

Л.И.Рябушко, Ю.К.Фирсов, А.В.Торская, А.М.Тоичкин

Институт биологии южных морей НАН Украины, г.Севастополь

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
МИКРОЭПИФИТОВ *CYSTOSEIRA BARBATA* (STACKHOUSE) С. AG.
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ВОЗРАСТА ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ
СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Рассмотрены методы исследования состава и количественного распределения микроскопических водорослей (микроэпифитов) на поверхности талломов бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Stackhouse) С. Ag. в зависимости от ее возрастных особенностей как биологических показателей состояния импактных экосистем прибрежных районов Черного моря. Предлагается использовать в качестве биомаркера индивидуальный возраст цистозеры, а биоиндикаторов – микроводоросли эпифитона цистозеры.

Биологический метод контроля качества вод считается наиболее универсальным, поскольку для этих целей используют самые разнообразные и чувствительные виды гидробионтов, адекватно реагирующие на изменения факторов среды. Оценку степени загрязнения вод можно производить по биоиндикаторным организмам, например, по результатам сравнения состава флор в чистых и загрязненных водоемах [1].

Поиск индикаторных видов, имеющих отклик на изменения среды обитания при техногенном воздействии, в настоящее время особенно актуален. К таким организмам относятся, в частности, микро- и макроводоросли, которые являются тест-объектами состояния морских акваторий. Видовой состав и численность водорослей можно использовать при экспресс-анализе качества воды, когда необходимо оценить экологическую обстановку окружающей среды.

Среди микрофитов наибольшие преимущества в биомониторинге имеют диатомовые водоросли [2 – 6]. Из макрофитов бурые водоросли являются наиболее удобными объектами для разработки методов индикации качества водной среды, т.к. они соответствуют основным критериям, используемым при выборе биоиндикаторов: виды должны быть прикрепленными, массовыми и легкодоступными для изъятия из моря, долгоживущими, устойчивыми к накоплению поллютантов. Бурые водоросли, в частности цистозировые, обладают еще одним неоспоримым достоинством в качестве биоиндикаторов – по структурным элементам их слоевища можно определять индивидуальный возраст как всего растения в целом, так и отдельных структурных элементов [7], а, следовательно, знать время воздействия среды обитания на биологический объект.

Эпифитон черноморских макрофитов рода *Cystoseira* Ag. представлен разнообразными видами беспозвоночных животных, макро- и микроэпифитных водорослей [8 – 14]. Однако количественные исследования микроводорослей в эпифитоне цистозеры в зависимости от возраста водорослей-макрофитов ранее не проводились.

© Л.И.Рябушко, Ю.К.Фирсов, А.В.Торская, А.М.Тоичкин, 2005

Цель данной работы – разработка методических приемов комплексного изучения микроводорослей эпифитона *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Ag. в зависимости от возраста ее структурных элементов для биоиндикации состояния акваторий крымского побережья Черного моря.

В Черном море обитают два широко распространенных вида цистозир – *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Ag. и *C. crinita* Duby. Они относятся к многолетним растениям с хорошо исследованной систематикой, биологией и продукцией. По своим морфологическим параметрам цистозир обладают широкой экологической изменчивостью и отличаются друг от друга не только морфологическим строением, но и условиями обитания [15]. Внутривидовые различия наиболее выражены у *C. barbata*, поскольку по своим структурно-морфологическим особенностям она предпочитает поселяться в защищенных от штормов участках моря [16]. Оба вида относят к олигосапробам, однако у *C. barbata* экологический оптимум шире, и она обитает также в мезотрофных водах [17].

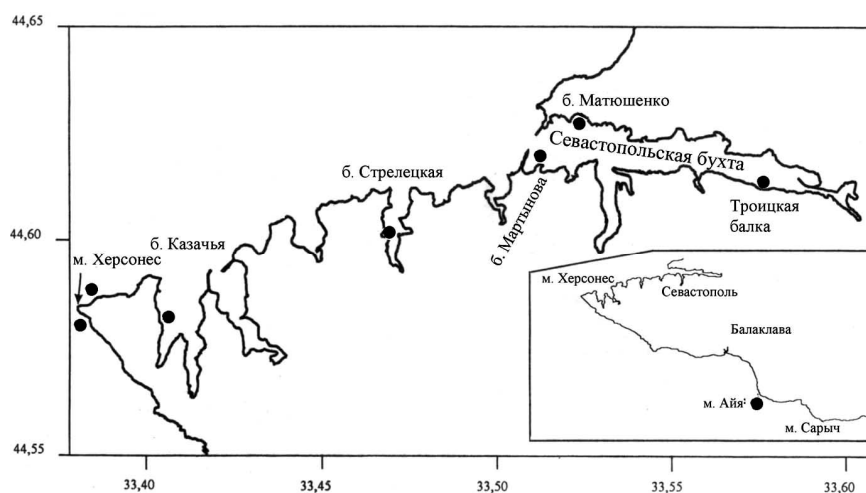
При проведении исследования в прибрежных акваториях Черного моря пробы цистозир отбирали для нескольких целей:

- определение возраста по структурным элементам цистозир;
- измерение площади поверхности структурных элементов водоросли по ее морфологическим параметрам – диаметру и длине осевых структур;
- изучение видового состава микроводорослей в эпифитоне макрофита-базифита и его сопутствующих макроэпифитов;
- определение количества видов и численности микроводорослей в эпифитоне цистозир в зависимости от возраста ее структурных элементов, а также от места обитания;
- проведение сравнительного анализа полученных данных для разных по трофности районов крымского побережья Черного моря.

