

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2018, 28(3): 255–269

<https://doi.org/10.15407/alg28.03.255>

УДК 581.526.323 (262.5)

КАЛАШНИК Е.С.

Институт морской биологии НАН Украины,

ул. Пушкинская, 37, Одесса 65011, Украина

kalashnik.eka@gmail.com

ИНДИКАТОРЫ АЛГОСИСТЕМЫ БАЗИФИТ–ЭПИФИТ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Предложена экспертная оценка определения экологического состояния морских прибрежных экосистем на основе индикаторов альгосистемы базифит–эпифит: покрытие базифита эпифитами ($P_{б/э}$, %) и соотношение площади поверхности базифита и эпифита (ИП_б/ИП_э, ед.). Данные показатели могут быть использованы при количественной оценке антропогенного воздействия на морские прибрежные экосистемы, что позволяет проводить мониторинг их экологического состояния в соответствии с требованиями Водной Рамочной Директивы и Морской Стратегии ЕС. Разработаны шкалы и определены границы пяти категорий экологических статус-классов (отличный, хороший, средний, плохой, очень плохой) для использования при мониторинге водных экосистем украинского сектора Черного моря. Установлены современные экологические статусы водных объектов северо-западной части Черного моря (СЗЧМ), характеризующиеся разной антропогенной нагрузкой. В условиях СЗЧМ Ягорлыцкий и Тендровский заливы оценены как эталонные водоемы, характеризующиеся референтными условиями.

Ключевые слова: альгосистема базифит–эпифит, индикаторы, водные директивы ЕС, статус-класс, северо-западная часть Черного моря

Введение

Важной задачей развития национального мониторинга морских прибрежных экосистем является поиск новых биологических индикаторов, отражающих их экологическое состояние. Современная методология оценки переходных и морских прибрежных зон руководствуется положениями, принятыми европейскими водными директивами (Водная Рамочная Директива – WFD, 2000/60/ЕС и Морская Стратегия – MSFD, 2008/56/ЕС). Используются унифицированные методы с применением биологических индикаторов качества экосистемы (Афанасьев, 2001).

©Калашник Е.С., 2018

В соответствии с положением WFD, биологическими элементами качества признаны фитопланктон, макрофиты, водные цветковые растения, по различным показателям которых можно проводить мониторинг экологического состояния водных объектов. Эти важные жизненные формы водной растительности обитают в разных биотопах и имеют разные по продолжительности жизненные циклы. Закрепленные формы растительности (одноклеточные и многоклеточные водоросли), в отличие от фитопланктона, не зависят от движения водных масс и интегрально отображают динамику условий в водной среде, что дает практическое преимущество при проведении мониторинга состояния конкретной акватории. В связи с этим альгосистема базифит–эпифит, которая состоит из многоклеточных макрофитов и одноклеточных водорослей, может быть использована как еще один биологический показатель качества, повышенная чувствительность которого определяется соотношением развития его макро- и микрокомпонента. В альгосистеме присутствуют компоненты с разной экологической активностью, показатели которых позволяют оценить интенсивность автотрофного процесса в бентали водной экосистемы, учитывая вклад коротко- и длинноциклических видов.

В настоящее время проведена работа по адаптации методов оценки экологического состояния пресных водоемов мегаполисов Украины по показателям сообществ фитопланктона и фитомикроперифитона (Щербак и др., 2009; Щербак, Семенюк, 2011). Для оценки экологического статус-класса морских прибрежных экосистем разработаны морфофункциональные индикаторы макрофитобентоса и фитопланктона, которые используются в условиях северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) и лиманов северного Причерноморья (Миничева та ін., 2015; Зотов, 2016; Minicheva, 2013). Продолжением этих разработок может стать унификация методов оценки экологического состояния водных объектов с использованием индикаторов альгосистемы базифит–эпифит.

Цель данной работы – предложить индикаторы альгосистемы базифит–эпифит и на их основе разработать адаптированные к требованиям WFD и MSFD шкалы оценки экологического статус-класса морских прибрежных экосистем СЗЧМ для расширения методов и возможностей мониторинга водных экосистем украинского сектора Черного моря.

Материалы и методы

Материалом для наших исследований послужили пробы многоклеточных и одноклеточных водорослей заливов СЗЧМ (Одесский, Ягорлыцкий, Тендровский) и лиманов северного Причерноморья (Тилигульский, Малый Аджалыкский, Хаджибеевский), которые характеризуются разной степенью антропогенной нагрузки. Пробы отбирали в разные сезоны года в течение 2007–2017 гг. Использовано 1250 количественных и 108 качественных проб альгосистемы базифит–

эпифит. Обработку макроводорослей проводили по общепринятым методикам (Калугина-Гутник, 1975). Для изучения одноклеточных эпифитов на талломах макрофитов использовали временные и постоянные препараты (Гусяков, 1980; Макаревич, 1983). Видовой состав водорослей устанавливали с использованием атласов и определителей (Косинская, 1948; Прошкина-Лавренко, 1963; Зинова, 1967; Гусяков и др., 1992; Афанасьев и др., 2016). Номенклатура водорослей приведена по сводкам (Разнообразие..., 2000; Царенко, 2010; Algae..., 2006, 2009, 2011), а также согласно международному электронному каталогу водорослей (Guiry, Guiry, 2017). Индекс поверхности (ИП, ед.) для компонентов альгосистемы базифит-эпифит рассчитывали по методикам, приведенным в литературе (Калашник, 2013; Minicheva et al., 2003).

