

УДК (581.526.323:574.58):602.64

О. П. Оксюк, О. А. Давыдов, Ю. И. Карпезо

### **МИКРОФИТОБЕНТОС КАК БИОИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

Микрофитобентос, в целом, в условиях многокомпонентного антропогенного пресса на водные экосистемы является синбиоиндикатором, если интенсивность факторов, вызывающих противоположные изменения показателей его структуры и обилия, существенно различна; при одинаковой их силе имеет место нивелирование противоположных воздействий. Эколого-морфологические группы бентосных водорослей, обладающих специфической чувствительностью к определенным факторам среды, служат надежными синбиоиндикаторами разнонаправленных видов антропогенного воздействия на водные экосистемы.

**Ключевые слова:** микрофитобентос, синбиоиндикация, состояние водных экосистем.

Микрофитобентосу присуща высокая чувствительность к изменению абиотических и биотических условий среды обитания. Он четко реагирует на различные антропогенные воздействия: загрязнение, изменение морфометрических параметров водных объектов, характера донных грунтов, гидрологического режима в результате гидротехнических преобразований и т. д. [3, 4]. Эти свойства обуславливают эффективность использования микрофитобентоса для биоиндикации, оценки состояния водных экосистем и среды обитания гидробионтов [3, 4, 7].

В современный период в связи с воздействием на гидроэкосистемы комплекса разных физических и химических антропогенных факторов приоритетное значение в оценке экологического состояния водных объектов имеет биоиндикация. При этом неизбежным является переход от аутбиоиндикации к синбиоиндикации. Аутбиоиндикация при помощи организмов, показательных по отношению к конкретному антропогенному воздействию (евтрофирование, ацидификация, термофикация и т. п.), мало информативна из-за многокомпонентности и разнопланового влияния антропогенных факторов на водные экосистемы [8]. Значительно надежнее использование синбиоиндикации на основе сообществ гидробионтов (биоценозов, таксоценозов, эколого-морфологических и других групп организмов). Методы синбиоиндикации базируются на принципах факториальной гидроэкологии — исследования реакции экологических группировок гидробионтов на изменение в результате природных процессов и антропогенного пресса абиотических и биотических факторов в водных экосистемах.

© Оксюк О. П., Давыдов О. А., Карпезо Ю. И., 2010

Водная Рамочная Директива ЕС [1, 10] при оценке нарушения экологического состояния водных объектов в результате антропогенного воздействия приоритетную роль придает биоиндикации. При этом оценка по микрофитобентосу основывается на синбиоиндикации — изменении состава и обилия его сообществ.

Цель работы — определить биоиндикационные возможности микрофитобентоса и его структурных элементов для оценки воздействия антропогенных факторов на водные экосистемы.

**Материал и методика исследований.** Материалы по микрофитобентосу получены в результате исследований, проведенных в 1986—2005 гг. на Каневском и Каховском водохранилищах, в низовьях Днестра и Южного Буга, на украинском участке Дуная в местах, подвергающихся антропогенному воздействию. Пробы микрофитобентоса отбирали по вертикальному профилю дна микробентометром МБ-ТЕ в трех повторностях. Видовое богатство [2] выражено количеством видов в одной пробе, отобранной с площади дна около 40 см<sup>2</sup>. Численность водорослей учитывали на счетной пластинке в капле объемом 0,1 см<sup>3</sup>, биомассу вычисляли по методу геометрического подобия.

Для характеристики индикационного значения показателей микрофитобентоса использовали метод расчета коэффициента экологического качества (*ecological quality ratio* — *EQR*), примененного в Водной Рамочной Директиве ЕС (ВРД) [1, 9, 10]. Коэффициент представляет собой отношение между измеренным в оцениваемом водном объекте ( $I_0$ ) и эталонным ( $I_э$ ) исходным (*reference*) значениями показателей [1, 4, 9]. Его величина изменяется от 1,0 при эталонном (референсном) ненарушенном экологическом состоянии до 0 при очень плохом экологическом состоянии. Коэффициент рассчитывается как:

$$EQR = \frac{I_0}{I_э}$$

Если значение показателя в водном объекте выше, чем эталонное, расчет имеет вид:  $EQR = \frac{1}{I_0 / I_э} = \frac{I_э}{I_0}$ . Рекомендуется использовать мультиметрический индекс [11] — среднеарифметическое значение *EQR* для отдельных показателей.

В качестве исходных эталонных использованы представленные в ранее опубликованных работах [5, 7] величины показателей для альгоценозов микрофитобентоса в исследованных водных объектах в практически ненарушенном состоянии. Для типовых альгоценозов [5] они являются типичными («типоспецифическими» в терминологии ВРД), то есть свойственными определенным типам местообитаний (экотопов), характеризующихся сходной спецификой физико-химических и биологических условий, вне зависимости от категорий водных объектов.