Образцы слоевищ цистозир отбирали с 23 июля по 28 августа 2002 г. на глубине 0,5 – 1,5 м при температуре воды от 18 до 27 °С в различных районах крымского побережья Черного моря. В бухтах г.Севастополя: Казачьей, Мартыновой, Стрелецкой, Матюшенко, в акватории корабельных доков Троицкой балки, на двух станциях у м.Херсонес-1 (юго-западное направление) со стороны Казачьей бухты, где наблюдали волнение и прибой, у м.Херсонес-2 (юго-восточное направление) со стороны м.Фиолент, где отмечено затишье, на пяти станциях у м.Айя (район пляжей и за их пределами близ крупных валунов) во время сильного прибоя, когда в течение дня происходило усиление силы ветра (рис.1, табл.1).

Определение возраста цистозир выполняли по методике, описанной ранее [7]. Талломы цистозир состоят из разновозрастных элементов, которые несут разную функциональную нагрузку [18]. Для анализа выделены следующие возрастные структурные элементы цистозир (рис.2):

- 1) ствол (K_0 – ось 0 порядка) возрастом от 2,5 до 3,5-х лет ($T_{2,5-3,5}$). Многолетний ствол выполняет у водорослей опорную функцию;
- 2) ветви возрастом до 2-х мес. ($t_{0,2}$). У ветвей этой возрастной группы увеличивается количество осей высших порядков и интенсивность фотосинтеза;
- 3) ветви возрастом 3 мес. (t_3). Они обычно полностью сформированы и в структуре присутствуют оси всех порядков. Ветви не несут репродуктивную функцию из-за отсутствия органов размножения – рецетпакулов;



Р и с . 1 . Карта-схема акваторий исследования крымского побережья Черного моря.

4) ветви возрастом 4 – 50,5 месяцев ($t_{4-5,5}$) выполняют репродукционную функцию (отмечено максимальное количество рецептакулов) и имеют наибольшую биомассу;

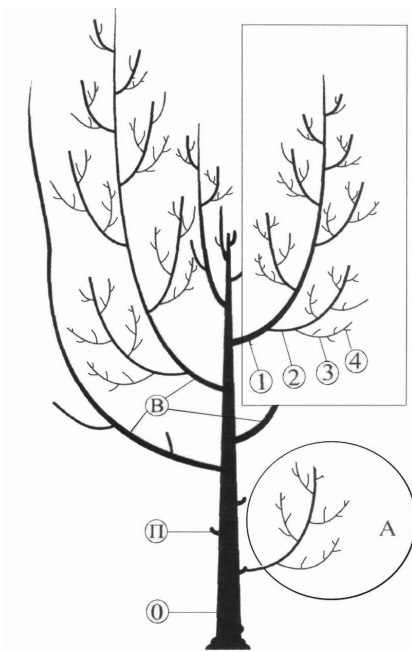
5) ветви возрастом 6 – 7 месяцев (t_{6-7}), относящиеся к осям разных порядков, которые постепенно отмирают и опадают, их биомасса снижается;

6) адвентивные ветви (вторично образованные) ($t_{adv.}$) образуются на месте опавших основных ветвей.

За год на стволе цистозирры образуются укороченная и удлиненная зоны роста, на которых ветви соответственно расположены чаще и реже [19]. Это дает возможность вычислять возраст слоевища цистозирры по сумме количества зон, деленной на 2. После того, как А.А.Калугина-Гутник [20] установила, что за год на стволе цистозирры образуется в среднем 11 ветвей, определение возраста слоевищ упростилось: общее количество ветвей и пеньков необ-

Т а б л и ц а 1. Районы исследования микроводорослей эпифитона (МЭФ) *Cystoseira barbata* и сопутствующих макроэпифитов (МАФ) крымского побережья Черного моря (лето, 2002 г.)

дата отбора проб	районы исследования	глубина, м	t , °C	количество проб		
				<i>C. barbata</i>	МАФ	МЭФ
23 июля	Маргынова бухта	1,5	27	3	–	10
30 июля	р-н Троицкой балки	1,0	27	1	1	7
8 августа	Стрелецкая бухта	1,5	18	1	1	8
12 августа	м.Айя	1,5	20	5	3	9
21 августа	Казачья бухта	0,5	23	1	2	9
27 августа	бухта Матюшенко	0,5	20	1	–	7
28 августа	м.Херсонес-1	0,5	20	1	–	6
28 августа	м.Херсонес-2	0,5	20	1	–	6
всего:				14	7	62



Р и с . 2 . Схема строения слоевища *Cystoseira barbata*: О – ствол (ось нулевого прорядка); В – верхушечные ветви (основные); А – адвентивные ветви; П – пеньки. 1 – ось первого порядка; 2 – ось второго порядка; 3 – ось третьего порядка; 4 – ось четвертого порядка.

ходимо разделить на 11. Поэтому для оценки возраста макрофита достаточно использовать данные по длине ствола без учета длины боковых ветвей.

Анализ морфологических параметров цистозеры из разных мест обитания позволил установить, что длина ствола ее слоевищ является стабильным признаком [7]. Скорость линейного роста ствола не изменяется на протяжении всего онтогенеза водоросли. Однако стабильность этого признака и независимость от глубины обитания не обязательно означают

его независимость от других экологических переменных [21].

Для оценки возраста цистозеры и макроэпифитов использовали формулу определения возраста слоевища по длине ствола [21] и данные подсчета среднегодового образования ветвей [20].

