

УДК 602.64:(581.526.3:608.32:574)

В. И. Щербак, Н. Е. Семенюк

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОМИКРОПЕРИФИТОНА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

Исследованы структурные и функциональные показатели фитомикроперифитона, чувствительные к антропогенной нагрузке, для оценки экологического состояния антропогенно измененных водоемов.

Ключевые слова: фитомикроперифитон, экологическое состояние водоемов, структурные и функциональные характеристики.

В системах оценки экологического состояния, методологии проведения мониторинга в государствах Европы и мира (например, США, Канаде) происходит переход от физико-химического контроля к биологическому, основанному на исследовании структурно-функциональной организации различных компонентов биоты.

Фитомикроперифитон широко используется для биоиндикации экологического состояния водоемов в странах Европы. В то же время существует расхождение в терминологии, используемой в Украине и Европе. В странах Европы нет разграничений между бентосными и перифитонными водорослями, и все водоросли, которые живут в поверхностных водах на субстрате или других организмах, обозначаются общим термином — *фитобентос* [3].

В Украине, согласно экологической классификации, водоросли, живущие в прикрепленном к субстрату виде, делятся на фитомикробентос и фитомикроперифитон. *Фитомикробентос* — это сообщество водорослей, вегетирующих на мягких субстратах, а *фитомикроперифитон* — водоросли твердых субстратов [22].

Фитомикроперифитон соответствует основным требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам [19]: отличается высоким таксономическим и экологическим разнообразием, широко распространен в водных объектах разных типов, играет важную роль в функционировании биоты водных экосистем, а его структурные и функциональные показатели тесно связаны с экологическими факторами [23]. Преимущество использования фитоперифитона в качестве биоиндикатора состоит в том, что он как достаточно

© Щербак В. И., Семенюк Н. Е., 2011

инертное сообщество лишь в незначительной степени зависит от влияния случайных, локальных изменений гидрологического и гидрохимического режима и отображает преобладающие условия среды. Структура фитоперифитона может отражать интегрированную картину изменений экологических условий за период в несколько дней до отбора проб [11, 23, 25, 30].

Фитомикрופерифитон (фитомикробентос) также является одним из биологических элементов оценки экологического состояния водных объектов согласно Водной Рамочной Директиве 2000/60/ЕС. В Водной Рамочной Директиве приводится классификация экологического состояния водных объектов по таксономическому составу и обилию фитобентоса, согласно которой водные объекты делятся на пять классов от «отличного» до «очень плохого». Однако данная классификация является схематичной и не содержит числовых характеристик водорослей. Предусматривается, что каждое государство обеспечивает деление шкалы пяти ранговых классов экологического состояния по количественным характеристикам, а границы между классами устанавливаются путем интеркалибрации с учетом экологических условий в бассейнах отдельных рек или озерных систем [3].

Следовательно, для разработки методологии оценки экологического состояния водоемов по фитоперифитону важными задачами являются: 1) выбор характеристик фитомикрופерифитона, чувствительных к антропогенной нагрузке; 2) установление их числовых значений для каждого класса экологического состояния; 3) интеркалибрация с учетом экологических условий разнотипных водных объектов.

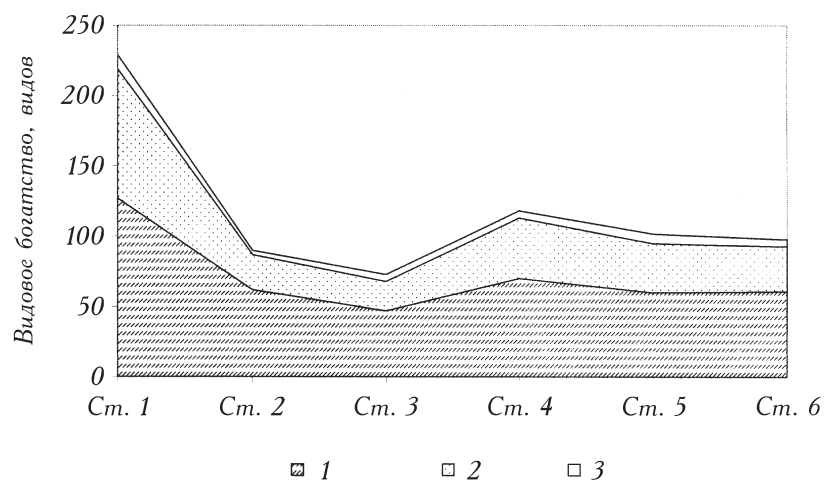
1. Основные характеристики фитомикрופерифитона

В качестве характеристик для оценки состояния водных экосистем могут быть использованы различные структурные и функциональные показатели фитоперифитона, являющиеся чувствительными к антропогенной нагрузке.