### Результаты исследований и их обсуждение

Микрофитобентос представляет собой многокомпонентную экологическую группировку, которая включает как автохтонные, так и аллохтонные компоненты, оседающие на дно из планктона и перифитона. Использование для синбиоиндикации микрофитобентоса в общем может привести к ошибочным результатам, поскольку его показатели нередко изменяются за счет случайных или временных аллохтонных форм. Биоиндикация базируется на резидентной биоте [8], этот принцип правомерен и для синбиоиндикации. Поэтому в составе микрофитобентоса бентонтам, безусловно, принадлежит приоритетная роль. Некоторые водоросли, способные активно вегетировать на дне, в толще воды, на твёрдых субстратах, являются факультативными бентонтами [6]. Оценка состояния водных экосистем по микрофитобентосу основывается на сформированных бентонтами типовых альгоценозах, свойственных определенным экотопам [5].

При синбиоиндикации необходимо учитывать, что реакция микрофитобентоса на разные факторы воздействия может иметь противоположную направленность. Так, усиление гидродинамических процессов приводит к уменьшению, а повышение трофности при загрязнении органическими и биогенными веществами, напротив, — к возрастанию его видового богатства и обилия. Поэтому в случае одновременного действия таких факторов изменение количественных показателей микрофитобентоса нивелируется, в результате чего биоиндикационный эффект ослабляется или полностью утрачивается.

Синбиоиндикация в таких ситуациях основывается на избирательности реакции отдельных структурных компонентов микрофитобентоса на определенные физико-химические факторы. Установлено, что разные эколого-морфологические группы (ЭМГ) бентонтов проявляют специфическую чувствительность к воздействию конкретных факторов. ЭМГ крупных диатомовых водорослей ( $B_{\text{кд}}$ ) весьма четко реагирует на изменение динамики водных масс, а ЭМГ нитчатых синезеленых водорослей ( $B_{\text{нс}}$ ) — на загрязнение органическими и биогенными веществами, особенно на песчаных грунтах с бедным их содержанием.

*Каневское водохранилище, речная часть в пределах г. Киева.* 1. На участке выше зал. Оболонь в прибрежной зоне (0—1,5 м) вегетирует типичный альгоценоз литоральных эвритопных диатомовых водорослей — *Staurosira construens* + *Melosira varians*. Количество видов бентонтов в пробе в среднем по вертикали в зоне распространения альгоценоза — 14, в общем (с аллохтонами) — 28, численность — соответственно 30 тыс. и 110 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,014 и 0,029 мг/10 см<sup>2</sup>.

Основными факторами антропогенного воздействия являются: 1) сильные внутрисуточные колебания уровня воды и проточность в периоды пиковых попусков Киевской ГЭС, 2) интенсивное локальное загрязнение через коллектор поверхностного стока с жилмассива. Вследствие действия этих двух противоположно направленных факторов количественные показатели микрофитобентоса (за исключением биомассы) мало отклоняются от эта-

лонных величин (табл. 1): увеличение в результате загрязнения нивелируется уменьшением из-за сильной динамики водных масс.

Вместе с тем реакция ЭМГ  $B_{nc}$  на загрязнение очень четкая. Ее доля среди бентонтов возросла в несколько раз, составляя в среднем по видовому богатству 11%, по численности — 42, по биомассе — 18%, в результате чего величины  $EQR$  очень низкие (см. табл. 1).

Глубоководную зону (2,0—6,0 м) занимает альгоценоз *Cymatopleura elliptica* + *Surirella biseriata*. Здесь из-за большой крутизны откоса в периоды пиковых попусков ГЭС отмечается очень сильная проточность; загрязнение поверхностным стоком значительно слабее, чем в прибрежной зоне. Микрофитобентос обедненный: количество видов бентонтов в среднем не более 5, в общем — 11, численность — соответственно 1 тыс. и 3 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,006 мг/10 см<sup>2</sup>.

В таких условиях регистрируется существенное снижение доли не только крупных диатомовых, но и нитчатых синезеленых и других водорослей в альгоценозе. Величины  $EQR$  весьма низкие как для микрофитобентоса в целом, так и для эколого-морфологических групп (см. табл. 1), что свидетельствует о неблагоприятных условиях, в частности для сообществ донных гидробионтов.

2. На участке ниже моста Метро, расположенном в зеленой рекреационной зоне, основные факторы антропогенного воздействия — интенсивная динамика водных масс при пиковых попусках ГЭС и умеренное рассеянное загрязнение. В литоральной зоне в альгоценозе *Staurosira construens* + *Melosira varians* микрофитобентос бедный: зарегистрировано в среднем 8 видов бентонтов, в общем — 19; биомасса составляла соответственно 0,011 и 0,018 мг/10 см<sup>2</sup>. Численность бентонтов всего 5 тыс., общая численность достигает в среднем 80 тыс. кл/10 см<sup>2</sup> из-за оседания в прибрежной зоне планктонтов, внесенных из Киевского водохранилища и Десны.

Реакция бентонтов на интенсивную антропогенно обусловленную динамику водных масс выражена очень четко, в отличие от микрофитобентоса в общем. При этом численность и биомасса более чувствительны, чем видовое богатство (см. табл. 1). Регистрируется значительное снижение роли ЭМГ  $B_{kd}$  под воздействием неблагоприятных гидродинамических условий. Отмечается заметное увеличение видового богатства и численности ЭМГ  $B_{nc}$  вследствие антропогенного загрязнения (см. табл. 1).