Результаты и обсуждение

Оценка экологического статуса водных объектов с использованием автотрофных сообществ, в т. ч. альгосистемы базифит-эпифит, зависит не только от антропогенного влияния, но и от сезонных изменений. Естественная внутригодовая интенсификация продукционного процесса приводит к повышению эвтрофирования и снижению экологического статуса водоемов. Данный фактор необходимо учитывать при выборе индикаторов оценки состояния морских прибрежных экосистем.

Реакция альгосистемы базифит-эпифит на сезонные изменения и трофность

Важной предпосылкой использования альгосистемы базифит-эпифит в качестве нового индикатора экологического статуса водоемов является необходимость исследования ее реакций на абиотические факторы, прежде всего на температурно-световой режим и трофность водоемов.

В условиях СЗЧМ биологические сезоны смещены на один месяц вперед от календарных: зимний сезон – с начала января до конца марта, весенний – апрель-июнь, летний – июль-сентябрь, осенний – октябрь-декабрь (Доценко и др., 2002). Соответствующая закономерная смена флористического состава компонентов альгосистемы базифит-эпифит в зависимости от сезона является реакцией на изменение температурно-светового режима.

В результате исследования альгосистемы базифит-эпифит в заливах и лиманах СЗЧМ определены ее сезонные доминанты, представленные основными отделами многоклеточных и одноклеточных водорослей (табл. 1).

Зимне-весенние доминанты базифитов представлены видами: *U. penicilliformis*, *D. viridis*, *E. siliculosus*, *P. latifolia*, *S. lomentaria*, *P. leucosticta*. Макрофиты *C. vagabunda*, *U. intestinalis*, *C. virgatum* и *P. elongata* не имеют сезонной приуроченности, они развиваются в течение всего года.

Сезонные доминанты компонентов альгосистемы базифит–эпифит северо-западной части Черного моря

Доминанты	Зима	Весна	Лето	Осень	Сезонные доминанты
БАЗИФИТЫ					
Chlorophyta					
<i>Bryopsis plumosa</i> (Huds.) C. Agardh	–	–	+	–	ЛО
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz.	–	–	+	–	Л
<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kütz.	–	–	+	+	ЛО
<i>Cladophora vagabunda</i> (L.) C. Hoek	+	+	+	+	КГ
<i>Ulva intestinalis</i> L.	+	+	+	+	КГ
<i>Ulva linza</i> L.	–	+	+	+	ВЛО
<i>Ulva clathrata</i> (Roth) C. Agardh	–	–	+	–	Л
<i>Urospora penicilliformis</i> (Roth) Aresch.	+	+	–	–	ЗВ
Phaeophyta					
<i>Desmarestia viridis</i> (O. Müll.) J.V. Lamour.	–	+	–	–	В
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngb.	+	+	–	–	ЗВ
<i>Punctaria latifolia</i> Grev.	+	+	–	–	ЗВ
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngb.) Link	+	+	–	–	ЗВ
Rhodophyta					
<i>Ceramium diaphanum</i> var. <i>elegans</i> (Roth) Roth	–	–	+	+	ЛО
<i>Ceramium virgatum</i> Roth	+	+	+	+	КГ
<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne	–	+	+	+	ВЛО
<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillwyn) Grev. ex Harv.	–	+	+	+	ВЛО
<i>Polysiphonia elongata</i> (Huds.) Spreng.	+	+	+	+	КГ
<i>Polysiphonia opaca</i> (C. Agardh) Moris & De Notaris	–	+	+	–	ВЛ
<i>Porphyra leucosticta</i> Thur.	+	+	–	–	ЗВ
Bacillariophyta					
<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentep. ex Roth) Grunow	+	+	–	–	ЗВ
ЭПИФИТЫ					
Tracheophyta					
<i>Zostera noltii</i> Hornem.	–	+	+	+	ВЛО
<i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner	–	+	+	+	ВЛО

