

**СТРУКТУРНО-
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ
ФИТОЦЕНОЗОВ МОРСКИХ
ПРИБРЕЖНЫХ
АКВАТОРИЙ КРЫМА**

С.А. Ковардаков, А.В. Празукин

Институт биологии южных морей
НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: skovardakov@mail.ru,
prazukin@mail.ru

Сопоставляются структурно-функциональные характеристики фитоценозов макрофитов из морских прибрежных акваторий Крыма, различающихся трофностью среды. Показано, что при прочих равных условиях в акваториях по величине биомассы и средней удельной поверхности фитоценоза можно качественно оценивать состояние водной среды. Индекс поверхности фитоценоза такими свойствами не обладает.

Введение. Донная морская растительность Крыма изучена обстоятельно и достаточно полно [1 – 13], в основном эти работы посвящены таксономическому составу и характеристикам с ним связанными (структуре, сукцессиям, соотношению таксонов, запасам, распределению и т.п.) в разных районах, отличающихся между собой экологическими условиями, в том числе трофностью. Известно, что с увеличением концентрации биогенных элементов и растворенного органического вещества в среде происходит перестройка сообщества макрофитобентоса [2, 4, 7, 11 – 16], наблюдается повышение содержания азота и фосфора в их биомассе [16 – 19]. К примеру содержание азота в ульве, в мезотрофных районах составляет $20 \text{ мг}\cdot\text{г}^{-1}$, а в эвтрофных – $50 \text{ мг}\cdot\text{г}^{-1}$ [20]. Как было показано ранее [16, 21 – 25], от степени трофности зависят структурно-функциональные параметры цистозирры на разных уровнях ее организации, начиная структурными элементами и заканчивая популяцией. Целью настоящих исследований было сопоставление донной растительности по величинам биомассы, средней удельной поверхности фитоценоза и индексу поверхности фитоценоза в прибрежных

акваториях различающихся трофностью и выяснение возможности использования выше названных характеристик для оценки состояния среды.

Материал и методика. В работе использованы материалы экспедиционных исследований макрофитобентоса в бухте Планерской 1991 г. и в бухте Ласпи 1998 г. (условно чистые акватории [26, 27]), полученные совместно с сотрудниками отдела биотехнологий и фиторесурсов ИнБИОМ НАНУ, материалы съемки макрофитобентоса в эвтрофной [28, 29] прибрежной акватории (июль 2005 г.), полученные совместно с выше-названным отделом и отделом биотестирования ИнБИОМ НАНУ.¹ Съемка выполнена в районе радиобиологического корпуса (РБК) ИнБИОМ от восточного мысы бухты Карантинной до входного фарватера в Севастопольскую бухту.

Расположение участков проведения съемок донных фитоценозов макрофитов показано на рис. 1.



Р и с. 1. Участки отбора проб
1 – б. Планерская; 2 – б. Ласпи; 3 – Район РБК ИнБИОМ. Пояснения в тексте

Количественные пробы макрофитов отбирались водолазами с помощью учетной рамки $50 \times 50 \text{ см}$ в четырехкратной повторности [30] на глубинах 0,5, 1, 3, 5, 10 и 15 м.

¹ Авторы выражает благодарность сотрудникам ИнБИОМ: к.б.н. И.К. Евстигнеевой, к.б.н. Н.А. Мильчаковой, н.с. И.Н. Танковской за определение видового состава фитоценозов, к.б.н. Ю.К. Фирсову за участие в съемке фитоценоза в 2005 г.

Водоросли разбирали по видам и взвешивали. Для выявления структурных различий фитоценозов учитывали общую сырую биомассу $B_{\Phi Z}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$, рассчитывали среднюю удельную поверхность $(S/W)_{\Phi Z}$ и индексы поверхности $(S/S_0)_{\Phi Z}$. Расчеты проведены с учетом основных видов, вклад которых в биомассу фитоценоза был не меньше 0,5%.

Расчет удельной поверхности фитоценоза на разных глубинах выполнен по уравнению:

$$(S/W)_{\Phi Z} = \Sigma S_{jZ} / \Sigma W_{jZ}, \quad (1)$$

где $(S/W)_{\Phi}$ – средняя удельная поверхность фитоценоза, $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$ на глубине Z ; ΣS_j – общая поверхность фитоценоза, состоящая из суммы j видовых локальных популяций на глубине Z ; ΣW_j – общая масса фитоценоза, состоящая из суммы видовых популяций на глубине Z .