В лаборатории с талломов *C. barbata* снимали сопутствующие водоросли-макроэпифиты, а затем с каждого образца цистозеры соответствующего возраста тщательно счищали специальной щеточкой и смывали микроводоросли в отдельную емкость для анализа их качественного и количественного состава. После смыва микроводорослей с образцов цистозеры в бинокуляр измеряли диаметр и длину ее осевых структур. Площадь поверхности структурных морфологических элементов цистозеры определяли по формуле:

$$S = \pi d \cdot l,$$

где d – диаметр слоевища (мм), l – длина оси слоевища (мм) (табл.2). Общую площадь поверхности цистозеры вычисляли как сумму площадей поверхности всех структурных элементов ее слоевища.

Пробы микроводорослей эпифитона предварительно просматривали в чашке Петри для изучения клеток в прижизненном состоянии, определяя характер хлоропластов и другие особенности водорослей в каждой пробе. Подсчет клеток микроводорослей проводили в камере Горяева в световом микроскопе при

Т а б л и ц а 2. Площадь поверхности и возраст морфологических структурных элементов *Cystoseira barbata* (июль – август 2002 г.)

структурные элементы	возраст	площадь поверхности S (см ²)
ствол (T_3)	3 года	12,41
ветви (t_{0-2})	2 мес.	12,71
ветви (t_3)	3 мес.	16,41
ветви ($t_{4-5,5}$)	4 – 5 мес.	20,54
ветви (t_{6-7})	6 – 7 мес.	636,88
адвентивные ветви ($t_{adv.}$)		1795,4

увеличении 250 – 1000 раз в 2 – 3-х повторностях.

Численность и биомассу микроводорослей определяли по формулам, предложенным ранее [22], в следующей модификации. Численность N (клеток/см²) рассчитывали по формуле:

$$N = n \cdot V / S \cdot V_k,$$

где n – число клеток в камере Горяева, V – объем пробы (мл), V_k – объем камеры Горяева, равный 0,0009 мл, S – площадь поверхности макрофита, (см²).

Сырую массу микроводорослей B (мг/см²) определяли по формуле:

$$B = h \cdot V \cdot b / S \cdot V_k,$$

где b – сумма биообъемов клеток в камере Горяева (мкм³), h – удельный вес микроводорослей, равный для бентосных диатомовых $1,2 \cdot 10^{-9}$ мг/мкм³, остальных микроводорослей $1 \cdot 10^{-9}$ мг/мкм³, V – объем пробы (мл), V_k – объем камеры Горяева (мл). Объем клеток микроводорослей вычисляли по программе «BIOVOL» [23].

За период исследования было собрано и обработано 73 пробы и выполнено 1600 измерений морфометрических параметров (длина, диаметр) структурных элементов цистозеры.

Цистозира как макрофит-базифит является основой для заселения эпифитными растениями и животными. Это многолетнее растение, живущее до 20 лет, имеет разветвленную и разновозрастную структуру слоевища. Предварительные результаты эколого-флористического анализа микроэпифитона двух видов цистозир *Cystoseira barbata* и *C. crinita*, собранных одновременно в одном и том же месте, показали, что видовой состав и количественное распределение микроводорослей на обоих субстратах практически не различались между собой. Поэтому в дальнейшем исследование проводили на популяции *C. barbata*, произрастающей предпочтительно в закрытых бухтах, на небольших глубинах, доступных для изъятия проб.

В эпифтоне цистозеры и сопутствующих ей водорослях-макроэпифитах обнаружено 59 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей (табл.3). Преобладающей группой в сообществе эпифитона являются диатомовые водоросли (49 видов, разновидностей и форм), составляющие около 80 % всех встреченных видов микроводорослей (рис.3, а). Во всех районах исследования доминируют 11 видов и разновидностей диатомовых: *Amphora parvula*, *Berkeleya rutilans*, *B. micans*, *Cylindrotheca closterium*, *Diatomela salina* var. *septata*, *Grammatophora marina*, *Cerataulina pelagica*, *Licmophora abbreviata*, *Navicula ammophila* var. *intermedia*, *Nitzschia* sp., *Tabularia fasciculata*.

У берегов м.Айя во время шторма отмечено летнее «цветение» воды, вызванное обилием эпифитных диатомовых водорослей *Licmophora abbreviata*, *L. flabellata*, *Berkeleya rutilans*, *Tabularia fasciculata*, *Parlibellus delognei*, сходное с зимне-весенним «цветением», зарегистрированным в Казачьей бухте [14, 24]. Как на поверхности цистозеры, так и в планктоне отмечено множество одиночных клеток указанных видов, колонии которых часто разрушаются из-за сильных штормов, прибоев, а также инсоляции и высоких температур на малых глубинах. Обычно клетки диатомовых водорослей находятся в слизистых тяжах (*Berkeleya*, *Parlibellus*) или образуют кустистые формы колоний (*Navicula* spp.), видимые невооруженным глазом. Другие ви-

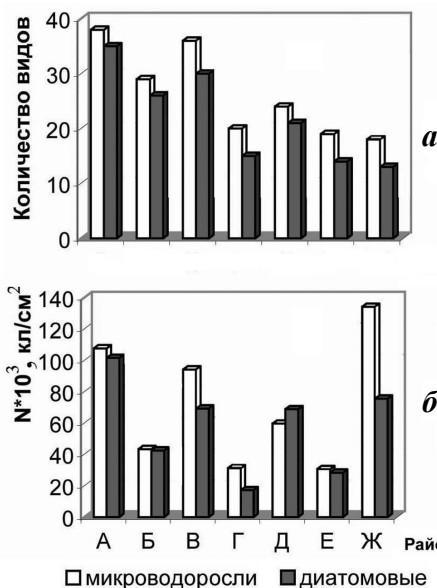


Рис. 3. Количество видов (а) и численность (б) микроводорослей эпифитона *Cystoseira barbata* в июле – августе 2002 г. Районы исследования: А – Стрелецкая бухта, Б – Казачья бухта, В – Троицкая балка, Г – бухта Матюшенко, Д – м.Айя, Е – м.Херсонес-1, Ж – м.Херсонес-2.