Bacillariophyta					
<i>Achnanthes brevipes</i> C. Agardh	+	+	+	+	КГ
<i>Achnanthes longipes</i> C. Agardh	+	+	-	-	ЗВ
<i>Amphora caroliniana</i> Giffen	-	-	+	-	Л
<i>Ardissonea crystallina</i> (C. Agardh) Grunow	-	-	+	+	ЛО
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O. Müll.) T. Marsson	-	-	+	+	ЛО
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>scutellum</i> Ehrenb.	+	+	+	+	КГ
<i>Cocconeis maxima</i> (Grunov) H. Perag. & Perag.	-	-	+	+	ЛО
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenb.	-	+	+	-	ВЛ
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	-	-	+	+	ЛО
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Reimann & J.C. Lewin	-	-	+	+	ЛО
<i>Cymbella</i> sp.	-	-	+	+	ЛО
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	+	-	-	ЗВ
<i>Diploneis bombus</i> (Ehrenb.) Ehrenb.	-	-	+	+	ЛО
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kütz.	+	+	+	+	КГ
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.	-	-	+	-	Л
<i>Licmophora abbreviata</i> C. Agardh	+	+	-	-	ЗВ
<i>Licmophora flabellata</i> (Grev.) C. Agardh	+	+	-	-	ЗВ
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Müll.) C. Agardh	+	+	-	-	ЗВ
<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>subglobosa</i> (Grunow) Hust.	+	+	-	-	ЗВ
<i>Navicula pennata</i> var. <i>pontica</i> A.W.F. Schmidt	-	-	+	+	ЛО
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	-	-	+	+	ЛО
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden	-	+	+	+	ВЛО
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bert.	+	+	+	+	КГ
<i>Stauroneis constricta</i> Ehrenb.	-	-	+	+	ЛО
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) D.M. Williams & Round	+	+	+	+	КГ
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	-	-	+	+	ЛО
Cyanoprokaryota					
<i>Calothrix</i> sp.	-	-	+	+	ЛО
<i>Lyngbya lutea</i> Gomont ex Gomont	+	+	+	+	КГ

<i>Phormidium nigroviride</i> (Thw. ex Gomont) Anagn. & Komárek	+	+	+	+	КГ
<i>Spirulina tenuissima</i> Kütz.	–	–	+	+	ЛО
Всего	22	31	39	30	

Сезонные доминанты: ЗВ – зимне-весенние, ВЛО – весенне-летне-осенние, Л – летние, ЛО – летне-осенние, КГ – круглогодичные (выделены серым цветом).

Диатомовая водоросль *B. rutilans* формирует на твердых субстратах разветвленные трубчатые колонии, которые могут достигать нескольких сантиметров и активно используются другими одноклеточными водорослями в качестве субстрата, поэтому *B. rutilans* выступает в роли базифита. Эта водоросль массово развивается на первых этапах сезонной сукцессии, как правило, в зимне-весенний период. К холодному периоду года приурочены следующие виды эпифитов: *A. longipes*, *D. vulgare*, *L. abbreviata*, *L. flabellata* и *M. moniliformis*. Они рационально используют поверхность макрофита, образуя колонии разных форм, что приводит к значительному развитию эпифитов даже на небольшой поверхности базифита. При переходе к летнему периоду наряду с колониальными видами увеличивается количество одиночно произрастающих диатомовых водорослей (*A. caroliniana*, *C. maxima*, *N. pennata* var *pontica*, *S. constricta* и др.), которые целиком прикрепляются к макрофиту, поэтому их численность ограничивается его поверхностью. Эти виды также являются доминантами осеннего периода.

Трофический статус водной среды непосредственно связан с интенсивностью развития макро- и микрокомпонентов альгосистемы базифит–эпифит и формирует ее морфофункциональный портрет. При повышении трофности в водоеме начинают преобладать тонкоразветвленные и нитчатые макрофиты с высокой удельной поверхностью (Миничева, 1996), а эпифитный компонент показывает интенсивное количественное развитие (Щербак, Семенов, 2011). Покрытие одноклеточными эпифитами макрофитов колеблется от нескольких клеток (олиготрофные воды) до полного покрытия таллома (эвтрофные воды) (рис. 1). Эта закономерность может быть использована для определения экологического статуса водных объектов.

С ростом удельной поверхности базифита и численности эпифитов увеличивается, соответственно, и величина индекса поверхности (ИП), который зависит от видового состава компонентов альгосистемы. Именно этот морфофункциональный показатель позволяет оценить вклад разноразмерных компонентов альгосистемы базифит–эпифит в продукционный процесс в зависимости от трофности. При ее увеличении в водоеме наблюдается преобладание эпифитного компонента над базифитным.

Индикаторы альгосистемы базифит-эпифит

Исследование альгосистемы базифит-эпифит и ее реакции на абиотические факторы позволило выделить наиболее чувствительные и простые в использовании индикаторы определения состояния морских прибрежных экосистем.