Индекс поверхности фитоценоза $(S/S_0)_{\Phi Z}$ рассчитывали по уравнению (2):

$$(S/S_0)_{\Phi Z} = (S/W)_{\Phi Z} \cdot B_{\Phi Z}, \quad (2)$$

где $(S/S_0)_{\Phi Z}$ – индекс поверхности фитоценоза, (общая поверхность фитоценоза, отнесенная к площади поверхности дна) $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-2}$ на глубине Z ; $(S/W)_{\Phi Z}$ – средняя удельная поверхность фитоценоза, $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$ на глубине Z ; $B_{\Phi Z}$ – биомасса фитоценоза (общая масса фитоценоза, отнесенная к площади поверхности дна), $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ на глубине Z .

Всего в указанных районах собрано, обработано и проанализировано более 200 количественных проб.

Результаты и обсуждение. В табл. 1 приведены данные о видовом составе макрофитобентоса в анализируемых акваториях.

Т а б л и ц а 1

Видовой состав макрофитов в прибрежных акваториях разной трофности

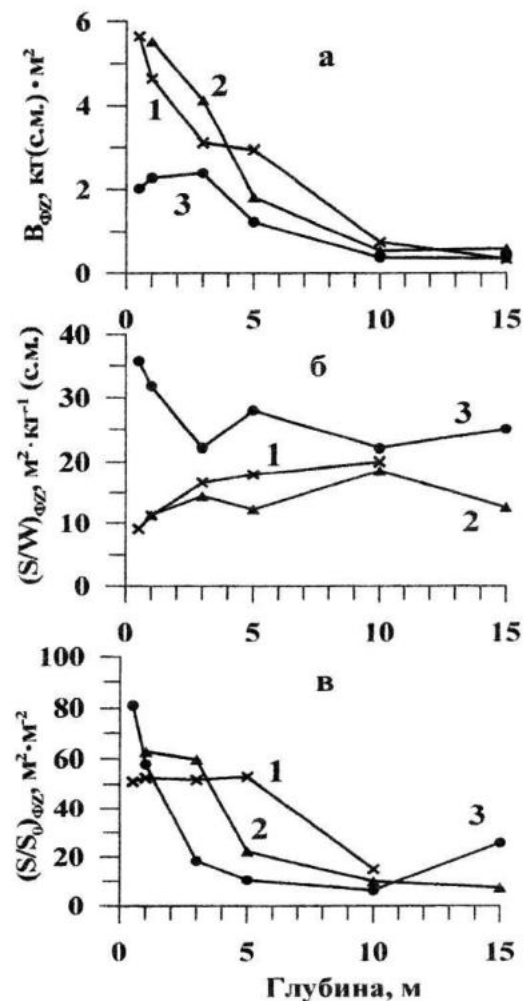
№ п/п	Таксон	Участки		
		1	2	3
1	2	3	4	5
	CHLOROPHYTA			
1	<i>Bryopsis corymbosa</i> (J. Agardh)			+
2	<i>Bryopsis hypnoides</i> (J.V. Lamouroux)		+	+
3	<i>Bryopsis plumosa</i> (Huds.) Ag.	+	+	+
4	<i>Chaetomorpha aërea</i> (Dillw.) Kütz.	+	+	+
5	<i>Chaetomorpha capillaris</i> (Kütz.) Borg.	+		
6	<i>Chaetomorpha linum</i> (Mull.) Kutz.		+	+
7	<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz.	+	+	+
8	<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillw.) Kütz.	+	+	+
9	<i>Cladophora liniformis</i> Kütz.	+	+	
10	<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz.		+	+
11	<i>Cladophoropsis membranacea</i> Borg.		+	+
12	<i>Codium vermilara</i> (Olivi) Dele Chiaje		+	
13	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (L.) Link.	+	+	+
14	<i>Enteromorpha linza</i> (L.) Link.	+		
15	<i>Pringsheimiella scutata</i> (Reinke) Marschew.	+		
16	<i>Spongomorpha lanosa</i> (Roth.) Kütz.	+		
17	<i>Ulva rigida</i> C.Ag.		+	+
	ИТОГО:	10	12	12
	PHAEOPHYTA			
18	<i>Cladostephus spongiosis</i> (Lightf.) Ag.	+	+	+