Таксономическое разнообразие

Видовое разнообразие. Показано, что разнообразие фитоперифитона снижается при увеличении степени антропогенного влияния на водные объекты [7, 8, 16, 30]. Например, при изучении перифитона р. Москвы установлено, что на станциях наблюдения, расположенных в центре г. Москвы и подверженных значительному антропогенному воздействию, видовое богатство фитоперифитона было в 2—3 раза ниже, чем в верхнем течении реки, где антропогенное влияние было минимальным [7]. Ниже г. Москвы видовое богатство водорослей перифитона повышалось, но не достигало такого уровня, как в верхнем течении реки выше г. Москвы (рис. 1).

Аналогичная закономерность наблюдалась и в Иваньковском водохранилище. На участке Иваньковского плеса, характеризующегося незначительным антропогенным воздействием (берега залива окружены лесными массивами, сельскохозяйственные угодья и населенные пункты отсутствуют), фитоперифитон был представлен 143 видами водорослей. На участке Шо-



1. Пространственная динамика видового богатства фитоперифитона р. Москвы (по: [7]): 1 — Bacillariophyta; 2 — Chlorophyta; 3 — другие (Euglenophyta, Dinophyta, Chrysophyta); Ст. 1 — верхнее течение реки выше г. Москвы; Ст. 2, 3 — центр г. Москвы; Ст. 4 — на выходе из г. Москвы; Ст. 5 — ниже г. Москвы; Ст. 6 — 40 км от г. Москвы.

шинского плеса, где антропогенное влияние максимально (в прибрежье расположены населенные пункты и сельскохозяйственные угодья), в фитоперифитоне было обнаружено только 97 видов [13].

Снижение разнообразия фитоперифитона также происходит при антропогенном евтрофировании водоемов. Однако на первом этапе антропогенного евтрофирования может наблюдаться увеличение разнообразия альгocenozов обрастания, главным образом за счет внедрения аллохтонных планктонных (*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp.) и донных форм. В дальнейшем формируется олигодоминантный комплекс и наблюдается уменьшение разнообразия и упрощение структуры сообществ [10].

Флористическая структура. Установлено, что флористическая структура фитоперифитона на разных уровнях систематической иерархии может отображать экологическое состояние водоемов. Например, на уровне отделов свидетельством ухудшения состояния водной экосистемы при органическом или токсическом загрязнении может служить увеличение доли Chlorophyta и Cyanophyta и уменьшение — Bacillariophyta [28, 32].

Репрезентативным показателем экологического состояния водных объектов является флористическая структура фитоперифитона на уровне родов. На участках рек ниже урбанизированных территорий в перифитоне снижается доля реофильных и оксифильных представителей родов *Achnanthes* Bory, *Eunotia* Ehr., *Cymbella* Ag., *Tabellaria* Ehr. и начинают преобладать широковалентные виды родов *Diatoma* Bory emend. Heiberg, *Gomphonema* (Ag.) Ehr., *Nitzschia* Hass., *Pinnularia* Ehr. и *Navicula* Bory [11].

На основе толерантности и чувствительности представителей различных родов диатомовых водорослей к загрязнению водной среды был разработан родовой диатомовый индекс GDI (Generic Diatom Index) [34]:

$$\text{GDI} = \frac{\text{доля чувствительных таксонов, \%}}{\text{доля толерантных таксонов, \%}}.$$

Родовой диатомовый индекс разработан для оценки влияния различных антропогенных факторов: повышения минерализации, снижения рН, ухудшения кислородного режима, органического загрязнения, евтрофирования (табл. 1).

Снижение родového диатомового индекса может свидетельствовать об ухудшении экологического состояния водоема. Кроме того, флористический спектр фитоперифитона может использоваться для расчета индекса заиления (Siltation Index), который представляет собой сумму флористического разнообразия родов *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* Turp. Представители этих родов могут двигаться по поверхности ила, и считается, что увеличение их относительного содержания в перифитоне указывает на заиление водоема [26, 29].

Экологический спектр

Репрезентативным показателем степени антропогенного влияния на водный объект является экологический спектр фитоперифитона: доля различных групп водорослей по отношению к текучести вод и кислородному режиму, местообитанию, рН, галобности и сапробности водной среды. Обобщение литературных данных позволило охарактеризовать экологический спектр фитоперифитона антропогенизированных рек (табл. 2).

