінки сапробності по Пантле-Букку. Цей метод припускає збір якісних даних зі всіх донних субстратів річки, і визначення безхребетних до родів або сімейств. По Ніколаєву, річкові води діляться на 6 класів за якістю (приблизно відповідні градаціям сапробності):

- 1 - дуже чисті (ксеносапробні)
- 2 - чисті (олігосапробні)
- 3 - помірно забруднені (b-мезосапробні)
- 4 - забруднені (a-мезосапробні)

5 -брудні (b-полісапробні)

6 - дуже брудні (a-полісапробні).

Таблиця 2. - Визначення класів якості вод по Ніколаєву

Таксони	Класи якості вод					
	1	2	3	4	5	
Ручайник <i>Rhyacophila</i>	*	*				
Веснянки, крім <i>Nemoura</i>	*	*				
Личинка мухи <i>Atherix</i>	*	*				
Бокоплави <i>Gammarus</i>	*	*	*			
Губки		*	*			
Беззубки (<i>Anodonta</i> , <i>Pseudoanodonta</i>)		*	*			
Зяброві равлики (<i>Viviparus</i> , <i>Bithynia</i> , <i>Valvata</i>)		*	*			
Річкові раки (<i>Astacus</i> , <i>Pontastacus</i>)		*	*			
Ручайники: <i>Neureclipsis</i> , <i>Molanna</i> , <i>Brachycentrus</i>		*	*			
Бабки: <i>Calopteryx</i> , <i>Plathycnemis</i>		*	*			
Одноденки: <i>Ephemera</i> , <i>Polymitarcys</i>		*	*			
П'явки: <i>Glossiphoniidae</i>		*	*	*		
Перловиці (<i>Unio</i> , <i>Crassiana</i>)		*	*	*		
Водяні клопи		*	*	*		
Одноденки: <i>Heptageniidae</i>		*	*	*		
Вислокрилка <i>Sialis</i>		*	*	*		
Мошки <i>Simuliidae</i>		*	*	*		
Ручайники: <i>Hydropsyche</i> , <i>Anabolia</i>			*	*		
Бабки: <i>Gomphidae</i>			*	*		
П'явки: <i>Erpobdella</i> , <i>Haemopis</i> , <i>Piscicola</i>			*	*		
Горошинки та шарівки (<i>Pisidiidae</i>)			*	*		

Водяний ослик <i>Asellus aquaticus</i>			*	*	*	
Трубочник (<i>Tubificidae</i>), в масі				*	*	
Мотиль (<i>Chironomus</i>), в масі				*	*	
Личинка мухи <i>Eristalis</i> (криска)				*	*	
Значимість кожного таксону	25	6	5	7	20	

При оцінці за методом Ніколаєва потрібно для кожного класу якості вод в таблиці 2 підрахувати число знайдених таксонів; помножити його на значущість таксона (останній рядок таблиці 2); вибрати клас якості вод, що набрав найбільше число балів. Осібно стоїть 6-й клас якості вод, в якому макробентос не повинен зустрічатися взагалі (що і є критерієм приналежності до цього класу).

Метод Ніколаєва задовільно працює для річок шириною 7-10 і більше метрів (тобто окрім найменших), для середніх і сильних забруднень. До слабких забруднень він малочутливий. Не рекомендується застосовувати його і для стоячих водойм, в яких більшість використаних таксонів-індикаторів не зустрічаються взагалі.

Метод оцінки забруднення по літореофілам

Спеціально для оцінки низьких рівнів забруднення струмків і малих річок (шириною від 1 до 10 метрів) пропонується наступний метод і індекс. Він також припускає збір якісних даних по макробентосу, причому з щільних субстратів (переважно каменів, у гіршому разі корчів і листового опадку). Ці субстрати населяють **літореофіли** - види, найбільш вимогливі до вмісту кисню у воді і чутливі до замулювання. Визначення потрібно вести до сімейств або родів. Як індикаторні таксони використовуються личинки комах (веснянок, поденок і ручейників) і деякі п'явки. Індикаторні таксони розбиті на дві групи (таблиця 3): А (чутливі до забруднення і нестачі кисню) і В (стійкі до нестачі кисню і збільшуючі велику кількість при органічному забрудненні і замулюванні).