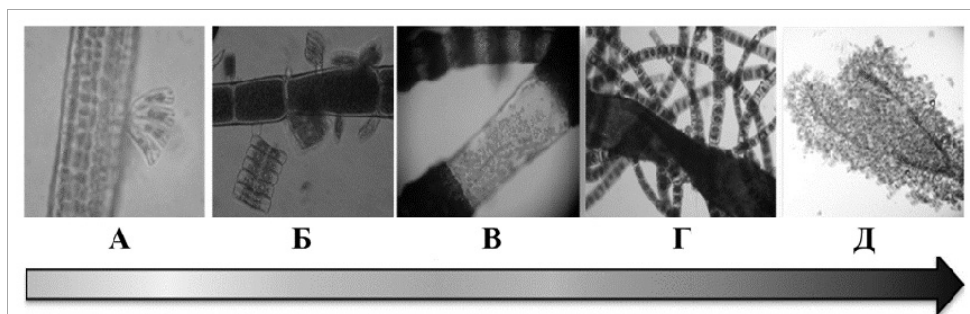


Рис. 1. Плотность зарастания таллома базифита (б) эпифитами (э) при увеличении трофности водоема (показано стрелкой): А – *Rhicosphenia abbreviata* (э)–*Ulva clathrata* (б); Б – *Achnanthes brevipes* (э)–*Cladophora vagabunda* (б); В – *Cocconeis scutellum* var. *scutellum* (э)–*Ceramium diaphanum* var. *elegans* (б); Г – *Melosira monilliformis* var. *monilliformis* (э)–*Ulva intestinalis* (б); Д – *Achnanthes brevipes* (э)–*Cladophora vagabunda* (б)

Первый показатель ($P_{б/э}$, %) – покрытие базифита эпифитами – предлагается в качестве индикатора. Он определяется визуально, с помощью микроскопа устанавливают процент таллома макрофита, покрытого одноклеточными эпифитами. Увеличение площади покрытия талломов макрофитов эпифитами свидетельствует об ухудшении состояния водоема. Преимуществом этого показателя является скорость определения, не требующая высокого уровня квалификации. Индикатор $P_{б/э}$ зависит от сезонных изменений развития микроэпифитона, что может снижать его точность, но он важен при пространственной оценке водоемов с разной антропогенной нагрузкой.

В целом, альгоиндикатор $P_{б/э}$ является классическим структурным показателем, который прост в определении и может использоваться для экспресс-диагностики экологического состояния морских прибрежных экосистем.

Второй морфофункциональный показатель альгосистемы – соотношение активной поверхности макрофита и его эпифитов (ИП_б/ИП_э). Он зависит от видового состава двух компонентов альгосистемы, биомассы, удельной поверхности макрофитов и численности микроэпифитов. Преобладание базифитного компонента над эпифитным является критерием высокого экологического статуса, при недостаточном его развитии экосистема испытывает антропогенную нагрузку.

Определение индикаторного показателя $ИП_6/ИП_3$ базируется на соотношении активных поверхностей составляющих альгосистемы, т. е. макро- и микрокомпоненты рассматриваются как единое целое.

Показатель $ИП_6/ИП_3$ рассчитывали по формуле:

$$ИП_6/ИП_3 = \frac{ИП_6}{ИП_3},$$

где $ИП_6$ – индекс поверхности базифита (ед.); $ИП_3$ – индекс поверхности эпифита (ед.). Их определяют по унифицированным алгоритмам (Калашник, 2013; Minicheva et al., 2003).

Недостатком показателя $ИП_6/ИП_3$ являются большая затрата времени на его расчет и необходимость высокого уровня квалификации исполнителя. Преимуществом – высокая чувствительность к пространственному и временному (сезонному, долгопериодному) мониторингу. Этот показатель представляет собой целостный и чувствительный индикатор альгосообществ: он зависит от интенсивности развития макро- и микрокомпонентов альгосистемы и может использоваться круглогодично.

Сочетание предложенных индикаторов альгосистемы базифит–эпифит позволяет более достоверно и рационально осуществлять мониторинг экологического состояния гидроэкосистем в зависимости от антропогенной нагрузки.

*Шкалы оценки экологических статус-классов
согласно индикаторам альгосистемы базифит–эпифит*

Для определения с помощью индикаторов альгосистемы базифит–эпифит экологического статус-класса (Ecological Status Class – ESC) водных объектов необходимо найти уравнения перерасчета абсолютных значений индикаторов и показателя относительного экологического качества (Ecological Quality Ratio – EQR), который является одним из способов сопоставления индикаторов различных биологических элементов качества при оценке экологического состояния водных объектов. Размерность этого показателя находится в диапазоне от 1 до 0, при этом водные объекты с высоким экологическим статусом имеют значения EQR, близкие к единице, а с низким – близкие к нулю. Для получения количественных связей между показателем относительного экологического качества (EQR) и двумя индикаторами – $P_{6/3}$ и $ИП_6/ИП_3$, были использованы эмпирические значения структурных и морфофункциональных показателей альгосистемы базифит–эпифит разных районов СЗЧМ за период 2007–2017 гг. (рис. 2).

Требования Водной Рамочной Директивы Морской Стратегии ЕС предусматривают обобщенную оценку экологического статуса (ESC) водных объектов по пяти классам (отличный, хороший, средний, плохой, очень плохой), которые определяются значениями коэффициента относительного экологического качества.