Сапробиологическая характеристика качества воды

Биоиндикация сапробности по фитоперифитону может проводиться по методу Пантле — Букк в модификации Сладечека, методу Зелинки — Марвана, а также по методу Ватанабе, когда учитываются только виды-индикаторы диатомовых водорослей, разделенные на три группы: сапроксены (развиваются в чистых водах), эврисапробы (виды с широкой экологической валентностью) и полисапробы (развиваются в водах, богатых органическими соединениями). На примере Иваньковского водохранилища показано [13], что индекс сапробности Пантле — Букк в модификации Сладечека, рассчитанный по фитоперифитону, позволяет достоверно разграничить участки водного объекта с различной степенью антропогенного влияния: участок, окруженный лесными массивами (Иваньковский плес), и участок, в прибрежье которого расположены населенные пункты (Шошинский плес) (рис. 2).

Оценивая степень загрязнения водных объектов по фитоперифитону в разные сезоны года, необходимо принимать во внимание многие условия и биологические особенности видов. При исследовании фитоперифитона р. Ижоры [16] было обнаружено, что весной на всех станциях наблюдения, не-

1. Список чувствительных и толерантных таксонов для расчета родового диатомового индекса [34]

Индекс минерализации	Индекс pH	Индекс кислородного режима	Индекс метаболизма азота	Трофический индекс	Индекс сапробности
Чувствительные таксоны					
<i>Achnanthes</i>	<i>Amphora</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>
<i>Aulacoseira</i>	<i>Caloneis</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Amphora</i>	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira</i>
<i>Cymbella</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Diploneis</i>	<i>Aulacoseira</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cocconeis</i>
<i>Eunotia</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Cymbella</i>
<i>Gomphonema</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Fragillaria</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Neidium</i>	<i>Eunotia</i>
<i>Neidium</i>	<i>Diploneis</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Neidium</i>
<i>Pinnularia</i>	<i>Fragillaria</i>	<i>Neidium</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Pinnularia</i>
<i>Stauroneis</i>	<i>Nitzschia</i>		<i>Neidium</i>		<i>Stauroneis</i>
	<i>Surirella</i>		<i>Pinnularia</i>		<i>Surirella</i>
			<i>Stauroneis</i>		
			<i>Surirella</i>		
Толерантные таксоны					
<i>Amphora</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Amphora</i>	<i>Amphora</i>
<i>Mastogloia</i>	<i>Neidium</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Melosira</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Cyclotella</i>
<i>Nitzschia</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma</i>
<i>Surirella</i>				<i>Nitzschia</i>	<i>Melosira</i>
					<i>Nitzschia</i>

зависимо от степени их загрязнения, в обрастаниях в большом количестве развивался χ —о-сапробный холодолюбивый вид *Meridion circulare* Ag. Такое массовое развитие холодолюбивого вида весной — закономерное явление, и его определяющим фактором было не отношение этого вида к степени органического загрязнения, а температурные условия [1, 16].

Информационное разнообразие (индекс Шеннона)

Имеется точка зрения, что индекс Шеннона не может характеризовать санитарно-биологическое состояние водоемов, но может отражать структурные изменения в сообществе и нарушение состояния экосистемы под воздействием антропогенных факторов [16]. В то же время существует и другое мнение, согласно которому индекс Шеннона может применяться для

2. Экологический спектр фитоперифитона антропогенизированных рек [11, 28, 31]

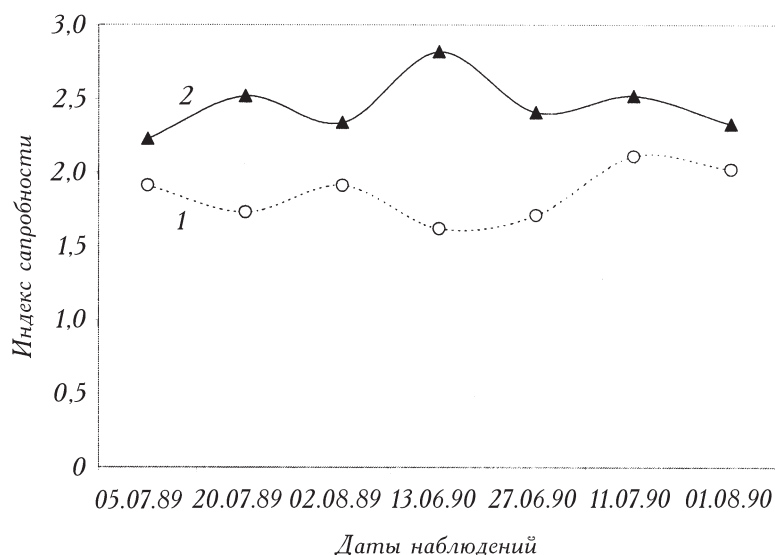
Характеристики экологического спектра	Антропогенные факторы, вызывающие изменения экологического спектра	Отклик экологического спектра на воздействие антропогенных факторов
Отношение к текучести вод и кислородному режиму	Изменение водного режима, заиление и заболачивание русел рек	Выпадение из альгоценозов реофильных и оксифильных форм водорослей
Отношение к местобитанию	Активизация стока с урбанизированных территорий увеличивает заиление субстратов и снижает количество экологических ниш для перифитона	Повышение доли бентосных форм водорослей
Отношение к рН	Изменение природного уровня рН и сдвиг активной реакции среды в щелочную или кислую сторону	Увеличение обилия алкалофильных или ацидофильных форм
Галобность	Поступление в водные объекты стоков с высоким содержанием минеральных компонентов	Возрастание доли мезогалобов и галофилов
Сапробность	Поступление стоков, обогащенных органическими веществами	Возрастание доли α -мезо- и ρ -сапробов и снижение χ - и σ -сапробов

