

ДОННЫЙ ФИТОЦЕНОЗ В АКВАТОРИИ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА И ЕГО ВКЛАД В ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ

C.А. Ковардаков, Ю.К. Фирсов

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

В статье обсуждаются изменения донного фитоценоза в акватории городского пляжа парка «Победы» (г. Севастополь) в условиях повышения трофности. Показано, что существенные структурные изменения фитоценоза, произошедшие за 19 лет, не повлияли на его средозащитные характеристики. Вклад чистозыры в процессы самоочищения снизился, а эпифитов — вырос. В целом, самоочистительный потенциал фитоценоза по фосфору не изменился, а по азоту увеличился в 1,2 раза.

Введение. На протяжении последних десятилетий морская эвтрофикация стала главной проблемой для прибрежных экосистем в глобальном масштабе [1, 2]. На Черном море весомой составляющей общего эвтрофирования является возрастающая рекреационная нагрузка на прибрежные акватории, что сказывается на изменении производственных и средозащитных свойствах прибрежных экосистем и ведет к ухудшению качества среды. Для Крыма чистота водной среды особенно важна, так как благодаря уникальным природным условиям и наличию разнообразных курортно-рекреационных ресурсов он превращается в международную здравницу и центр международного туризма.

По прогнозам 70-х годов прошлого столетия [3] в 2000 г. в Крыму ожидалось 16–20 млн. отдыхающих. Но прогнозы, во многом из-за перестройки, не оправдались. Наоборот, в 80–90-е годы поток отдыхающих резко снизился, а вследствие спада производства в промышленности и сельском хозяйстве уменьшились объемы отходов поступающие в море через водосбор. Это благоприятно сказалось на экологической обстановке Черного моря. Однако, в последнее десятилетие наблюдается рост числа отдыхающих в Крыму и Севастополе. В 2008 г. количество организованных отдыхающих составило

5,5 млн. человек. Увеличение потока отдыхающих несомненно скажется на качестве воды в прибрежной зоне моря и экологическая ситуация будет ухудшаться.

В сложившейся ситуации основная средозащитная функция прибрежных акваторий от избытка биогенных элементов принадлежит донным многоклеточным водорослям. Осуществляя изъятие из воды биогенных элементов и насыщая воду кислородом, необходимого для окисления растворенных органических веществ, макрофиты играют главную роль в поддержании качества водной среды [4, 5].

Благодаря высокой адаптивной пластичности, сообщества макрофитов могут радикально изменять свою структуру и функции в ответ на антропогенные воздействия [6–12] приспосабливаясь к изменившимся условиям. Но в экстремальных условиях сообщества начинают деградировать [13–16].

Именно поэтому, исследования изменений структурных и функциональных характеристик донных фитоценозов в ответ на увеличение антропогенной нагрузки, и оценка потенциальной способности справиться с этой нагрузкой становятся особенно актуальными.

Работа является частью комплексного исследования [17] донного фитоценоза в прибрежной акватории парка «Победы» — самого крупного в Севастополе рекреационного комплекса. Его создание началось в восьмидесятые годы. Тогда же здесь был построен городской пляж с бунами. До строительства пляжа нагрузка на побережье была незначительной. В настоящее время в парке идет бурное строительство гостиниц, аттракционов, расширяется пляжная зона. С каждым годом нагрузка на наземную территорию и море в этом районе возрастает.

Цель исследований — выявить структурные изменения сообщества макрофитов в акватории городского пляжа, произошедшие за период с 1985 по 2004 гг. и оценить его самоочистительный потенциал.

Материал и методика. Исследования проводились на побережье между бухтами Круглой и Стрелецкой на участке протяженностью около 700 м, из которых 300 м занимает городской пляж с бунами (рисунок 1).

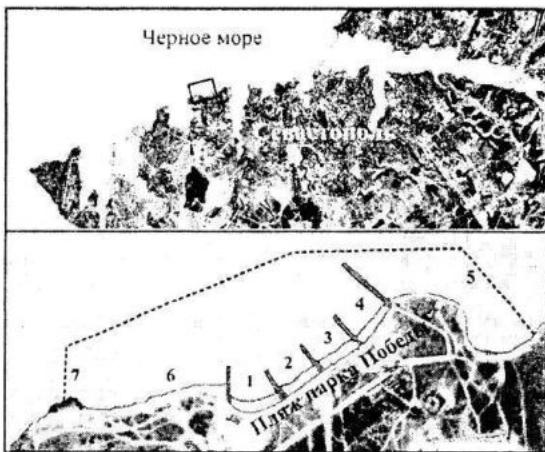


Рисунок 1 – Район исследований (а) и участок отбора проб макроводорослей (б). 1–7 – место-расположение разрезов отбора проб

Съемки фитоценоза проведены в июле 1985 и 2004 гг. (первая – на следующий год после строительства пляжа). Характеристика участка и методика проведения съемок на 7 разрезах по глубинам 0,5, 2 и 4 м описаны в предыдущей статье [17].