Глубоководная зона занята альгоценозом *Cymatopleura elliptica* + *Surirella biseriata*. Количественные показатели микрофитобентоса невысоки: бентонтов 6 видов, в общем — 12; численность — соответственно 8 тыс. и 12 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,007 и 0,009 мг/10 см<sup>2</sup>. Достаточно четко регистрируется их существенное снижение под воздействием сильной проточности (см. табл. 1).

Доля ЭМГ  $B_{kd}$  среди бентонтов довольно значительная: 14% видового богатства, около 5% численности, 21% биомассы. Однако сильная антропоген-

**1. Коэффициент экологического качества (EQR) по микрофитобентосу водных объектов в местах, подверженных антропогенному воздействию**

Водные объекты, пункты	Горизонты, м	Микрофитобентос				Эколого-морфологические группы							
						крупные диатомовые водоросли				нигчатые синезеленые водоросли			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Каневское водохранилище, речная часть	0—1,5	0,93	1,00	0,28	0,74	~1,00	0,37	~1,00	~0,80	0,27	0,24	0,08	0,20
		> 1,00	> 1,00	0,48	> 1,00								
выше зал. Оболонь	2,0—6,0	0,33	0,05	0,08	0,15	0,35	0,51	0,39	0,41	0,30	0,38	< 0,01	0,23
		0,55	0,10	0,06	0,24								
ниже моста Метро	0—1,5	0,53	0,17	0,22	0,31	0,32	0,37	0,47	0,39	0,47	0,55	0,79	0,60
		0,95	> 1,00	0,30	0,95								
	2,0—6,0	0,40	0,40	0,09	0,30	0,56	0,59	0,39	0,51	0,41	0,58	0,18	0,39
		0,60	0,40	0,09	0,36								
Каховское водохранилище, речная часть	0—1,5	0,67	0,62	0,31	0,53	0,54	< 0,01	0,35	0,30	0,45	0,27	0,14	0,29
		0,68	0,67	0,43	0,59								
г. Запорожье	2,0—6,0	0,45	0,28	0,12	0,28	0,18	< 0,01	0,09	0,09	0,53	0,70	0,47	0,57
		0,37	0,22	0,12	0,24								
пос. Нижняя Хортица	0—1,5	0,93	0,92	0,66	0,84	0,30	< 0,01	0,43	0,24	0,76	0,49	~1,00	0,75
		0,84	1,00	0,62	0,82								
	2,0—6,0	0,55	0,17	0,18	0,30	0,15	0,11	0,14	0,13	0,69	0,76	0,37	0,61
		0,57	0,30	0,20	0,36								
Средняя часть, г. Никополь	0—6,0	0,55	~ 1,00	0,70	0,75	0,33	0,08	0,35	0,25	0,65	0,58	0,40	0,54
		0,66	> 1,00	0,75	> 1,00								

Продолжение табл. 1

Водные объекты, пункты	Горизонты, м	Микрофитобентос				Эколого-морфологические группы							
						крупные диатомовые водоросли				нитчатые синезеленые водоросли			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
пос. Покровское	0—6,0	0,65	~ 1,00	1,00	0,88	0,24	0,16	0,72	0,37	0,57	0,48	0,50	0,52
		0,66	> 1,00	0,95	~ 1,00								
Низовье Днепра, г. Херсон	0—2,5	0,86	0,18	0,47	0,50	0,69	0,20	0,36	0,42	0,40	0,87	0,42	0,56
		0,83	0,18	0,47	0,49								
Низовье Южного Буца, г. Новая Одесса	0—6,0	~ 1,00	0,33	0,16	0,50	0,36	0,30	0,78	0,48	0,57	0,40	0,19	0,39
		> 1,00	0,43	0,19	0,61								
г. Николаев	0—6,0	1,00	~ 1,00	0,30	0,78	0,36	0,16	0,38	0,30	0,57	0,39	0,19	0,38
		> 1,00	> 1,00	0,37	0,92								
Украинский участок Дуная, г. Кикия	0,4	~ 1,00	0,06	0,23	0,43	~ 1,00	0,01	0,23	0,41	0,57	0,35	0,07	0,33
		~ 1,00	0,20	0,34	0,51								

Пр и м е ч а н и я. 1 — видовое богатство, 2 — численность, 3 — биомасса, 4 — мультиметрический индекс; над чертой — бентонты, под чертой — в общем, включая алохтонные водоросли.

но обусловленная проточность приводит к уменьшению этих величин примерно в два раза по сравнению с эталонными. ЭМГ Б<sub>нс</sub> адекватно реагирует на умеренное загрязнение увеличением роли в альгоценозе. Ее доля составляет 12% видового богатства бентонтов, 35% численности, 17% биомассы, что значительно выше, чем в ненарушенных условиях (см. табл. 1).