оценки влияния органических и токсических веществ на структуру фитоперифитона — под воздействием различных веществ антропогенного происхождения индекс репрезентативно снижается [23, 27, 31].

Существует методический подход, согласно которому индекс Шеннона для фитомикроперифитона рассчитывается только по диатомовым водорослям, поскольку Bacillariophyta являются доминирующим отделом в этом сообществе [26].

Пространственное распределение

Пространственное распределение фитоперифитона в реках, не испытывающих значительного антропогенного воздействия, согласуется с концепцией речного континуума. В естественных водотоках изменения видового состава и биомассы перифитона от истока к устью происходят постепенно и в основном определяются скоростью течения и природой субстрата. На урбанизированных территориях антропогенное влияние является фактором, определяющим локальную дискретность фитоперифитона. Практически ря-



2. Динамика сапробности фитоперифитона Иваньковского (1) и Шошинского (2) плесов Иваньковского водохранилища (по [13]).

дом могут быть обнаружены водорослевые сообщества, абсолютно различные по видовому составу [11, 31].

Увеличение мозаичности, что фактически является проявлением дискретности, часто бывает связано с усилением механического воздействия, снижающего скорость колонизации субстрата, особенно четко это проявляется при переустройстве русла рек и выравнивании речного ложа, усиливающих эрозию берегов и заиление дна [11, 31].

В пространственном распределении фитоперифитона репрезентативным показателем его континуального или дискретного характера могут служить индексы сходства видового и флористического состава, например: коэффициент видового сходства Серенсена, Жаккара, коэффициенты ранговой корреляции Кендела и Спирмена [21]. Так, коэффициент Спирмена использовался для анализа сходства перифитона прибрежной акватории Черного моря на станциях, различно удаленных от точки сброса сточных вод [9].

Количественное разнообразие

Численность, биомасса. Показано, что интенсивное количественное развитие перифитона является характерным признаком антропогенного евтрофирования водоемов [18, 25, 26]. Также установлено, что в водоемах и водотоках на урбанизированных территориях наблюдается рост показателя общей биомассы водорослевого сообщества перифитона, что обусловлено поступлением в водоемы стоков, обогащенных органическими веществами и биогенными элементами [8, 23].

В Институте гидробиологии НАН Украины разработана методология характеристики водных объектов Украины по гидробиологическим показателям, в число которых входит и фитомикрופерифитон. Диапазон изменчивости количественных показателей перифитона разделен на девять градаций, которым соответствуют девять разрядов (пять классов) трофности [4, 17].

Структура доминирующего комплекса. Данный показатель репрезентативно отображает экологическое состояние водоема. Полидоминантной структурой доминирующего комплекса характеризуется перифитон водных объектов, где преобладают природные процессы, а при ухудшении экологического состояния его структура становится олиго- или монодоминантной, а биомасса сообщества повышается за счет возросшей продуктивности отдельных видов при одновременном снижении таксономического разнообразия [23]. В перифитоне водоемов и водотоков урбанизированных территорий часто доминируют виды с широкой экологической валентностью, приуроченные к евтрофным водоемам: *Achnanthydium minutissima* (Kütz.) Czarn., *Encyonema minuta* (Hilse ex Rabenh.) Mann in Round, Crawf., *Navicula menisculus* Schum., *N. cryptocephala* L.-B. in Kram. et L.-B., *N. lanceolata* (Ag.) Ehr., *Gomphonema parvulum* Kütz., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm., *Fragilaria vaucheriae* (Kütz.) Boye-Pet., *Fragilariforma virescens* (Ralfs) Will. et Round [8, 11].