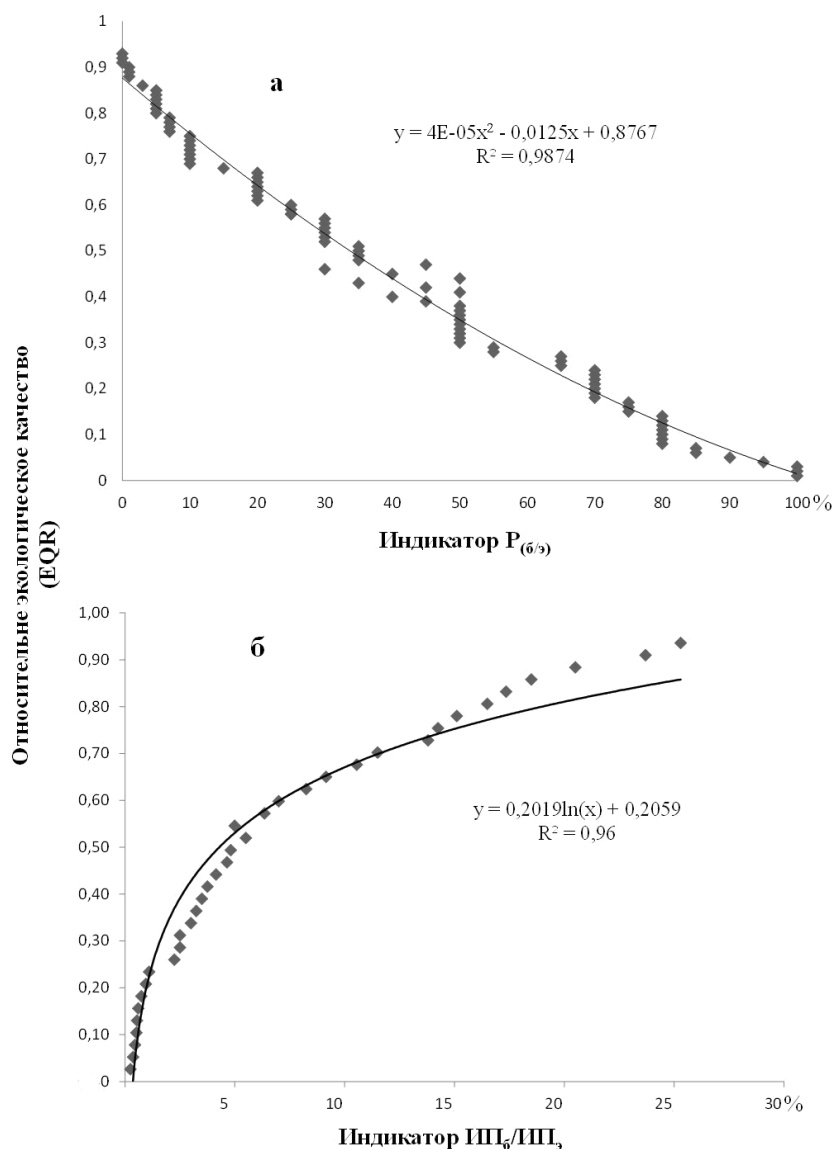


Рис. 2. Аппроксимация индикаторов альгосистемы базифит–эпифит к шкале относительного экологического качества (EQR)

Экспертная оценка значений индикаторов альгосистемы базифит–эпифит для районов с различной степенью экологической нагрузки позволила определить границы пяти категорий экологического статус-класса и значения относительного экологического качества (табл. 2).

Предложенные классификационные шкалы для определения экологического статус-класса с использованием индикаторов альгосистемы базифит–эпифит могут использоваться для пространственной оценки и длительного мониторинга морских прибрежных экосистем СЗЧМ.

Таблица 2

Шкала оценки экологических статус-классов морских прибрежных экосистем с использованием индикаторов альгосистемы базифит–эпифит

Экологический статус-класс (ESC)	Покровие базифита эпифитами ($P_{6/3}$, %)	Относительное экологическое качество (EQR)	Соотношение поверхности базифита и эпифита ($ИП_6/ИП_3$, ед.)	Относительное экологическое качество (EQR)
Отличный (High)	$P_{6/3} \leq 5$	$\geq 0,80$	$ИП_6/ИП_3 \geq 15$	$\geq 0,83$
Хороший (Good)	$5 < P_{6/3} \leq 25$	0,58	$5,0 \leq ИП_6/ИП_3 < 15$	0,57
Средний (Moderate)	$25 < P_{6/3} \leq 50$	0,30	$1,0 \leq ИП_6/ИП_3 < 5,0$	0,29
Плохой (Poor)	$50 < P_{6/3} \leq 75$	0,15	$0,5 \leq ИП_6/ИП_3 < 1,0$	0,16
Очень плохой (Bad)	$P_{6/3} > 75$	≥ 0	$ИП_6/ИП_3 < 0,5$	≥ 0