ды образуют веерные колонии на слизистых ножках (*Licmophora* spp.), зигзаговидные колонии (*Tabellaria flocculosa* и *Grammatophora marina*), в которых клетки соединены между собой с помощью апикальных пор, или клетки сближены друг с другом в виде лентовидных колоний (*Melosira moniliformis* и др).

Наряду с типичными колониальными формами в эпифитоне цистозирры отмечено большое количество клеток одиночноживущих видов диатомовых водорослей, способных передвигаться по поверхности субстрата или прикрепляться к нему: *Cocconeis scutellum*, *C. costata*, *Psammodyction panduriformis* var. *continua* (= *Nitzschia coarctata*), *Trachyneis aspera*, *Falcula media* var. *salina*, *Amphora hyalina*, *A. parvula*, *A. coraliniiana*. На талломах цистозирры зарегистрированы также виды диатомей, которые встречаются в бентосе и планктоне Черного моря: *Coscinodiscus jonesianus*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia hybrida* f. *hyalina*, *Entomoneis paludosa*, *Pleurosigma elongatum*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia* sp., *Striatella* spp. и др. (табл.3).

В летний период при повышении температуры воды в Черном море до 27 °С увеличивается частота появления в бентосе синезеленых (цианобактерий) и динофитовых водорослей, которые представлены гораздо меньшим количеством видов, чем диатомовые водоросли. Это 4 вида динофлагеллят рода *Prorocentrum* Ehr. и 8 видов синезеленых водорослей – *Microcystis aeruginosa*, 3 вида спирулин *Spirulina adriatica*, *Spirulina meneghiniana*, *Spirulina tenuissima*, а также представители родов *Dermocarpa*, *Lyngbya* и *Phormidium* (табл.3). Наибольшая частота их встречаемости отмечена в Мартыновой бухте при низком видовом разнообразии.

Одним из важных критериев биологической оценки качества вод является наличие видов-возбудителей «цветения» воды в море и потенциально опасных микроводорослей, негативно влияющих на окружающую среду, биоту и человека [25, 26]. На 8-ми станциях выявлено 14 видов-возбудителей «цветения» воды и 7 потенциально токсичных видов микроводорослей (табл.3). В Стрелецкой бухте отмечено 10 видов-возбудителей «цветения» воды, в акватории Троицкой балки – 5 видов потенциально токсичных водорослей. Из всех станций район доков, вероятно, наиболее загрязнен терригенными стоками и балластными водами. Цистозира здесь обитает на глубине до 1,5 м, а дальше идут илистые грунты, на которых она не может закрепиться.

Потенциально токсичный вид динофлагелляты *Prorocentrum lima* обна-

Таблица 3. Список видов микроводорослей, обнаруженных в эпифитоне *Cystoseira barbata* летом 2002 г. в акваториях Черного моря: I – Казачья бухта, II – Мартынова бухта, III – Стрелецкая бухта, IV – бухта Матюшенко, V – Троицкая балка, VI – м. Херсонес-1, VII – м. Херсонес-2, VIII – м. Айя

таксон	встречаемость микроводорослей по районам исследования							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
BACILLARIOPHYTA								
<i>Achnanthes brevipes</i> Ag.					+			+
<i>Amphora angusta</i> Greg.	+		+		+			
<i>A. coffeiformis</i> (Ag.) Kütz.*			+		+			
<i>A. bigibba</i> Grun.			+					
<i>A. coraliniana</i> Giffen	+		+			+		
<i>A. inflexa</i> (Bréb.) H.L. Smith				+	+			
<i>A. exigua</i> Greg.	+	+	+		+	+		+
<i>A. hyalina</i> Kütz.	+		+	+	+		+	+
<i>A. parvula</i> Pr.-Lavr.			+	+				
<i>A. proteus</i> Greg.	+		+		+			+
<i>Ardissonia crystallina</i> (Ag.) Grun.			+					
<i>Auricula insecta</i> (Grun.) Cl.			+		+		+	
<i>Berkeleya micans</i> (Lyngb.) Grun.**	+		+	+	+	+	+	+
<i>B. rutilans</i> (Trent.) Grun **	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cl.) Hendeby **	+	+	+		+		+	+
<i>Cocconeis costata</i> Greg.			+	+				
<i>C. scutellum</i> Ehr.	+	+	+	+	+			+
<i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Grev.) Ostf.**	+				+			
<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reim. et Lewin **				+				+
<i>Diatomella salina</i> var. <i>septata</i> (Nik.) Mak.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Entomoneis alata</i> Kütz.			+					
<i>E. paludosa</i> (W.Sm.) Reim.				+				
<i>Falcula media</i> var. <i>salina</i> Pr.-Lavr.	+	+						+
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kütz.	+		+	+	+	+	+	+
<i>Gyrosigma fasciola</i> var. <i>prolongatum</i> (W.Sm.) Cl.			+		+			
<i>G. rectum</i> (Donk.) Cl.					+			
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran								+
<i>Licmophora abbreviata</i> Ag.**	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>L. flabellata</i> Ag.**	+	+			+			+
<i>L. paradoxa</i> (Lyngb.) Ag.			+					
<i>Melosira moniliformis</i> (O.Müll.) Ag.**					+			

Продолжение таблицы 3.