В частности, доля *A. minutissima* в формировании общей численности (биомассы) фитоперифитона рассматривается как информативная характеристика качества воды. Этот вид, как правило, является пионером в колонизации субстратов, часто доминирует в загрязненной водной среде, и увеличение его процентной доли может служить показателем нарушения экологического состояния водного объекта. Принято, что если доля *A. minutissima* не превышает 25% — экологическое состояние не нарушено, 26—50% — в экосистеме наблюдаются незначительные нарушения, 51—75% — умеренные нарушения, 76—100% — сильные нарушения [26].

Первичная продукция

Интенсивность первичной продукции перифитона является важной характеристикой водных экосистем, определяющей их трофический статус и качество воды. Закономерности ее формирования еще недостаточно изучены, что обусловлено разнообразием субстратов, гетерогенностью обрастаний, зависимостью продукционных свойств перифитона от экологических условий, а также методическими трудностями, связанными с возможными нарушениями в структуре и функционировании сообщества при отделении обрастания от субстрата. Основные методические трудности возникают при определении продукции эпифитона (микроскопических водорослей, развивающихся на макрофитах). Эпифитон и растение-субстрат формируют сложную систему, компоненты которой оказывают влияние друг на друга. Интенсивно развивающийся эпифитон может создавать барьер для доступа солнечной радиации, биогенных элементов, газообмена, что приводит к угнетению роста макрофитов, а очень плотные заросли макрофитов, в свою очередь, могут подавлять рост перифитона из-за затенения [5]. В настоящее время существует ряд различных методических подходов к определению

3. Методические подходы к определению первичной продукции фитоэпифитона, их преимущества и недостатки [5, 6, 12, 14, 15, 20]

Методические подходы	Преимущества подходов	Недостатки подходов
1. Модификация метода склянок, используемого для изучения первичной продукции планктона. Эпифитон смывают с макрофитов, разбавляют фильтрованной водой, разливают в сосуды и определяют первичную продукцию, как и для планктона [5]	Продукция эпифитона измеряется отдельно от продукции макрофита	Сообщество эпифитона нарушается и переводится в неестественное для него взвешенное состояние [5]
2. Макрофит (или его часть) с обрастаниями помещается в сосуд. Отдельно измеряется продукция макрофита, очищенного от обрастания. Продукция эпифитона рассчитывается по разности между продукцией макрофита с эпифитомом и очищенного растения [5]	Сообщество эпифитона не нарушается	С макрофита удаляется эпифитон, который в естественных условиях препятствовал доступу солнечной радиации и биогенных элементов к макрофиту [5]. Повреждение макрофита
3. Объединение двух первых подходов. Экспонируют: 1) макрофит с эпифитомом, 2) макрофит, очищенный от эпифитона, 3) суспензию эпифитона [12]	Анализируется как ненарушенное сообщество эпифитона, так и эпифитон отдельно от макрофита	Слабая сопоставимость результатов. В суспензии эпифитона уровень продукционно-деструкционных процессов может быть существенно ниже, чем в обрастании на растении [6]
4. Определение продукции консорции эпифитон — макрофит. Экспонируется стебель макрофита с эпифитомом. Считается, что фотосинтезом макрофита можно пренебречь [20]	Структура эпифитона на субстрате не нарушается	Не принимается во внимание продукция макрофита, особенно при низком уровне развития эпифитона
5. Использование экспериментальных субстратов (предметных стекол, полихлорвиниловых трубок), экспонируемых в водоеме [15]	Структура эпифитона на субстрате не нарушается	Не принимается во внимание влияние макрофита на эпифитон
6. Аккумулятивный метод. Прирост биомассы перифитона на экспериментальных субстратах с некоторыми допущениями отражает чистую продукцию сообщества. Результаты сопоставимы с результатами скляночного метода [14]	Методическая простота выполнения. Сообщество перифитона не нарушается	Наряду с продукцией и деструкцией органического вещества внутри системы, имеет место поступление вещества извне и вынос из системы [14]

первичной продукции фитозеифитона, основные из них приведены в таблице 3.

Существует точка зрения [14, 33], что для мелководных водоемов с большой площадью зарослей доля первичной продукции перифитона в суммарной первичной продукции может быть индикатором трофического статуса водоема, так как в метаболизме олиготрофных озер вклад перифитона в суммарную первичную продукцию выше, чем в мезотрофных и евтрофных. Установлено, что с увеличением концентрации фосфора роль фитопланктона в суммарной первичной продукции озер возрастает, а фитоперифитона — снижается. На основании полученных данных была выдвинута гипотеза, согласно которой в процессе евтрофирования происходит переключение экосистемы с бентической первичной продукции (бентос + перифитон) на пелагическую (планктон).