1	2	3	4	5
19	<i>Corynophlaea umbellata</i> (C.Ag.) Kütz.	+	+	
20	<i>Cystoseira barbata</i> (Stackhouse) C. Agardh	+	+	+
21	<i>Cystoseira crinita</i> Duby	+	+	+
22	<i>Dictyota dichotoma</i> (Huds.) Lamour.		+	
23	<i>Dilophus fasciola</i> (Roth) Howe	+	+	
24	<i>Ectocarpus arabicus</i> Fig. et De Not.	+	+	
25	<i>Feldmania irregularis</i> (Kütz.) Hamel		+	+
26	<i>Myriactula rivulariae</i> (Suhr) Feldm.	+		
27	<i>Nereia filiformis</i> (C. Ag.) Zanard		+	+
28	<i>Padina pavonia</i> (L.). Gaill.		+	
29	<i>Scytosiphon simplicissimus</i> (Clemente) Cremades		+	+
30	<i>Sphacelaria cirrhosa</i> (Roth) C.Ag.	+	+	
32	<i>Stilophora rhizodes</i> (Turn.) J.Ag.	+	+	+
33	<i>Zanardinia prototypus</i> Nardo		+	+
	ИТОГО:	9	14	7
	RHODOPHYTA			
34	<i>Antithamnion cruciatwn</i> (Ag.) Nag.		+	+
35	<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turn.) J.Ag.	+	+	
36	<i>Callithamnion corymbosum</i> (Sm.) Lyngb.,	+		+
37	<i>Ceramium arborescens</i> J.Ag.	+	+	
38	<i>Ceramium circinnatum</i> (Kütz.) J. Ag.	+		
39	<i>Ceramium deslongchampsii</i> Chauv. ex Duby	+	+	
40	<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.) Roth		+	+
41	<i>Ceramium rubrum</i> (Huds.) Ag.	+	+	+
42	<i>Ceramium secundatum</i> Lyngb.			+
43	<i>Ceramium tenuissimum</i> (Lyngb.) Ag.	+	+	
44	<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne			+
45	<i>Chondria dasyphylla</i> (Wood.) Ag.	+		
46	<i>Chondria tenuissima</i> (Good. et Wood.)	+	+	
47	<i>Chondrophyucus papillosus</i> (C. Ag.) Garbary et J.		+	+
48	<i>Corallina mediterranea</i> Aresch.	+	+	+
49	<i>Fosliella farinosa</i> Lamour. (Howe)	+	+	+
50	<i>Gelidium crinale</i> (Turn.)	+	+	+
51	<i>Gelidium latifolium</i> (Grev.) Born. et Thur.		+	+
52	<i>Grateloupia dichotoma</i> J. Ag.		+	+
53	<i>Jania rubens</i> (L.) Lamour.,	+	+	+
54	<i>Kylinia secundata</i> (Lingb.) Papenf.	+	+	
55	<i>Kylinia virgarula</i> (Harv.) Papenf.	+	+	
56	<i>Kylinia virgatula</i> (Harv.) Papenf.		+	
57	<i>Laurencia coronopus</i> J. Ag.	+	+	+
58	<i>Laurencia obtusa</i> (Huds.) Lamour.	+	+	+
59	<i>Laurencia paniculata</i> J. Ag.	+		
60	<i>Laurencia pinnatifida</i> (Gmel.) Lamour	+	+	
61	<i>Lomentaria clavellosa</i> (Turn.) Gail			+
62	<i>Nitophyllum punctatum</i> (Stackh.) Grew	+	+	
63	<i>Phyllophora nervosa</i> (DC) Grev.	+	+	+
64	<i>Phyllophora traillii</i> Holm. ex Batt.	+		
65	<i>Polysiphonia denudate</i> (Dillw.) Grev. ex Harv.),	+	+	
66	<i>Polysiphonia elongata</i> (Huds.) Harv.	+	+	+

1	2	3	4	5
67	<i>Polysiphonia opaca</i> (Ag.) Zanard.		+	
68	<i>Polysiphonia subulifera</i> (Ag.) Harv.,	+	+	
69	<i>Spermathamnion strictum</i> (Ag.)	+	+	+
	ИТОГО:	26	28	19
	ВСЕГО:	45	54	38