таксон	встречаемость микроводорослей по районам исследования							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
<i>Navicula ammophila</i> var. <i>intermedia</i> Grun.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>N. directa</i> (W.Sm.) Ralfs	+		+					
<i>N. ramosissima</i> (Ag.) Cl.					+			
<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i> Pr.-Lavr.		+			+			+
<i>N. longissima</i> (Bréb.) Ralfs			+		+			
<i>N. palea</i> var. <i>tenuirostris</i> Grun.	+		+		+			
<i>Nitzschia</i> sp.	+				+			
<i>Parlibellus delognei</i> Van Heurck **	+					+		+
<i>Plagiotropis lepidoptera</i> (Greg.) Poulin et Cardinal			+		+			
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Sm.	+		+	+	+			
<i>Psammodyction panduriformis</i> var. <i>continua</i> (Grun.) Snoeijis	+		+	+		+	+	+
<i>Striatella delicatula</i> (Kütz.) Grun.						+		
<i>S. unipunctata</i> (Lyngb.) Ag. **		+	+	+	+			+
<i>Synedra provincialis</i> Grun.	+		+					
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz.	+		+			+	+	+
<i>Tabularia fasciculata</i> (Ag.) Williams et Round**	+	+	+		+			+
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehr.) Cl.	+	+	+	+		+	+	+
CYANOPHYTA								
<i>Dermocarpa swirenkoi</i> Schirchov f. <i>marina</i> (Setch. et Gardn.) Kossinsk.	+					+	+	+
<i>Dermocarpa</i> sp.				+				
<i>Lyngbya</i> sp.*	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Microcystis</i> sp.*					+			
<i>Phormidium</i> sp.		+			+			
<i>Spirulina</i> spp. **		+	+	+	+			
DINOPHYTA								
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bail.) Abe ex Dodge *						+		
<i>P. cordatum</i> (Ostf.) Dodge **				+		+	+	
<i>P. lima</i> (Ehr.) Dodge *	+		+	+	+	+	+	+
<i>P. micans</i> Ehr.*							+	
всего:	30	17	37	23	36	19	18	27

Примечание: * – потенциально токсичные виды, ** – виды-возбудители «цветения» воды

ружен не только в эпифитоне цистозеры, но и на поверхности сопутствующих водорослей-эпифитов *Cladophora*, *Polysiphonia*, *Ceramium* практически во всех районах исследования.

Интересной особенностью летнего развития микрофитобентоса является вспышка численности планктонной диатомеи *Cerataulina pelagica*, которая относится к виду-возбудителю «цветения» воды в Черном море. Колонии этой водоросли, разнообразные по форме, регулярно и в большом количестве встречаются не только в планктоне, но в последнее время и в донных сообществах прибрежной зоны крымского побережья, в том числе в эпифитоне цистозир.

Тенденция появления в бентосе морей видов, ранее не указанных, но известных в планктоне, относящихся к видам-возбудителям «цветения» воды и потенциально опасным микроводорослям Черного моря, свидетельствует о том, что необходимо интенсивнее проводить мониторинговые наблюдения за этими видами в различных биотопах моря. Поэтому для общей диагностики изменения состояния окружающей среды могут быть использованы вредоносные микроводоросли как биоиндикаторы качества воды не только континентальных водоемов, но и морских акваторий [24, 27]. Интегральные биологические параметры, в частности, видовой состав и количественные характеристики микроводорослей, существенно дополняют сведения о характере, степени и тенденциях изменения качества водной среды [26, 28].

Количество видов микроводорослей, обнаруженных на слоевищах цистозеры, изменяется в зависимости от района исследования (рис.3, а). Наибольшее количество видов зарегистрировано в Стрелецкой бухте (37) и в акватории корабельных доков Троицкой балки (36). Наименьшее количество видов отмечено у м.Херсонес-1 (19 видов) и в Мартыновой бухте (17 видов) (табл.3).

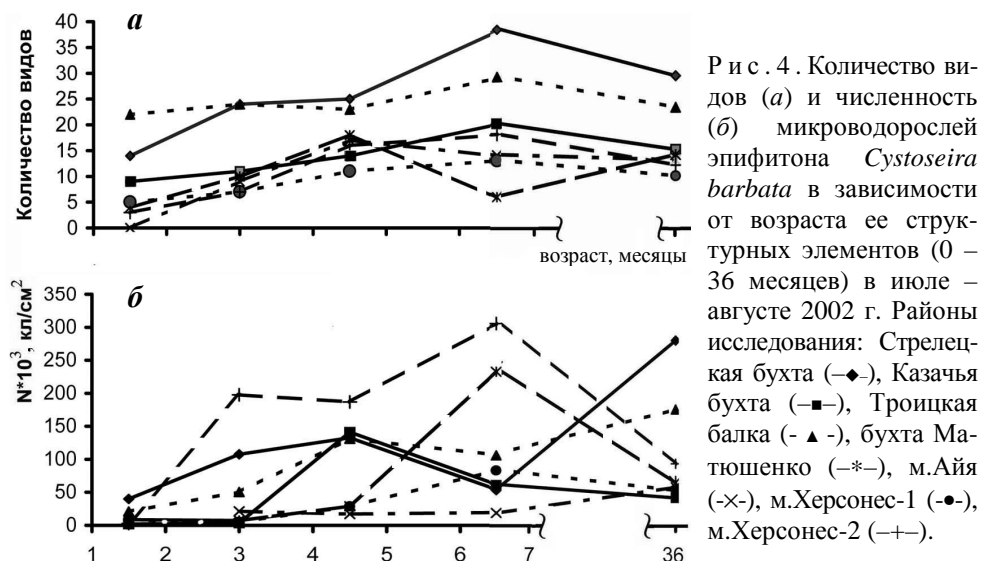
Максимальная численность микроводорослей в эпифитоне цистозеры ($804 \cdot 10^3$ кл/см²) при минимальном количестве видов зарегистрирована у м.Херсонес-2, где в момент отбора проб наблюдали волнение моря и сильный прибой (рис.3, б). Высокие показатели численности обнаружены также в акватории Троицкой балки и Стрелецкой бухты. Диатомовые водоросли преобладают не только по количеству видов, но и по численности, составляя около 50 % общей численности микроводорослей. В бухте Матюшенко обнаружено 22 вида микроводорослей с минимальной численностью клеток $150 \cdot 10^3$ кл/см².