Таким образом, в качестве характеристик, адекватно отображающих экологическое состояние водного объекта и степень антропогенного влияния на него, могут использоваться такие показатели фитомикрперифитона, как таксономическое разнообразие, флористическая структура, экологический спектр, информационное разнообразие, численность, биомасса, структура доминирующего комплекса, индекс сапробности (табл. 4).

2. Установление численных характеристик фитомикрперифитона для каждого класса экологического состояния водного объекта

Актуальной задачей является установление числовых характеристик фитомикрперифитона для классов экологического состояния водного объекта. В США для этих целей используют методику «Rapid Bioassessment Protocols» (RBP), в основе которой лежит использование правила 25% для оценки вариабельности характеристики по градиенту экологических условий. Если характеристика уменьшается с увеличением антропогенной нагрузки, то отклонение ниже 25% (по сравнению с нормой) указывает на ухудшение экологического состояния на один класс качества. То есть зона значений характеристики, находящаяся ниже эталонного значения, подразделяется на четыре группы по 25% [2]. В дальнейшем данная методика была модифицирована: первому классу будут соответствовать типоспецифические значения характеристик и их изменения на 5%, второму классу — изменения в диапазоне 5—35% от типоспецифических, третьему — 35—65%, четвертому — 65—95% и пятому — от 95% до крайних возможных значений диапазона [2, 24].

Для оценки экологического состояния горных водотоков США по фитоперифитону был предложен индекс биотической целостности фитоперифитона (PIBI — Periphyton Index of Biotic Integrity) [29]. Он вычисляется как среднее арифметическое нескольких индексов, каждый из которых рассчитывается по определенной формуле, например:

$$\text{индекс видового богатства} = (\text{количество видов} - 16) / 17;$$

4. Оценка экологического состояния водных объектов по основным характеристикам фитомикрорифитона (согласно [4, 7, 8, 11, 13, 23, 26—32, 34])

Параметры фитомикрорифитона	Изменение характеристики параметра при ухудшении экологического состояния	Антропогенные факторы, определяющие изменение характеристики параметра	Экологическое состояние				
			отличное	хорошее	удовлетворительное	плохое	очень плохое
1. Таксономическое разнообразие [7, 8, 13, 23, 30]	Снижение общего количества видов, изменение видового состава	Органическое, токсическое загрязнение	Высокое (преимущественно виды, чувствительные к загрязнению, и виды, требующие выведения)	Высокое (виды, чувствительные к загрязнению, и виды, требующие выведения)	Незначительно сниженное (преимущественно)	Сниженное (только виды, толерантные к загрязнению)	Низкое (только виды, очень толерантные к загрязнению)
2. Индекс Шеннона [23, 27, 31]	Снижение	Органическое, токсическое загрязнение	Высокий	Незначительно сниженный	Сниженный	Значительно сниженный	Низкий
3. Флористическая структура на уровне отделов [28, 32, 34]: доля <i>Vaccillagiorhuta</i> , %	Снижение	Евтрофирование, органическое, токсическое загрязнение	Высокая	Незначительно сниженная	Сниженная	Значительно сниженная	Низкая

Продолжение табл. 4

Параметры фитомикрореперифитона	Изменение характеристики параметра при ухудшении экологического состояния	Антропогенные факторы, определяющие изменение характеристики параметра	Экологическое состояние				
			отличное	хорошее	удовлетворительное	плохое	очень плохое
Доля Chlorophyta и Cyanophyta, %	Повышение	— " —	Низкая	Незначительно повышенная	Повышенная	Значительно повышенная	Высокая
4. Родовой диатомовый индекс (GDI)	Снижение	— " —	Высокий	Незначительно сниженный	Сниженный	Значительно сниженный	Низкий
5. Экологический спектр [11, 28, 31] доля реофильных и оксифильных форм, %	Снижение	Изменение водного режима, заиливание, заболачивание	Высокая	Незначительно сниженная	Сниженная	Значительно сниженная	Низкая
доля форм обростания, %	Снижение	— " —	Высокая	Незначительно сниженная	Сниженная	Значительно сниженная	Низкая
Доля бентосных и планктонных форм, %	Повышение	Изменение водного режима, заиливание, заболачивание	Низкая	Незначительно повышенная	Повышенная	Значительно повышенная	Высокая
Доля мезогалобных и галофильных форм, %	Повышение	Повышение минерализации воды	Низкая	Незначительно повышенная	Повышенная	Значительно повышенная	Высокая