*Каховское водохранилище, речная часть.*  
1. В пределах г. Запорожья в литоральной зоне на песчаных грунтах пляжа регистрируется альгоценоз *Staurosira construens* + *Melosira varians*. Основными факторами антропогенного воздействия являются сильные проточность и колебания уровня воды вследствие пикового внутрисуточного режима Запорожской ГЭС, а также умеренное загрязнение рассеянным поверхностным стоком и рекреационная нагрузка. Количественные показатели микрофитобентоса невысокие: отмечено в среднем 10 видов бентонтов, 17 видов в общем; численность составляла соответственно 31 тыс. и 40 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,025 и 0,043 мг/10 см<sup>2</sup>.

Под воздействием гидродинамических факторов эти показатели уменьшаются, но не так сильно, как можно было бы ожидать: величины  $EQR$  довольно высокие (см. табл. 1). Возможно, имеет место нивелирующее влияние возрастания обилия микрофитобентоса в результате антропогенного загрязнения органическими и биогенными веществами.

Доля ЭМГ  $B_{кд}$ , сокращается более существенно: мультиметрический индекс  $EQR$  равен 0,30, видовое богатство составляло около 3% бентонтов, численность — менее 1, биомасса — около 3%.

Увеличение роли ЭМГ  $B_{нс}$  достаточно четко указывает на существенное загрязнение:  $EQR$  колебался в пределах 0,14—0,45. При этом доля ЭМГ  $B_{нс}$  составляла по 18% видового богатства и биомассы бентонтов, а по численности достигала 65%.

В глубоководной зоне на данном участке регистрировались фрагменты альгоценоза *Cumatopleura elliptica* + *Surirella biseriata*, который в течение суток периодически подвергался разрушению под воздействием очень сильной проточности в условиях крутого профиля откоса в этой зоне. Количественные показатели микрофитобентоса низкие; видовое богатство в среднем 9 видов бентонтов, в общем — 11; численность — соответственно 20 тыс. и 22 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,021 и 0,023 мг/10 см<sup>2</sup>. Отрицательное воздействие сильной проточности приводит к уменьшению количественных показателей микрофитобентоса: значения  $EQR$  невелики (см. табл. 1).

Особенно резко сокращается доля ЭМГ  $B_{кд}$ , составляя в среднем около 5% видового богатства и биомассы и менее 1% численности бентонтов. Поэтому значения  $EQR$  чрезвычайно низкие.

Доля ЭМГ  $B_{нс}$  несколько увеличивалась — до 14% видового состава бентонтов, 39% численности, около 8% биомассы. Однако возможно снижение обилия нитчатых синезеленых на глубоководье под воздействием сильной проточности. В литоральной зоне на этом участке доля ЭМГ  $B_{нс}$  была намного выше, а значения  $EQR$  — ниже (см. табл. 1), что свидетельствует о большем уровне загрязнения.

2. У пос. Нижняя Хортица в литоральной зоне альгоценоз *Staurosira construens* + *Melosira varians* вследствие умеренных колебаний уровня и проточности характеризовался более высокими количественными показателями, чем у г. Запорожья; антропогенное загрязнение здесь также значительно слабее. Видовое богатство составляет 14 видов бентонтов, в общем — 21; численность — соответственно 46 тыс. и 61 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,053 и 0,062 мг/10 см<sup>2</sup>. Невысокая гидродинамическая активность не приводила к существенному обеднению литорального альгоценоза (см. табл. 1), достаточно выносливого к воздействию неблагоприятных гидрологических факторов [5, 7].

Доля ЭМГ  $B_{кд}$  среди бентонтов под воздействием умеренной динамики водных масс снижается (см. табл. 1). Регистрируется некоторое увеличение роли ЭМГ  $B_{нс}$  вследствие антропогенного загрязнения. Однако высокие ве-

личины *EQR* (см. табл. 1), очевидно, недостаточно адекватно отражают низкий уровень загрязнения, поскольку действие последнего нивелируется влиянием гидродинамических факторов.

В глубоководной зоне крутой профиль дна усиливает отрицательное воздействие проточности на микрофитобентос; загрязнение в этой зоне слабее, чем в прибрежье. Свойственный глубоководью речных участков днепровских водохранилищ альгоценоз *Cumatopleura elliptica* + *Surirella biseriata* сильно нарушен. Видовое богатство в среднем не превышает 11 видов бентонтов, в общем — 17, численность соответственно — 12 тыс. и 30 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,030 и 0,040 мг/10 см<sup>2</sup>. Эти величины значительно ниже эталонных, особенно численность и биомасса (см. табл. 1).

Резко сокращалась доля ЭМГ  $B_{кд}$ , составляя всего около 4% видового богатства, 1% численности, 8% биомассы бентонтов. Величины *EQR* очень низкие (см. табл. 1). Под воздействием сильной проточности отмечалось уменьшение роли и ЭМГ  $B_{нс}$ , несмотря на наличие некоторого антропогенного загрязнения: видовое богатство составляло всего 5% бентонтов, численность — 21 и биомасса — около 1%, что ниже эталонных значений.