Проведен анализ изменения видового состава и численности микроводорослей в эпифитоне цистозеры в зависимости от возраста ее структурных элементов: ствола (от 2,5 до 3,5 лет) и ветвей (от 0 до 7 месяцев), а также адвентивных ветвей (табл.4). Наибольшее количество видов микроводорослей встречается на стволах и ветвях цистозеры в возрастном диапазоне от 4 до 7 месяцев, при этом максимальные величины отмечены в Стрелецкой бухте и акватории Троицкой балки, минимальные значения – в Мартыновой бухте и у м.Херсонес-1 (рис.4, а). Наибольшая численность микрофитов достигает $300 \cdot 10^3$ кл/см² на поверхности 7-месячных ветвей цистозеры у м.Херсонес-2 (рис.4, б). Одной из причин подобного распределения является увеличение удельной площади поверхности ветвей цистозеры с возрастом.

Общее количество видов микроводорослей в эпифитоне возрастает при увеличении удельной площади поверхности талломов цистозеры и макроэпифитов родов *Cladophora*, *Polysiphonia*, *Ceramium*, имеющих цилиндриче-

Т а б л и ц а 4. Количество видов микроводорослей эпифитона *Cystoseira barbata* и ее макроэпифитов (МАФ) в зависимости от возраста морфологических структур цистозир: $T_{2,5-3,5}$ – ствол, t_{0-7} – ветви, $t_{adv.}$ – адвентивные ветви, лето 2002 г.

объекты исследования		кол-во видов микроводорослей			всего видов	объекты исследования		кол-во видов микроводорослей			всего видов
<i>Cystoseira barbata</i>	МАФ	диатомовые	синезеленые	динофитовые		<i>Cystoseira barbata</i>	МАФ	диатомовые	синезеленые	динофитовые	
Мартынова бухта						м.Айя					
T_3		11	3	1	15	$T_{2,5}$		13	1	–	14
t_{0-2}		7	1	–	8	t_{0-2}		3	1	–	4
t_3		7	1	–	8	t_3		8	1	1	10
t_{4-5}		16	1	–	17	t_{4-5}		17	1	–	18
$t_{adv.}$		10	1	–	11	t_{6-7}		17	2	1	20
р-н Троицкой балки						$t_{adv.}$		14	–	–	14
T_3		21	2	–	23	<i>Polysiphonia subulifera</i>		12	–	1	13
t_{0-2}		20	2	–	22	<i>C. albida</i>		10	–	–	10
t_3		21	2	–	24	<i>C. rubrum</i>		11	–	–	11
t_{4-5}		21	2	–	23	Казачья бухта					
t_{6-7}		28	1	–	29	$T_{3,2}$		14	1	–	15
$t_{adv.}$		26	1	–	27	t_{0-2}		8	1	–	9
	<i>Cladophora albida</i>	29	2	–	31	t_3		10	1	–	11
Стрелецкая бухта						t_{4-5}		11	2	1	14
$T_{3,5}$		25	2	1	29	t_{6-7}		17	2	1	20
t_{0-2}		12	2	–	14	$t_{adv.}$		13	2	1	16
t_3		23	1	–	24	<i>Laurencia</i> sp.		5	–	–	5
t_{4-5}		22	2	1	25	<i>Laurencia</i> +		10	–	2	12
t_{6-7}		34	2	1	37	<i>Polysiphonia</i>					
$t_{adv.}$		19	1	–	20	м.Херсонес-2					
	<i>C. albida</i>	16	–	–	16	$T_{2,5}$		10	2	–	12
	<i>Ceramium rubrum</i>	26	2	2	30	t_{0-2}		2	1	–	3
бухта Матюшенко						t_3		5	2	–	7
T_3		6	4	3	13	t_{4-5}		11	3	2	16
t_{0-2}		–	–	–	0	t_{6-7}		13	2	3	18
t_3		5	3	1	9	$t_{adv.}$		9	2	2	13
t_{4-5}		14	2	1	17						
t_{6-7}		9	4	1	14						
$t_{adv.}$		9	4	1	14						



ский тип осевых структур. Однако численность микроводорослей и распределение количества видов в соответствии с возрастом структурных элементов цистозеры зависит в большей степени и от района исследования. Рост численности клеток микрофитов на ветвях возрастом от 4 до 7 месяцев отмечен только в акваториях мысов Айя и Херсонес, тогда как в остальных районах максимум численности приходится на ветви возрастом 4 – 5 месяцев (рис.4, б). Исключение составляет численность микроводорослей, обнаруженная в эпифитоне цистозеры из бухты Матюшенко, которая с увеличением возраста структурных элементов слоевища макрофита практически не изменяется. Однако, как было показано на примере ламинарии японской, молодые части ее талломов и интеркалярная зона роста заселяется микроводорослями реже и слабее по сравнению с более старыми участками слоевища [29].