Продолжение табл. 4

Параметры фитопланктона	Изменение характеристики параметра при ухудшении экологического состояния	Антропогенные факторы, определяющие изменение характеристики параметра	Экологическое состояние				
			отличное	хорошее	удовлетворительное	плохое	очень плохое
6. Коэффициенты видового сходства Серенсена между отдельными станциями	Снижение	Изменение морфометрии водных объектов, органическое, токсическое загрязнение	Высокие	Незначительно сниженные	Сниженные	Значительно сниженные	Низкие
7. Численность, млн. кл./10 см ² [4]	Повышение	Евтрофирование, органическое загрязнение	< 0,5	0,5—5,0	5,1—50,0	50,1—200,0	> 200,0
8. Биомасса, г/10 см ² [4]	Повышение	— " —	< 0,5	0,5—5,0	5,1—50,0	50,1—100,0	> 100,0
9. Структура доминирующего комплекса [23, 30]	Упрощение	Евтрофирование, органическое, токсическое загрязнение	Доминирование одного вида	Доминирование одного вида чаще	Часто наблюдается массовое развитие одного вида	Часто наблюдается массовое развитие одного вида	Часто наблюдается массовое развитие одного вида
10. Доля численности (биомассы) <i>Achnanthes minutissima</i> , % [26]	Повышение	Органическое загрязнение	< 1%	1—25%	26—50%	51—75%	76—100%
11. Индекс сапробности [4, 23]	Повышение	Евтрофирование, органическое загрязнение	< 1,0	1,0—1,5	1,6—2,0	2,1—2,5	2,6—3,0

Индекс доминирования = $1 - ((\text{доля доминирующего вида} - 39,5\%) / 33,5\%)$.

Индекс ацидобионтных диатомовых = $1 - ((\text{доля ацидобионтных видов} - 0,17\%) / 10,93\%)$.

Индекс подвижных диатомовых = $1 - ((\text{доля подвижных диатомовых} - 2,2\%) / 31,8\%)$.

При этом каждый индекс имеет максимальное значение 1 и минимальное 0. Данные формулы могут быть использованы и при разработке аналогичного индекса для водоемов Украины, но при этом необходимо учитывать специфические характеристики фитомикрופерифитона каждого водного объекта для которого проводится оценка экологического состояния.

Заключение

Установлено, что структурные и функциональные показатели фитомикрופерифитона: таксономическое разнообразие, флористическая структура, экологический спектр, информационное разнообразие, численность, биомасса, доминирующий комплекс, индекс сапробности и вклад продукции перифитона в суммарную первичную продукцию автотрофного звена могут использоваться для оценки экологического состояния водоемов.

**

Встановлено, що структурні і функціональні показники фітомікрופерифітону, чутливі до антропогенного навантаження, можуть бути використані для оцінки екологічного стану антропогенно змінених водойм.

**

The paper deals with theoretical summarizing of the phytoperiphyton structural and functional characteristics, which are sensitive to anthropogenic press and can be applied for assessing the ecological state of disturbed water bodies.

**

1. Абакумов В.А., Полищук В.В. Сопоставление систем биологической индикации, апробированных во время совместных советско-английских исследований на базе Института гидробиологии АН УССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. Сов.-англ. семинара, Уиндермир, Англия, 24—27 апр. 1979 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — С. 81—116.
2. Афанасьев С.О. Структура біотичних угруповань та оцінка екологічного стану річок басейну Тиси. — К.: Інтертехнодрук, 2006. — 101 с.
3. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К., 2006. — 240 с.
4. Жукинський В.М. Використання методів гідроекологічних досліджень при комплексній оцінці стану поверхневих вод // Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — С. 376—400.