*Каховское водохранилище, средняя расширенная часть.* В отличие от речной части, внутрисуточные колебания уровня воды отсутствуют. По всему вертикальному профилю дна распространен альгоценоз *Cumatopleura elliptica* + *Amphora ovalis*. Антропогенное воздействие умеренной интенсивности включает динамику водных масс вследствие судоходства, рекреации, при загрязнении в населенных пунктах.

1. У г. Николая в микрофитобентосе в среднем по вертикали (0—6,0 м) зарегистрировано 11 видов бентонтов, в общем — 20. Показатели обилия довольно высокие: численность бентонтов 71 тыс., в общем — 186 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — соответственно 0,12 и 0,15 мг/10 см<sup>2</sup>.

В силу действия противоположно направленных антропогенных факторов примерно одинаковой интенсивности изменение показателей микрофитобентоса по сравнению с эталонными величинами невелико (см. табл. 1). Адекватная оценка антропогенного воздействия по микрофитобентосу в общем невозможна из-за обильного оседания на дно аллохтонных водорослей из планктона.

Реакция эколого-морфологических групп бентонтов значительно более четкая, чем микрофитобентоса в целом. Доля ЭМГ  $B_{кд}$  среди бентонтов составляла в среднем по всему вертикальному профилю 5% видового богатства, около 1% численности, 14% биомассы. Регистрируется существенное уменьшение по сравнению с эталонными всех показателей под воздействием антропогенно обусловленной динамики водных масс. Величины *EQR* низкие (см. табл. 1). Доля ЭМГ  $B_{нс}$  среди бентонтов повышалась по сравнению с эталонными величинами в среднем в два раза вследствие антропогенного загрязнения и составляла около 16% видового богатства, 52% численности, 19% биомассы.



2. В пос. Покровском состав и обилие микрофитобентоса и их изменения под воздействием антропогенных факторов были аналогичными. Снижение доли ЭМГ Б<sub>кд</sub> несколько меньше, чем в г. Никополе, из-за менее интенсивной динамики водных масс (см. табл. 1).

*Низовье Днепра в г. Херсоне.* Основными факторами антропогенного воздействия являются довольно сильное загрязнение и умеренная динамика водных масс, обусловленная активным судоходством, рекреацией, рыбным промыслом и т. п. Альгоценоз *Cymatopleura elliptica* + *Nitzschia sigmaidea* вегетирует по всему вертикальному профилю откоса и характеризуется очень высокими количественными показателями. Видовое богатство насчитывает в среднем 35 видов бентонтов, в общем — 48; численность — соответственно 2,76 млн. и 3,40 млн. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 1,45 и 1,58 мг/10 см<sup>2</sup>.

Вследствие того, что влияние антропогенного загрязнения значительно сильнее действия динамики водных масс, обилие микрофитобентоса существенно возрастает по сравнению с эталонным, в то же время видовое богатство изменяется слабо (см. табл. 1). Под влиянием загрязнения также увеличивается роль ЭМГ Б<sub>нс</sub>: ее доля в видовом богатстве бентонтов составляет около 12%, в численности — 20, в биомассе — 7%. Видовое богатство и биомасса более чем в два раза превышают эталонные значения (см. табл. 1).

ЭМГ Б<sub>кд</sub> составляет 6% видового богатства бентонтов, около 1% численности, 11% биомассы, что существенно ниже, чем в ненарушенных гидродинамическими факторами эталонных условиях. Величина *EQR* отражает более четкую реакцию показателей обилия, чем видового богатства (см. табл. 1).

*Низовье Южного Буга.* Альгоценоз *Cymatopleura elliptica* + *Nitzschia sigmaidea* распространен по всему вертикальному профилю дна.

1. В г. Новая Одесса у причала наблюдается довольно сильная динамика водных масс вследствие естественной проточности и антропогенного воздействия (судоходство, рекреация и др.), а также умеренное загрязнение. Видовое богатство микрофитобентоса составляет 29 видов бентонтов, в общем — 48; численность — соответственно 166 тыс. и 234 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>; биомасса — 0,047 и 0,067 мг/10 см<sup>2</sup>. Регистрируется существенное снижение показателей обилия вследствие активного гидродинамического режима (см. табл. 1).

Доля ЭМГ Б<sub>кд</sub> составляла около 5% видового богатства бентонтов, 2% численности, 39% биомассы, что по оценке с помощью *EQR* (см. табл. 1) существенно ниже эталонных значений. Достаточно хорошо прослеживается реакция на загрязнение ЭМГ Б<sub>нс</sub>, которая составляла 7% видового богатства бентонтов, 50% численности, 16% биомассы. Величины *EQR* показывают, что это в 2—5 раз выше, чем в нормальном ненарушенном состоянии альгоценозов.