Поверхность водорослей-макрофитов является важным параметром, характеризующим их функционирование [30]. Ранее было отмечено, что в эпифитоне черноморских грацилярий и цистозир, имеющих тип осевых структур, а также на поверхности искусственных субстратов, имитирующих некоторые виды водорослей такие, как «цистозира», «кладофора», «церамиум» и др., наблюдается увеличение количества видов и численности диатомовых водорослей по сравнению с плоскими талломами водорослей [13, 24, 31].

Летом количество видов микроводорослей в эпифитоне *Cystoseira* + *Sphacelaria* и *Cystoseira* + *Sphacelaria* + *Ceramium* увеличивается за счет макроэпифитов, составляющих до 30 % сырой массы цистозеры, по сравнению с эпифитоном цистозеры без сопутствующих макроэпифитов [13]. Это объясняется тем, что, несмотря на высокую биомассу цистозеры, которая почти в 8 раз превосходит биомассу церамиума, удельная поверхность которого приблизительно в 5 раз превышает таковую цистозеры [30]. Поэтому, вероятно, за счет увеличения площади поверхности субстрата возрастает количество видов и численность микроводорослей на поверхности макроэпифитов. Кроме этого, численность популяций диатомовых водорослей может меняться не только из-за морфологических особенностей водоросли-базифита [13, 31, 32], но и под влиянием среды обитания [14, 28, 33, 34].

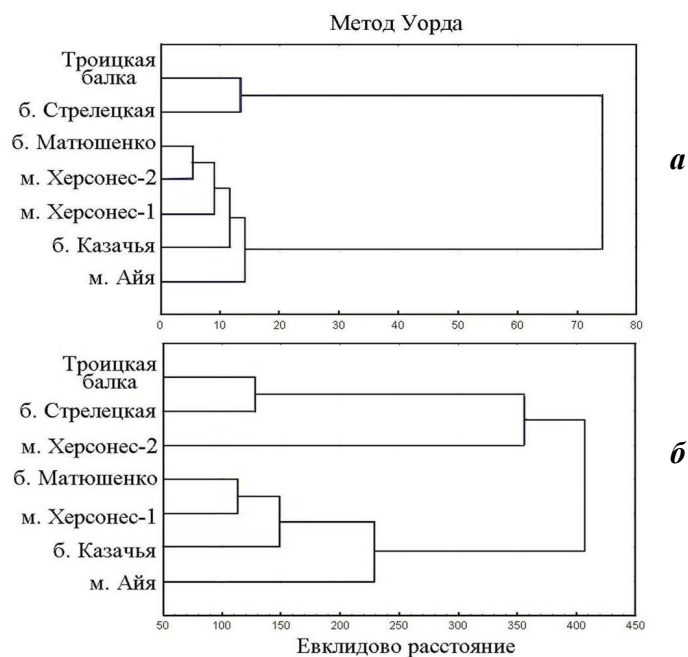


Рис. 5. Уровни сходства различных районов Черного моря по количеству видов (*а*) и численности (*б*) микроводорослей эпилитона *Cystoseira barbata* в зависимости от возраста ее структурных элементов. Июль – август 2002 г.

С помощью кластерного анализа установлены уровни сходства качественного и количественного состава микроводорослей эпилитона цистозеры из различных районов исследования (рис.5).

Стрелецкая бухта и акватория Троицкой балки образуют один кластер, к которым примыкает м.Херсонес-2. Первые два района характеризуются воздействием на биоту близостью корабельных доков, а юго-восточная часть м.Херсонес-2 находится под влиянием стоков очистных сооружений, расположенных в Голубой бухте со стороны м.Фиолент. Наибольшие величины численности и количества видов зарегистрированы за счет развития потенциально опасных видов синезеленых и динофитовых водорослей в этих районах, которые являются более эвтрофными акваториями Севастополя. По этим показателям второй кластер объединяет остальные районы – м.Айя, бухту Матюшенко, м.Херсонес-1 с северо-западной стороны, которые характеризуются как экологически условно «чистые» по сравнению с другими районами исследования Черного моря.

Таким образом, разработка новых методических приемов комплексного исследования эпилитона *Cystoseira barbata* показала, что для целей биоиндикации качества водной среды можно использовать новый биомаркер – возраст цистозеры, а тест-объектами при экспресс-анализе состояния окружающей среды в прибрежной зоне моря – видовой состав и численность популяций эпилитных микроводорослей, в т.ч. потенциально опасных видов.