Таблиця 3. - Літореофіли - індикатори забруднення

Чутливі таксони (група А)	Стойкі таксони (група В)	
Веснянки: сім. <i>Perlodidae</i>	Веснянки: <i>Nemoura</i> (<i>Nemuridae</i>)	
сім. <i>Capniidae</i>	Одноденки: сім. <i>Baetidae</i>	
сім. <i>Leuctridae</i>	сім. <i>Caenidae</i>	
Одноденки: <i>Ecdyonurus</i> (<i>Heptageniidae</i>)	<i>Heptagenia</i> (<i>Heptageniidae</i>)	
<i>Habrophlebia</i> (<i>Leptophlebiidae</i>)	Ручайники: сім. <i>Leptoceridae</i>	
Ручайники: сім. <i>Rhyacophilidae</i>	<i>Hydropsyche</i> (<i>Hydropsychidae</i>)	
сім. <i>Goeridae</i>	<i>Neureclipsis</i> (<i>Polycentropodidae</i>)	
сім. <i>Glossosomatidae</i>	<i>Limnephilus</i> (<i>Limnephilidae</i>)	

<i>Polycentropus (Polycentropodidae)</i>	П'явки: <i>Erpobdella (Erpobdellidae)</i>	
<i>Potamophylax (Limnephilidae)</i>	сім. <i>Glossiphoniidae</i>	

Для визначення індексу потрібно підрахувати в пробі число чутливих до забруднення таксонів (А) і стійких (В).

Якщо $A+B=5$ або більше, оцінюємо А/В.

А/В дорівнює 5 і більше: водойма дуже бідна органічною речовиною сама по собі, і без слідів забруднення людиною. У середній смугі такі зустрічаються у край рідко.

3-5: водойма незабруднена, така, що несе природний “фон” органічної речовини. Такі більшість швидких річок і струмків середньої смуги в лісових масивах без населених пунктів.

2-3: водойма несе слабе, зазвичай непряме антропогенне забруднення, або природний “фон” органіки підвищений (вирубки в оточуючому лісі, часткове заболочування долини, боброві запруды і тому подібне).

1-2: у наявності помітне, але не сильне антропогенне забруднення.

0.5-1: забруднення середньої сили.

0-0.5: сильне забруднення, з великою вірогідністю має промисловий характер; починаючи з цього рівня рекомендується використовувати інші методи.

Відповідність різних показників

Оскільки всі приведені вище індекси і методи покликані вимірювати одне і те ж, їх величини повинні відповідати один одній, що і показано в таблиці 4. На практиці, через складність природи і недосконалості будь-якої з описаних методик, ця відповідність спостерігається далеко не завжди. Порівнювати оцінки, отримані за допомогою різних методів, потрібно з великою обережністю.

Таблиця 4. - Відповідність різних індексів якості води

Клас вод по Ніколаєву	Характеристика сапробності	індекс Пантле-Букка	Індекс Гуднайта - Уїтля, %	індекс Вудвісса*	індекс літорео-філів
1 - дуже чисті	Ксеносапробні	< 1.0	0-20	8-10	> 3
2 - чисті	Олігосапробні	1-1.5	21-35	5-7	2-3
3 - помірно забруднені	б-мезосапробні	1.5-2.5	36-50	3-4	1-2
4 - забруднені	а-мезосапробні	2.5-3.5	51-65	1-2	0-1
5 - брудні	б-полісапробні	3.5-4.0	66-85	0-1	-
6 - дуже брудні	А-полісапробні	> 4.0**	86-100**	0**	-

* - для м'яких ґрунтів (для твердих істотно вище).

** - макробентос може бути відсутнім взагалі.