2. В г. Николаеве оба основных антропогенных фактора — динамика водных масс и загрязнение, довольно сильны. Видовое богатство составляло 30

видов бентонтов, в общем — 51; численность — соответственно 521 тыс. и 616 тыс. кл/10 см<sup>2</sup>, биомасса — 0,089 и 0,131 мг/10 см<sup>2</sup>. Уменьшение показателей под влиянием сильной динамики водных масс нивелировалось их увеличением вследствие интенсивного загрязнения. В результате они оказались близкими к эталонным, за исключением биомассы, величина которой существенно снижалась (см. табл. 1). Уменьшение биомассы определяется тем, что основную роль в её образовании играют крупные диатомовые водоросли, наиболее чувствительные из бентонтов к гидродинамическому режиму. ЭМГ Б<sub>кд</sub> отреагировала на сильную динамику водных масс снижением доли в альгоценозе по сравнению с эталонными значениями по всем показателям (см. табл. 1). Она составляла всего около 5% видового богатства, менее 1% численности, 19% биомассы бентонтов.

На долю ЭМГ Б<sub>нс</sub> приходилось 7% бентонтов по видовому богатству, 51% по численности, 15% по биомассе. Из-за сильного воздействия гидродинамического фактора наблюдаемое, судя по величине *EQR* (см. табл. 1) увеличение роли ЭМГ Б<sub>нс</sub>, вероятно, недостаточно адекватно отражает существенно больший, чем в предыдущем пункте, уровень загрязнения.

*Украинский участок Дуная, г. Киуля.* В прибрежной зоне в заводи основного русла имеет место довольно сильное локальное загрязнение при умеренной динамике водных масс. Vegetирует альгоценоз *Gyrosigma acuminatum* + *Synedra ulna*, в котором зарегистрировано 10 видов бентонтов, в общем — 12. Численность составляла 618 тыс. бентонтов и 668 тыс. кл/10 см<sup>2</sup> в общем, биомасса — соответственно 0,456 и 0,469 мг/10 см<sup>2</sup>, что существенно превышает эталонные величины [8], поэтому значения *EQR* очень низкие (см. табл. 1).

На долю ЭМГ Б<sub>кд</sub> приходится около 6% видов бентонтов, менее 1% численности, 8% биомассы. Отмечается уменьшение роли крупных диатомовых водорослей в численности и биомассе бентонтов (см. табл. 1), вследствие гидродинамических процессов.

Доля ЭМГ Б<sub>нс</sub> очень высокая: около 19% видового богатства бентонтов, 90% численности, 14% биомассы; это значительно выше величин показателей в эталонном состоянии. Низкие значения *EQR* (см. табл. 1) свидетельствуют об интенсивном антропогенном загрязнении.

Результаты исследований показали, что при совокупном действии антропогенных факторов, вызывающих противоположно направленные реакции микрофитобентоса, в целом изменение его показателей не всегда адекватно отражает степень нарушения состояния водной экосистемы и не может служить целям синбиоиндикации. Воздействие факторов, приводящих к сокращению общего видового состава и обилия микрофитобентоса, в частности динамика водных масс, нивелирует их увеличение под влиянием возрастания трофности в результате загрязнения органическими и биогенными веществами.

Четкая реакция микрофитобентоса в целом на изменение экологической ситуации в водных объектах проявляется тогда, когда интенсивность проти-

воположно направленных факторов существенно различна (табл. 2). В таких условиях микрофитобентос в целом является синбиоиндикатором воздействия более сильного фактора. При этом индикаторное значение численности и биомассы выше, чем видового богатства, обычно изменяющегося в меньшей степени. В аспекте биоиндикации бентонты как резидентная флора имеют безусловное преимущество перед аллохтонами, которые являются случайными или временными компонентами донных альгоценозов.

В условиях сильной динамики водных масс вследствие пикового режима работы гидроэлектростанций, судоходства, рекреации, рыбного промысла и др. и умеренного или слабого загрязнения (на речных частях водохранилищ: Каневского — в г. Киеве ниже моста Метро, на глубоководье выше зал. Оболонь; Каховского — в г. Запорожье, на глубоководье у пос. Нижняя Хортица; в низовье Южного Буга у г. Новая Одесса) микрофитобентос в целом является синбиоиндикатором гидродинамического фактора (см. табл. 2), отчетливо реагируя на него уменьшением количественных показателей, особенно бентонтов. Изменение численности и биомассы микрофитобентоса может служить достаточно надежным показателем ухудшения состояния водных экосистем и среды обитания гидробионтов, в частности бентонтов, вследствие нарушения стабильности донных грунтов, вызванного динамикой водных масс.

При сильном загрязнении органическими и биогенными веществами и умеренной гидродинамике (в низовье Днепра у г. Херсона, на украинском участке Дуная в г. Килии) численность и биомасса микрофитобентоса существенно возрастают (при довольно постоянном видовом богатстве). Его роль как синбиоиндикатора антропогенного загрязнения в этих условиях выражена достаточно четко.

В ситуациях, когда интенсивность противоположно воздействующих факторов примерно одинакова, синбиоиндикационный эффект микрофитобентоса в целом утрачивается или проявляется слабо, неадекватно отображая ухудшение состояния водных экосистем. Так, в условиях одинаково сильных динамики водных масс и загрязнения (в речной части Каневского водохранилища у г. Киева в прибрежной зоне выше зал. Оболонь; в низовье Южного Буга в г. Николаеве), а также при умеренном действии обоих этих противоположно направленных факторов (в Каховском водохранилище в средней части у г. Никополь и пос. Покровского; в речной части у пос. Нижняя Хортица в прибрежной зоне) реакция микрофитобентоса в целом на антропогенную нагрузку не проявляется (см. табл. 2).