Общий список обнаруженных видов во всех трех исследуемых районах составляет 69 видов. 52 % списка занимают красные водоросли, на зеленые и бурые соответственно приходится 25 и 23 %. Как показывает коэффициент общности видов ($K_{\text{общ}} = N_{\text{об}}/N_{\text{сп}}$, где $N_{\text{об}}$ – число общих видов в сравниваемых группах; $N_{\text{сп}}$ – общий список видов сравниваемых групп) фитоценозы б. Планерская и район РБК ИнБЮМ из всех рассматриваемых нами районов имеют наименьшее число общих для них видов ($K_{\text{общ}} = 0.3$). В акваториях бухт Планерской и Ласпи и акваториях б. Ласпи и района РБК ИнБЮМ коэффициенты общности видового состава фитоценозов соответственно равны: 0.52 и 0.56. Таким образом, наиболее удаленные друг от друга фитоценозы (б. Планерская и район РБК ИнБЮМ) имеют наименьшее видовое сходство и различаются по величине биомассы рис. 2 а. В эвтрофных условиях биомасса в 2-3 раза меньше, чем в условно чистых акваториях. Это связано с тем, что в олиготрофных районах донная растительность формируется в основном многолетними видами, имеющими крупные слоевища и невысокие S/W (цистоциры, филлофора). Трофические условия в первую очередь влияют на функционирование водорослей, что приводит к процветанию одних видов и ингибированию других. В итоге изменяется соотношение масс видов, формирующих фитоценоз. Повышение трофности благоприятствует развитию видов, имеющих высокие значения S/W, но в силу малых размеров не обладающими высокими биомассами. При этом многолетние виды вытесняются сезонными мелкокоразмерными видами и подавляются поселяющимися на них эпифитами. Это приводит к увеличению средней удельной поверхности фитоценоза (рис. 2 б). Различия между фитоценозами более ярко проявляются на мел-

ководье 0.5 – 1 м за счет большого количества эпифитов, поселяющихся на цистозире – видах, доминирующих в фитоценозах на скально-валунных грунтах и имеющих низкие значения S/W – 5 – 10 $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.



Р и с. 2. Изменение структурно-функциональных характеристик донных фитоценозов
а – биомасса фитоценоза; б – удельная поверхность фитоценоза; в – индекс поверхности фитоценоза: 1 – фитоценоз из условно чистой акватории (б. Планерская). 2 – фитоценоз из условно чистой акватории (б. Ласпи); 3 – фитоценоз из эвтрофной акватории (РБК).

Сравнение фитоценозов по величине индекса поверхности фитоценоза (рис. 2 в) не выявило определенных различий между районами исследования. На мелководье (0.5 – 1 м) величина $(S/S_0)_ф$ фитоценоза из эвтрофных условий в 1.2-1.6 раз выше, чем фитоценозов из условно чистых акваторий, на глубине 5 м этот показатель в эвтрофных условиях наоборот в 5 раз меньше, на 10 м различий практически не наблюдалось.

Заключение. Приведенные данные говорят о том, что в отличие от биомассы и средней удельной поверхности фитоценоза, по которым, при прочих равных условиях, в акваториях можно качественно судить о трофности среды, индекс поверхности фитоценоза такими свойствами не обладает и не может рассматриваться, как показатель уровня трофности. Объясняется это тем, что индекс поверхности фитоценоза – это произведение двух характеристик – уравнение (2), отклики которых на эвтрофирование имеют противоположный характер (рис. 2 а, б), а это значит, что результирующая величина откликов не может однозначно характеризовать состояние среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова-Водяницкая Н.В. Растительные ассоциации в Черном море // Труды Севастоп. биол. ст. – 1959. – Т.11. – С. 3 – 28.
2. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1975. – 248 с.
3. Калугина-Гутник А.А. Изменения в донной растительности Севастопольской бухты за период с 1967 по 1977гг. // Экология моря. – 1982. – Вып. 9. – С. 48 – 61.
4. Калугина-Гутник А.А. Изменения видового состава фитобентоса в бухте Ласпи за период 1964 – 1983 гг. // Экология моря. – 1989. – Вып. 31. – С. 7 – 11.
5. Костенко Н.С. Макрофитобентос / Карадагский природ. заповед.: Летопись природы, 1997. – Карадаг, 1998. – С. 9 – 12.
6. Калугина-Гутник А.А., Куликова Н.М. Донная растительность у западного побережья Крыма / Экология бентосных организмов. – Киев: Наук. думка, 1974. – С. 111 – 132.
7. Евстигнеева И.К. Сезонная морфодинамика слоевищ некоторых видов лауренций, структура их популяций и сообществ в Черном море: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1986. – 25 с.
8. Садогурский С.Е., Маслов И.И., Белич Т.В. Водоросли-макрофиты (списки видов биоты, рекомендуемых для включения в Красную книгу Крыма) // Вопросы развития Крыма. – 1999. – Вып. 13. – С. 52 – 62.
9. Маслов И.И. Фитобентос соленоводной акватории озера Донузлав (Крым, Украина) // Висн. Луганського держ. пед. ун-ту. Біол. науки. – 2001. – №11(43). – С. 44 – 49.
10. Мильчакова Н.А. Бурые водоросли Черного моря: систематический состав и распространение // Альгология. – 2002. – 12, № 3. – С. 324 – 337.
11. Мильчакова Н.А. Макрофитобентос // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). Севастополь, 2003. – С. 152 – 208.
12. Мильчакова Н.А., Петров А.Н. Морфофункциональный анализ многолетних изменений структуры цистозировых фитоценозов (бухта Ласпи, Черное море) // Альгология. – 2003. – Т. 13, № 4. – С. 355 – 370.
13. Калугина-Гутник А.А., Костенко Н.С. Донная растительность Феодосийского залива // Экология моря. – 1980. – Вып. 7. – С. 10 – 25.
14. Беляев В.И., Калугина-Гутник А.А., Хайлов К.М. Математическое моделирование сообщества прибрежных морских макрофитов, подверженного эвтрофикации от берегового стока // Экология моря. – 1980. – Вып. 1. – С. 69 – 79.
15. Хайлов К.М., Празукин А.В., Завалко С.Е., Измestьева М.А., Рындина Д.Д. Морские макрофиты в градиенте бытового эвтрофирования // Водные ресурсы. – 1984. – № 5. – С. 88 – 103.