Работа выполнена при поддержке Государственного Фонда фундаментальных исследований Украины по проекту 06.07/168.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. *Макрушин А.В.* Биологический анализ качества вод.– Л., 1974.– 60 с.
2. *Прошкина-Лавренко А.И., Алфимов Н.Н.* Об использовании диатомовых водорослей при оценке санитарного состояния морских вод // Ботанич. журн.– 1954.– 39, № 1.– С.108-112.
3. *Алфимов Н.Н.* О роли диатомовых и перидиниевых водорослей в самоочищении морских вод // Ботанич. журн.– 1959.– XLIV.– С.868-872.
4. *Рябушко Л.И.* Роль диатомовых водорослей в оценке качества среды в системе биологических прудов и сточных вод Коктебеля (Крым) // V Междун. школа диатомологов «Диатомовые водоросли – индикаторы изменений окруж. среды и климата». Иркутск, 16-20 марта 1993 г.– Иркутск, 1993.– С.54-56.
5. *Round F.E.* A review and methods for the use of epilithic diatoms for monitoring changes in river water quality.– London: HMSO, 1993.– 63 p.
6. *Бухтиярова Л.Н.* Bacillariophyta в биомониторинге речных экосистем. Современное состояние и перспективы использования // Альгология.– 1999.– 9, № 3.– С.89-103.
7. *Фирсов Ю.К.* Иерархический структурно-функциональный анализ морской многоклеточной водоросли *Cystoseira barbata*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.– Севастополь, 1984.– 20 с.
8. *Гаевская Н.С.* Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Черного моря. Сообщение 1. Питание брюхоногого моллюска *Rissoia splendida* Eichw. // Тр. ИОАН СССР.– 1954.– VIII, вып.1.– С.269-290.
9. *Гаевская Н.С.* Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Черного моря. Сообщение II. Питание брюхоногого моллюска *Cerithium reticulatum* (Da Costa) // Бюл. МОИП. Отд. биол.– 1956.– LXI, вып.5.– С.31-46.
10. *Маккавеева Е.Б.* К экологии и сезонным изменениям диатомовых обрастаний на цистозире // Тр. Севастоп. биол. станции.– 1960.– 13.– С.27-38.
11. *Маккавеева Е.Б.* Беспозвоночные зарослей макрофитов Черного моря.– Киев: Наукова думка, 1979.– 227 с.
12. *Куваева С.Б.* Диатомовые обрастания в Черном море // Тр. ИОАН СССР.– 1962.– 58.– С.328-331.
13. *Рябушко Л.И.* Диатомовые водоросли обрастаний донной растительности у мыса Омега Черного моря // Альгология.– 1994.– 4, № 1.– С.62-71.
14. *Рябушко Л.И., Рябушко В.И.* Микрофитобентос бухты Казачья Черного моря (Украина) // Альгология.– 2001.– 11, № 1.– С.70-82.
15. *Гутник А.А.* Некоторые особенности развития черноморской цистозире (*Cystoseira barbata* и *C. crinita*) // Ботанич. журн.– 1973.– 58, № 1.– С.20-32.
16. *Зинова А.Д., Калугина А.А.* К систематике видов рода *Cystoseira* Ag. в Черном море // Новости систематики низших растений.– 1974.– 11.– С.116-125.
17. *Калугина-Гутник А.А., Евстигнеева И.К., Миронова Н.В.* Состояние ценопопуляций *Cystoseira crinita* Vory и *C. barbata* (Good. et Wood.) Ag. (Phaeophyta) у мыса Омега Севастопольской бухты (Черное море) // Альгология.– 1992.– 2, № 4.– С.73-79.
18. *Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К., Попов А.Е.* Комплексная адаптация цистозире к градиентным условиям.– Киев: Наукова думка, 1985.– 215 с.

19. Сабинин Д.А., Щанова Т.Ф. Темп роста, возраст и продукция *Cystoseira barbata* в Черном море // Тр. ИОАН СССР.– 1954.– 8.– С.119-146.
20. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1975.– 247 с.
21. Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений.– Киев: Наукова думка, 1983.– 256 с.
22. Рябушко В.И., Алеев М.Ю., Радченко В.Н., Рябушко Л.И., Чубчикова И.Н. Применение некоторых биоиндикаторов для оценки состояния импактных морских экосистем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– вып.2 (7) (Глобальная океаническая наблюдательная система Черного моря: контактные измерения. Вклад Украины в Black Sea GOOS).– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– С.144-154.
23. Kirschtel D. BIOVOL the program.– 1996 (<http://www.msu.edu/~kirschte/biovol/>).
24. Рябушко Л.И. Структура сообществ диатомовых водорослей эпифитона *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. из Черного моря // Альгология.– 1993.– 3, № 3.– С.42-49.
25. Рябушко Л.И. Атлас токсичных микроводорослей Черного и Азовского морей. – НИЦ Вооруженных Сил Украины «Государственный океанариум».– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– 140 с.
26. Рябушко Л.И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– 288 с.
27. Жукинский В.Н., Оксюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // Гидробиол. журн.– 1976.– 12, № 6.– С.103-112.
28. Рябушко Л.И., Фирсов Ю.К., Торская А.В., Рябушко В.И. Методологические аспекты изучения микроводорослей эпифитона бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag. в зависимости от ее возраста как биомаркера состояния окружающей среды прибрежной зоны Черного моря // Междунар. школа «Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды». Новороссийск, 15-20 сентября 2003 г.– Новороссийск, 2003.– С.75-76.
29. Рябушко Л.И., Буянкина С.К. Диатомовые обрастания ламинарии японской, культивируемой в Приморье // Биология шельфовых зон Мирового океана: Тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. по мор. биологии. Владивосток, сент. 1982 г.– Владивосток, 1982.– ч.3.– С.91-92.
30. Завалко С.Е. Эпифитирование морских макрофитов как адаптация к евтрофированию и подвижности воды // Биология моря.– 1988.– 6.– С.36-42.
31. Рябушко Л.И., Завалко С.Е. Микрофитообрастания искусственных и природных субстратов в Черном море // Ботанич. журн.– 1992.– 77, № 5.– С.33-39.
32. Siver P.A. Development of diatom communities on *Potamogeton robbinsii* Oakes // Phodora.– 1978.– 80, № 823.– P.417-430.
33. Main S.P., McIntire C.D. The distribution of epiphytic diatoms in Yaquina Estuary, Oregon // Bot. Mar.– 1974.– XVII, № 2.– P.88-99.
34. Смирнова Л.Л., Рябушко Л.И., Рябушко В.И., Бабич И.И. Влияние концентрации биогенных элементов на сообщества микроводорослей прибрежного мелководья Черного моря // Альгология.– 1999.– 9, № 3.– С.32-42.

Материал поступил в редакцию 20.01.2005 г.
После доработки 27.04.2005 г.