Роль синбиоиндикторов в таких случаях выполняют отдельные структурные элементы микрофитобентоса — эколого-морфологические группы бентонтов, обладающие специфической чувствительностью к определённым экологическим факторам.

Крупные диатомовые водоросли высоко чувствительны к нарушению стабильности донных грунтов, в том числе под антропогенным воздействием, вызывающим интенсификацию гидродинамических процессов. Показатели ЭМГ Б<sub>кд</sub>, особенно численность и биомасса, уменьшались во всех пунк-

## 2. Характеристика микрофитобентоса и его структурных элементов как биоиндикаторов антропогенного воздействия на водные экосистемы

Водные объекты, пункты	Горизонт, м	Факторы		Микрофитобентос		Эколого-морфологические группы бентонтов	
		гидродинамика	загрязнение	бентонты	в общем	Б <sub>ка</sub>	Б <sub>ис</sub>
Каневское водохранилище, речная часть, г. Киев, выше зал. Оболонь	0—1,5	Сильная	Сильное	—	—	(+)	×
Низовье Южного Буга, г. Николаев	0—6,0			—	—	+	(×)
Каневское водохранилище, речная часть, г. Киев, ниже моста Метро	0—1,5 2,0—6,0	Сильная	Умеренное	+	+	+	(×)
Каховское водохранилище, речная часть, г. Запорожье	0—1,5 2,0—6,0			(+)	(+)	+	×
Низовье Южного Буга, г. Новая Одесса	0—6,0			+	+	+	(×)
Каневское водохранилище, речная часть, г. Киев, выше зал. Оболонь	2,0—6,0	Сильная	Слабое	+	+	+	+
Каховское водохранилище, речная часть, пос. Нижняя Хортица	2,0—6,0			+	+	+	(+)
Низовье Днепра, г. Херсон	0—2,5	Умеренная	Сильное	×	×	+	×
Украинский участок Дуная, г. Килия	0,4			×	×	+	×
Каховское водохранилище, средняя часть, г. Никополь	0—6,0	Умеренная	Умеренное до слабого	—	—	+	×
пос. Покровское	0—6,0			—	—	+	×
речная часть пос. Нижняя Хортица	0—1,5			—	—	+	(×)

Примечание. 1) Биоиндикация: «+» — гидродинамического режима; «×» — загрязнения; «—» — отсутствие; «(—)» — сомнительность биоиндикационного эффекта; 2) Б<sub>ка</sub> — крупные диатомовые водоросли; Б<sub>ис</sub> — нитчатые синезеленые водоросли.

тах наблюдений при сильной и умеренной динамике водных масс, обусловленной проточностью, колебаниями уровня воды из-за пиковых попусков ГЭС, судоходством, рекреацией, рыбным промыслом и т. п., свидетельствуя об отрицательном действии гидродинамического фактора на состояние водных экосистем. Синбиоиндикационная роль ЭМГ  $B_{кд}$  достаточно четко регистрировалась даже тогда, когда показатели развития микрофитобентоса в целом оставались постоянными и не уменьшались из-за нивелирующего действия загрязнения (см. табл. 2).

ЭМГ нитчатых синезеленных водорослей является довольно хорошим синбиоиндикатором сильного и умеренного антропогенного загрязнения (см. табл. 2) даже при сильной динамике водных масс (в речных частях водохранилищ: Каневского — в г. Киеве ниже моста Метро, в прибрежной зоне выше зал. Оболонь; Каховского — в г. Запорожье; в низовье Южного Буга у г. Новая Одесса), а также при умеренных гидродинамике и загрязнении (в средней части Каховского водохранилища в г. Никополе и пос. Покровском). В таких условиях в большинстве случаев регистрируется достаточно адекватное возрастание показателей ЭМГ  $B_{нс}$  при том, что обилие микрофитобентоса в целом не увеличивается. ЭМГ  $B_{нс}$  также играет роль надежного синбиоиндикатора сильного загрязнения при умеренной динамике водных масс (в низовье Днепра у г. Херсона; на украинском участке Дуная у г. Килии), когда и для микрофитобентоса в целом отмечается увеличение численности и биомассы.

Лишь при слабом загрязнении и сильной или умеренной динамике водных масс (в глубоководных зонах речных частей водохранилищ: Каневского в г. Киеве выше зал. Оболонь, Каховского у пос. Нижняя Хортица) реакция ЭМГ  $B_{нс}$  на загрязнение не регистрируется или недостаточно четкая. Нередко величины ее показателей, как и микрофитобентоса в целом, не только не увеличиваются, но даже уменьшаются.

Таким образом, ЭМГ крупных диатомовых и нитчатых синезеленных водорослей как синбиоиндикаторы имеют преимущество перед микрофитобентосом в целом благодаря присущему им свойству специфической чувствительности к определенным факторам. Использование ЭМГ как структурных элементов микрофитобентоса в целях биоиндикации позволяет избежать ошибок при оценке влияния на состояние водных экосистем противоположно направленных воздействий многокомпонентной антропогенной нагрузки.