Таблица 3

Категории экологических статус-классов с использованием фитоиндикаторов альгосистемы базифит–эпифит для разных водных объектов СЗЧМ

Водный объект	$ИП_6/ИП_3$, ед.	Экологический статус-класс	Относительное экологическое качество (EQR)	$P_{6/3}$, %	Экологический статус-класс	Относительное экологическое качество (EQR)
Ягорлыцкий залив	25,30	Отличный (High)	0,87	2	Отличный (High)	0,89
Гендровский залив	20,50	Отличный (High)	0,84	3	Отличный (High)	0,85
Тилигульский лиман	7,25	Хороший (Good)	0,61	20	Хороший (Good)	0,63
Одесский залив	3,20	Средний (Moderate)	0,44	45	Средний (Moderate)	0,31
Малый Аджалыкский лиман	0,70	Средний (Moderate)	0,30	55	Плохой (Poor)	0,19
Хаджибе-евский лиман	0,25	Очень плохой (Bad)	0,08	80	Очень плохой (Bad)	0,10

Определение статус-класса морских прибрежных экосистем СЗЧМ

Значения индикаторов альгосистемы базифит–эпифит оценивали в различных водных объектах СЗЧМ, которые отличаются связью с морем и степенью антропогенного воздействия. Были проанализированы значения предложенных индикаторов альгосистемы ($P_{6/3}$, ИП₆/ИП₃) для этих водоемов, что позволило установить их современный экологический статус-класс (табл. 3).

На сегодняшний день актуальным является изучение альгосистемы базифит–эпифит в акваториях природоохранных объектов национального (НПП «Белобережье Святослава») и международного (Черноморский биосферный заповедник) уровней, учитывая важность и необходимость проведения экологического мониторинга на основе инвентаризации фитобиоты и оценки ее структурных, продукционных и морфофункциональных показателей. Ягорлыцкий и Тендровский заливы, входящие в состав природоохранных объектов, характеризуются самым высоким экологическим качеством (статус-класс отличный) что подтверждается результатами других исследований (Миничева и др., 2016). Учитывая это, названные заливы следует считать водными объектами, которые характеризуются референтными условиями и являются эталонными для сравнения.

Лиманы с разной степенью антропогенной нагрузки имеют более низкие показатели экологического качества – Тилигульский (хороший), Малый Аджалыкский (средний), Хаджибеевский (очень плохой). Хорошее экологическое состояние Тилигульского лимана можно объяснить его удаленностью от крупных промышленных городов и тем, что часть его входит в состав регионального ландшафтного парка «Тилигульский». Неблагоприятная экологическая ситуация двух других лиманов объясняется их близостью к промышленным городам и активным использованием в хозяйственной деятельности (на берегах Малого Аджалыкского лимана расположены порт и завод, в Хаджибеевский лиман сбрасывают сточные воды г. Одессы). Проведенное нами исследование позволило отнести Одесский залив к категории статус-класса «средний», что согласуется с выводами других исследователей (Minicheva, 2013).

Заключение

Предложена экспертная оценка определения экологического состояния морских прибрежных экосистем на основе индикаторов альгосистемы базифит–эпифит: покрытие базифита эпифитами ($P_{6/3}$, %) и соотношения поверхности базифита и эпифитов (ИП₆/ИП₃, ед.). Новый биологический элемент качества для мониторинга морских и лиманных экосистем альгосистема базифит–эпифит характеризуется высокой информативностью и репрезентативностью. Он отвечает требованиям Водной Рамочной Директивы и Морской Стратегии, а также может быть использован при количественной оценке антропогенного воздействия на водные объекты, что позволяет определить их экологический статус-класс.