5. Жукова А.А. Продукционно-деструкционные параметры эпифитона с различных видов макрофитов оз. Нарочь // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География. — 2004. — № 3. — С. 29—32.
6. Жукова А.А. Методы определения продукции эпифитона: сопоставимость результатов // Там же. — 2005. — № 3. — С. 51—55.
7. Горидченко Т.П. Опыт применения перифитона для оценки качества речных вод // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф., Москва, 1—3 ноября 1978 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — С. 194—200.
8. Горидченко Т.П. Основные направления изменений перифитонных сообществ под воздействием антропогенных факторов // Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем: Тр. сов.-фр. симп., Астрахань, 9—12 сент. 1985 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 155—165.
9. Гусяков Н.Е., Косенко С.Ю. О возможности использования ранговой корреляции коэффициента (R_s) Спирмена при анализе качества вод по диатомовым обрастаниям // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. «Гідроекологія». — 2001. — № 4 (15). — С. 124—125.
10. Комулайнен С.Ф. Изменение структуры фитоперифитона при увеличении антропогенной нагрузки // Там же. — 2005. — № 3 (26). — С. 218—219.
11. Комулайнен С.Ф., Морозов А.К. Изменение структуры фитоперифитона в малых реках урбанизированных территорий // Вод. ресурсы. — 2007. — Т. 34, № 3 — С. 356—363.
12. Косятова В.А., Левшина Н.А., Эйнон Л.О. Эпифитон макрофитов-эдификаторов Иваньковского водохранилища и его влияние на формирование качества природной воды // Там же. — 1990. — Т. 17, № 3. — С. 81—88.
13. Косятова В.А., Эйнон Л.О. Влияние антропогенных факторов на развитие водорослей перифитона в Иваньковском водохранилище // Там же. — 1996. — Т. 23, № 6. — С. 732—738.
14. Макаревич Т.А. Вклад перифитона в суммарную первичную продукцию пресноводных экосистем (Обзор) // Вестн. Тюмен. ун-та. — 2005. — № 5. — С. 77—86.
15. Метелева Н.Ю., Девяткин В.Г. Формирование и продуктивность перифитона Рыбинского водохранилища: первичная продукция // Биология внутр. вод. — 2005. — № 3. — С. 44—47.
16. Никулина В.Н. Опыт использования различных методов оценки степени загрязнения вод по альгофлоре // Методы биологического анализа пресных вод. — Л.: ЗИН АН СССР, 1976. — С. 38—58.
17. Оксюк О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А. и др. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон и зоофитос // Гидробиол. журн. — 1994. — Т. 30, № 4. — С. 31—35.
18. Россолимо А.А. Изучение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. — М.: Наука, 1977. — 144 с.
19. Семенченко В.П. Принципы и методы биоиндикации текучих вод. — Минск: Орех, 2004. — 125 с.
20. Сигоренко В.М., Величко И.М., Новак А.А. Перифитон как фактор формирования гидрохимического режима в зарослях высших водных растений // Гидробиол. журн. — 1984. — Т. 20, № 3. — С. 101—103.

21. *Шмигд В.М.* Статистические методы в сравнительной флористике. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. — 176 с.
22. *Щербак В.І.* Гідроекологічні аспекти вирішення проблеми оцінки та зменшення загроз біорізноманіттю континентальних водойм України // Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіття України. — К.: Хімджест, 2003. — С. 273—348.
23. *Щербак В.І., Семенюк Н.С., Майстрова Н.В.* Адаптація методів оцінки екологічного стану водойм мегаполісів України за фітопланктоном і фітомікроперифітоном відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС // Доп. НАН України. — 2009. — № 10. — С. 206—211.
24. *Barbour M.T. et al.* A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates // J. North Amer. Benthol. Soc. — 1996. — Vol. 15 (2). — P. 185—211.
25. *Biggs B.J.F.* Patterns in benthic algae in streams // Algal ecology: freshwater benthic ecosystem / Ed. by R.G. Stevenson, M.I. Bothwell, R.L. Lowe. — 1996. — P. 31—56.
26. *California Watershed Assessment Manual.* — 2005. — Vol. II, chap. 4: Using periphyton in watershed assessment. — P. 1—28. — (<http://cwam.ucdavis.edu>).
27. *Dickman A.* A quantitative method for assessing the toxic effects of some water soluble substances, based on changes in periphyton community structure // Water Res. — 1969. — Vol. 3, N 12. — P. 963—972.
28. *Hill B.H., Herlihy A.T., Kauffman P.R. et al.* Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity // J. North Amer. Benthol. Soc. — 2000. — 19 (1). — P. 50—67.
29. *Hill B.H., Herlihy A.T., Kaufmann et al.* Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity // Ecol. Indicators. — 2003. — V. 2. — P. 325—338.
30. *Jarلمان A., Lindström E.-A., Eloranta P., Bengtsson R.* Nordic standard for assessment of environmental quality in running water // Use of algae for monitoring rivers II: Proc. of an Intern. symp., Innsbruck, 17—19 Sept., 1995. — Innsbruck: Institut für Botanik, Universität Innsbruck, 1996. — P. 17—28.
31. *Komulainen S.F.* Experience of using phytoplankton monitoring in urban watercourses // Oceanol. and Hydrobiol. studies. — 2004. — Vol. 33, N 1. — P. 65—75.
32. *Stevenson R.J.* Diatom indicators of stream and wetland stressors in a risk management framework // Pap. 3rd Symp. Environ. Monit. and Assess. Program (EMAP). Environ. Monit. and Assess. — 1998. — Vol. 51, N 1—2. — P. 107—118.
33. *Vadeboncoeur Y., Jeppesen E., Vander Zanden M.J. et al.* From Greenland to green lakes: Cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes // Limnol. Oceanogr. — 2003. — Vol. 48, N 4. — P. 1408—1418.
34. *Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J.* A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands // Netherlands J. Aquatic Ecology. — 1994. — Vol. 28, N 1. — P. 117—133.