### ***Заключение***

Синбиоиндикация по сообществам гидробионтов имеет несомненные преимущества перед аутбиоиндикацией в условиях комплексного антропогенного пресса на водные экосистемы. Микрофитобентос и его структурные элементы — эколого-морфологические группы водорослей являются синбиоиндикаторами изменения состояния водных объектов и среды обитания гидробионтов. Приоритетное значение для синбиоиндикации имеют бентонты как представители резидентной альгофлоры.

При многокомпонентном антропогенном воздействии разные факторы могут вызывать противоположные изменения показателей микрофитобентоса. На усиление динамики водных масс (при пиковом режиме работы гидроэлектростанций, судоходстве, рекреации и т. п.), обуславливающее нарушение стабильности донных грунтов, микрофитобентос реагирует уменьшением, а на загрязнение органическими и биогенными веществами — увеличением видового богатства и показателей обилия. Одновременное действие противоположно направленных факторов из-за эффекта нивелирования препятствует получению адекватных результатов.

Микрофитобентос в целом является синбиоиндикатором, если интенсивность противоположно действующих факторов существенно различается. При сильной динамике водных масс и умеренном или слабом загрязнении микрофитобентос четко указывает на отрицательное воздействие гидродинамического режима, а при сильном загрязнении и умеренной интенсивности гидродинамических факторов — служит хорошим синбиоиндикатором антропогенного евтрофирования. В условиях одинаковой интенсивности обоих разнонаправленных факторов величины количественных показателей микрофитобентоса в целом остаются постоянными или изменяются слабо.

В такой ситуации роль синбиоиндикаторов выполняют эколого-морфологические группы (ЭМГ) бентонтов, которым свойственна специфическая реакция на определенные факторы воздействия. Крупные диатомовые водоросли ( $B_{\text{кд}}$ ) чувствительны к динамике водных масс и нестабильности донных грунтов. Поэтому уменьшение показателей ЭМГ  $B_{\text{кд}}$  является надежным синбиоиндикатором отрицательного влияния интенсивных гидродинамических процессов на водные экосистемы и среду обитания гидробионтов, в частности бентонтов.

Нитчатые синезеленые водоросли ( $B_{\text{нс}}$ ), реагируют на загрязнение органическими и биогенными веществами увеличением роли в донных альгоценозах. Возрастание видового богатства и, особенно, численности и биомассы ЭМГ  $B_{\text{нс}}$  свидетельствует об антропогенном евтрофировании и нарушении природного состояния водных экосистем.

\*\*

*Мікрофітобентос в цілому за умов багатоконпонентного антропогенного преса на водні екосистеми виконує роль синбіоіндикатора, якщо інтенсивність факторів, які спричиняють протилежні зміни його кількісних показників, суттєво відрізняються; при однаковій їх інтенсивності відбувається нівелювання дії протилежних чинників. Еколого-морфологічні групи бентосних водоростей, яким властива специфічна чутливість до певних факторів середовища, є надійними синбіоіндикаторами різноспрямованих видів антропогенного впливу на водні екосистеми.*

\*\*

*The microphytobenthos as a synbioindicator of different anthropogenic impacts is considered. The important specific role of the ecological-morphological groups of the benthic algae is shown.*

\*\*

1. *Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення.* — К., 2006. — 240 с.
2. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И.* Современная наука о растительности. — М.: ЛОГОС, 2001. — 264 с.
3. *Оксиюк О.П., Давыдов О.А.* Методические принципы оценки экологического состояния водных объектов по микрофитобентосу // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 2. — С. 98—112.
4. *Оксиюк О.П., Давыдов О.А.* Оценка экологического состояния водных объектов по микрофитобентосу. — Киев; ЛОГОС, 2006. — 32 с.
5. *Оксиюк О.П., Давыдов О.А.* Альгоценозы микрофитобентоса водохранилищ Днепра и Днепроовско-Бугской устьевой области // Гидробиол. журн. — 2010. — Т. 46, № 2. — С. 48—70.
6. *Оксиюк О.П., Давыдов О.А., Карпезо Ю.И.* Экологическая структура микрофитобентоса // Там же. — 2008. — Т. 44, № 6. — С. 15—28.
7. *Оксиюк О.П., Давыдов О.Н., Карпезо Ю.И.* Оценка экологического состояния водных объектов по фитопланктону и фитобентосу (на примере украинского участка Дуная) // Там же. — 2009. — Т. 45, № 2. — С. 3—12.
8. *Семенченко В.П.* Принципы и системы биоиндикации текучих вод. — Минск: Орех, 2004. — 125 с.
9. *Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) / Guidance document N 10.* — REFCOND. — Luxemburg: Office of Official publications of the European Communities, 2003. — 88 p.
10. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy* // Official Journal of the European Communities. — L. 327, 22.12.2000. — 72 p.
11. *Overall approach of the classification of ecological status and ecological potential.* — ECOSTAT. — Rome, 27 November 2003. — 47 p.