16. Празукин А.В. Структурные и функциональные изменения черноморской цистозеры в условиях эвтрофирования (Иерархический подход): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1991. – 25 с.
17. Wallentinus I. Environmental influences on benthic macrovegetation in the Trosa-Asko area, Northern Baltic proper. III. On the significance of chemical constituents in some macroalgal species. – University of Stockholm, Institute of Botany, 1979. – 56 p.
18. Kuwabara J.S., North W.J. Culturing microscopic stages of *Macrocyctis pyrifera* in Aquil, a chemical defined media // J. Phycol. – 1980. – Vol. 16. – P. 546 – 549.
19. Ho Y.B. Mineral element content in *Ulva lactuca* L. with reference to eutrophication in Hong Kong coastal waters // Hydrobiologia. – 1981. – Vol. 77, No. 1. – P. 43 – 47.
20. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – Киев: Наук. думка, 1992. – 280 с.
21. Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. – Киев: Наук. думка, 1983. – 253 с.
22. Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К., Попов А.Е. Комплексная адаптация цистозеры к градиентным условиям. – Киев: Наук. Думка, 1985. – 215 с.
23. Лазоренко Г.Е., Празукин А.В., Хайлов К.М. Влияние бытовых сточных вод на распределение ряда металлов в черноморской бурой водоросли *Cystoseira crinita* (Desf.) // Экология. – 1985. – № 2. – С. 82 – 85.
24. Празукин А.В., Ковардаков С.А. Состояние ценопопуляции цистозеры на участках крымского побережья с разной антропогенной нагрузкой // Системы контроля окружающей среды / Средства и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005. – С. 283 – 287.
25. Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К. Рост *Cystoseira crinita* на разной глубине в акватории с аварийным выпуском хозяйственных сточных вод // Проблемы биологической океанографии XXI века: Межд. науч. конф. к 135-летию ИнБЮМ (Севастополь, Украина, 19 – 21 сент. 2006 г.). – 2006. – С. 148.
26. Евстигнеева И.К. Эколого-фитоценотическая характеристика и запасы донной растительности бухты Планерская (Черное море) // Альгология. – 2001. – Т.11, № 4. – С. 423 – 432.
27. Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Бобко Н.И. Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи района культивирования мидий // Экология моря, – 1990. – Вып. 36. – С. 1 – 7.
28. Куфтаркова Е.А., Немировский М.С., Родионова Н.Ю. Гидрохимический режим района экспериментальной мидиевой фермы (рейд Севастополя) // Экология моря. – 2002. – Вып. 59. – С. 61 – 65.
29. Евстигнеева И.К., Ковардаков С.А., Фирсов Ю.К., Танковская И.Н. Сезонная и батиметрическая изменчивость макрофитобентоса бухты Карантинная // Системы контроля окружающей среды / Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 385 – 292.
30. Калугина А.А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования. – М.: Наука. – 1969. – С. 105 – 113.