В соответствии с разработанными индикаторами определены категории статус-классов водных объектов СЗЧМ, имеющие разную антропогенную нагрузку. В результате оценки экологического состояния показано, что Ягорлыцкий и Тендровский заливы характеризуются референтными условиями для СЗЧМ и являются эталонными по сравнению с другими водными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев Д.Ф., Камнев А.Н., Сушкова Е.Г., Штайнхаген С. *Экологическая физиология водных фототрофных организмов. Полевой определитель водорослей рода *Ulva* Черного, Азовского, Каспийского морей и Восточной Балтики*. Учеб. пособ. Под. ред. И.П. Ермакова. М.: Изд-во Перо, 2016. 51 с.
- Афанасьев С.А. Развитие европейских подходов к биологической оценке состояния экосистем в мониторинге рек Украины. *Гидробиол. журн.* 2001. 37(5): 3–18.
- Гусяков Н.Е. Микрофитобентос. В кн.: *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений*. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 166–170.
- Гусяков Н.Е., Загордонцев О.А., Герасимюк В.П. *Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоёмов*. Киев: Наук. думка, 1992. 109 с.
- Доценко С.А., Адобовский В.В., Михалечко Ю.Е. Многолетняя изменчивость температуры и солёности воды в Одесском регионе северо-западной части Черного моря. В кн.: *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь, 2002. С. 58–64.
- Зинова А.Д. *Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР*. М.; Л.: Наука, 1967. 397 с.
- Зотов А.Б. Возможности использования показателей поверхности фитопланктона в качестве фитоиндикаторов водной директивы ЕС. *Гидробиол. журн.* 2016. 52(2): 3–14.
- Калашник Е.С. Принципы расчета индексов поверхности эпифитного компонента альгосистемы базифит–эпифит. В кн.: *Материалы VIII Международной научно-практической конференции*. Севастополь, 2013. С. 67–69.
- Калугина-Гутник А.А. *Фитобентос Черного моря*. Киев: Наук. думка, 1975. 248 с.
- Косинская Е.К. *Определитель морских синезеленых водорослей*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 278 с.
- Макаревич Т.А. Оценка биомассы эпифитона на разных видах макрофитов в мезотрофном озере. В кн.: *Итоги и перспективы гидробиологических исследований в Белоруссии*. Минск, 1983. С. 123–127.
- Миничева Г.Г. Реакции многоклеточных водорослей на эвтрофирование экосистем. *Альгология*. 1996. 6(3): 250–257.
- Миничева Г.Г., Соколов Е.В., Швець А.В. Оценка природно-антропогенного статуса прибрежно-аквального комплекса Ягорлыцкого залива. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2016. 67(3–4): 74–84.
- Мінічева Г.Г., Зотов А.Б., Большаков В.М., Калашнік К.С., Маринець Г.В., Швець Г.В. Автотрофні поверхні – інструмент фітоіндикації для моніторингу водних екосистем. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2015. 64(3–4): 470–473.

- Прошкина-Лавренко А.И. *Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 243 с
- Разнообразие водорослей Украины*. Под ред. С.П. Вассера, П.М. Царенко. *Альгология*. 2000. 10(4): 1–309.
- Царенко П.М. Рекомендации по унификации цитирования фамилий авторов таксонов водорослей. *Альгология*. 2010. 20(1): 86–121.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., 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): 206–211.
- Щербак В.И., Семенюк Н.Е. Использование фитомикроперифитона для оценки экологического состояния антропогенно измененных водных экосистем. *Гидробиол. журн*. 2011. 47(2): 27–42.
- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. P. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo (Eds). Ruggell: Gantner Verlag, 2006. Vol. 1. 713 p.; 2009. Vol. 2. 413 p.; 2011. Vol. 3. 510 p.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy*, 23 October 2000 (WFD, 2000/60/EC).
- Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy*, 17 June 2008 (MSFD, 2008/56/EC).
- Guiry M.D., Guiry G.M. *Algaebase*. Worldwide electronic publication. Galway: Nat. Univ. Ireland, 2017. <http://www.algaebase.org> (search 06.12.2017)
- Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. Worldwide electronic publication. Galway: Nat. Univ. Ireland, 2017. <http://www.algaebase.org> (search 06.12.2017)
- Minicheva G.G. Use of the Macrophytes Morphofunctional Parameters to Assess Ecological Status Class in Accordance with the EU WFD. *Мор. екол. журн*. 2013. 12(3): 5–21.
- Minicheva G.G., Zotov A.B., Kosenko M.N. Methodical recommendations on the morpho-functional indexes define for unicellular and multicellular forms of aquatic vegetation. In: *GEF UNDP Black Sea Ecosystems Recovery Project*. Odessa, 2003. 32 p.

Поступила 8 марта 2018 г.

Подписала в печать Г.Г. Миничева

REFERENCES

- Afanasyev D.F., Kamnev A.N., Sushkova E.G., Steinhagen S. *Ecological physiology of aquatic phototrophic organisms. Field determinant of algal genus Ulva of the Black, Azov, Caspian seas and the Eastern Baltic*. Ed. I.P. Ermakova. Moscow: Perot Publ., 2016. 51 p. [Rus.]
- Afanasyev S.A. *Hydrobiol. J.* 2001. 37(5): 3–18. [Rus.]
- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. Eds P. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo. Ruggell: Gantner Verlag, 2006. Vol. 1. 713 p.; 2009. Vol. 2. 413 p.; 2011. Vol. 3. 510 p.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy*, 23 Oct. 2000 (WFD, 2000/60/EC).

- Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy*, 17 June 2008 (MSFD, 2008/56/EC).
- Diversity of algae in Ukraine*. S.P. Wasser, P.M. Tsarenko (Eds). *Algologia*. 2000. 10(4): 1–309. [Rus.]
- Dotsenko S.A., Adobovsky V.V., Mikhalechko Yu.E. Long-term variability of temperature and salinity of water in the Odessa Region of the northwestern part of the Black Sea. In: *Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*. Sevastopol, 2002. Pp. 58–64. [Rus.]
- Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. Worldwide electronic publication. Galway: Nat. Univ. Ireland, 2017. <http://www.algaebase.org> (search 06.12.2017)
- Guslakov N.E. Microphytobenthos. In: *Guide to methods of biological analysis of sea water and bottom sediments*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. Pp. 166–170. [Rus.]
- Guslakov N.E., Zakordonets O.A., Gerasimiuk V.P. *Atlas of diatoms of benthos of the northwestern part of the Black Sea and adjoining reservoirs*. Kiev: Naukova Dumka Press, 1992. 109 p. [Rus.]
- Kalashnik E.S. Principles for calculating the surface indices of the epiphytic component of the basophyte–epiphyte algosystem. In: *Materials of the VIII Inter. scientific and practical work conference*. Sevastopol, 2013. Pp. 67–69. [Rus.]
- Kalugina-Gutnik A.A. *Phytobenthos of the Black Sea*. Kiev: Naukova Dumka Press, 1975. 248 c. [Rus.]
- Kosinskaya E.K. *Identification manual of marine blue-green algae*. Moscow; Leningrad: AN SSSR Press, 1948. 278 p. [Rus.]
- Makarevich T.A. Assessment of the biomass of the epiphyton in different types of macrophytes in the mesotrophic lake. In: *The results and prospects of hydrobiological research in Belarus*. Minsk, 1983. Pp. 123–127. [Rus.]
- Minicheva G.G. *Algologia*. 1996. 6(3): 250–257. [Rus.]
- Minicheva G.G. *Mor. Ecol. J.* 2013. 12(3): 5–21.
- Minicheva G.G., Sokolov E.V., Shvets A.V. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu*. Ser. Biol. 2016. 67(3–4): 74–84. [Rus.]
- Minicheva G.G., Zotov A.B., Bolshakov V.N., Kalashnik K.S., Marinets G.V., Shvets G.V. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu*. Ser. Biol. 2015. 64(3–4): 470–473. [Ukr.]
- Minicheva G.G., Zotov A.B., Kosenko M.N. Methodical recommendations on the morpho-functional indexes defined for unicellular and multicellular forms of aquatic vegetation. In: *GEF UNDP Black Sea Ecosystems Recovery Project*. Odessa, 2003. 32 p.
- Proshkina-Lavrenko A.I. *Diatoms of the Black Sea benthos*. Moscow; Leningrad: AN SSSR Publ., 1963. 243 p. [Rus.]
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye. *Gidrobiol. J.*, 2011. 47(2): 27–42. [Rus.]
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Maystrova N.V. *Dop. NAN Ukr.* 2009. (10): 206–211. [Ukr.]
- Tsarenko P.M. *Algologia*. 2010. 20(1): 86–121. [Rus.]
- Zinova A.D. *Identification manual of green, brown and red algae of the Southern seas of the USSR*. Moscow; Leningrad: Nauka Press, 1967. 397 p. [Rus.]
- Zotov A.B. *Gidrobiol. J.*, 2016. 52(2): 3–14. [Rus.]

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2018, 28(3): 255–269

<https://doi.org/10.15407/alg28.03.255>

Kalashnik E.S.

Institute of Marine Biology, NAS of Ukraine,
37 Pushkinskaya Str., Odessa 65011, Ukraine

INDICES OF THE BASIPHYTE–EPIPHYTE ALGOSYSTEM AS INDICATORS OF THE
ECOLOGICAL STATUS OF MARINE COASTAL ECOSYSTEMS

New indicators for assessing the ecological state of coastal marine ecosystems on the basis of the basiphyte-epiphyte algosystem (BEAS) are proposed. They include the index of coverage of the basiphyte by epiphytes ($P_{b/e}$, %) and the index of the ratio of the basiphyte and epiphyte surface (SI_b/SI_e , units). The results of long-term observations on benthic algae in the NW Black Sea bays (Odessa, Yagorlytsky, and Tendrovsky) and estuaries (Tiligul, Maly Adzhalyk, and Hadzhibeovsky) with different anthropogenic loads were analyzed. Data from BEAS indices were used to develop the indicators (adapted to the requirements of the Marine Strategy Framework Directive) for assessing the ecological status class of marine coastal ecosystems of the NWBS. Scales have been developed and the boundaries of five categories of ecological status classes (high, good, moderate, poor, and bad) have been defined for use in monitoring the aquatic ecosystems of the Ukrainian Black Sea sector. The modern ecological status classes of water bodies of the northwestern part of the Black Sea (NWBS), characterized by different anthropogenic load, were established. As a result of the assessment of the ecological state of marine and estuarine water objects of the NWBS using BEAS indices, Yagorlytsky and Tendrovsky bays were found to have reference conditions for NWBS. They were proposed as references for comparison with other water objects of the region.

Key words: basiphyte–epiphyte algosystem, indicators, EU water directives, status class, NW part of the Black Sea