По результатам съемок макроводорослей определили запасы цистозиры и наиболее часто встречающихся сопутствующих видов, а так же определили запасы макрофитов, эпифитирующих на цистозире и рассчитали их вклад в биомассу донного фитоценоза.

По величинам удельной поверхности (S/W) цистозиры и эпифитов [5] и их запасам рассчитывали величины их поглощающей поверхности (S) в акватории пляжа.

Коэффициент эпифитирования рассчитывали по формуле: $K_{\mathcal{E}W} = W_{\mathcal{E}}/W_W$,

где $W_{\mathcal{E}}$ и W_W соответственно массы эпифитов и цистозиры, г.

Аналогичным образом рассчитывали коэффициент эпифитирования по поглощающей поверхности эпифитов и цистозиры – $K_{\mathcal{E}S} = S_{\mathcal{E}}/S_S$

Площадь водной поверхности и объем воды акватории пляжа и его межбунных пространств рассчитывали до изобаты 4 м по карте и линейным измерениям.

Содержание азота в верхушечных ветвях цистозиры пятимесячного возраста [18] определяли, при помощи CHN-анализатора. Для анализа использовали ветви однораз-

мерных слоевищ с глубины 2 м каждого из семи выполненных разрезов.

Анализ проб воды на содержание фосфатов, нитритов и нитратов проведен по стандартным гидрохимическим методикам [19] (5 съемок на 7 разрезах).

В период исследований в разное время дня проведено более 40 учетов количества отдыхающих для расчета количества азота и фосфора [20], поступающих в акваторию пляжа во время купания людей.

Показателем самоочищительного потенциала фитоценоза служила величина возможного изъятия минеральных фосфора и азота из воды, рассчитанная по величинам запасов макрофитов, уравнению их роста [21] и содержанию азота и фосфора в макрофитах [22].

Результаты и обсуждение. К 2004 г средняя биомасса цистозиры на 1 м² дна снизилась на 2 кг по сравнению с 1985 г., когда она достигала 5,5 кг·м⁻² и соответствовала уровню характерному условно чистым акваториям [5]. При этом биомасса эпифитов на глубине 0,5 м к 2004 г. снизилась в 1,8 раза, а на глубинах 2 м и 4 м увеличилась соответственно в 1,4 и 1,7 по сравнению с 1985 г. [17]. Непосредственно в акватории городского пляжа биомассы эпифитов выросли в 2 и более раз.

Запасы цистозиры в зоне пляжа к 2004 г. снизились почти вдвое, а эпифитов увеличились в 2,2 раза, при этом общие запасы макрофитов сократились почти на четверть (таблица 1).

Иначе изменялась поглощающая поверхность. Эпифиты, обладая высокими значениями S/W , вносят более весомый вклад в поглощающую поверхность фитоценоза, чем в его общую массу. Об этом свидетельствуют коэффициенты эпифитирования ($K_{\mathcal{E}W}$ и $K_{\mathcal{E}S}$) рассчитанные соответственно по массе и поверхности растений (таблица 1). В 1985 г. поглощающие поверхности зарослей цистозиры и ее эпифитов были равными по величине, а к 2004 г. их соотношение стало 1:4,5. Мы полагаем, что эти изменения вызваны повышенным поступлением азота и фосфора в зоны

Таблица 1 – Запасы и поглощающие поверхности цистозиры и ее эпифитов, коэффициенты эпифитирования цистозиры в акватории пляжа

Годы	Запасы макрофитов, т		Поверхность макрофитов, м ²		$K_{\text{ЭВ}}$	$K_{\text{ЭС}}$
	цистозира	эпифиты	цистозира	эпифиты		
1985	58	9	$291 \cdot 10^3$	$292 \cdot 10^3$	0,16	1,00
2004	31	20	$158 \cdot 10^3$	$705 \cdot 10^3$	0,65	4,47

купания со смывами с тел и мочой отдыхающих.

Используя данные учета количества одновременного пребывания отдыхающих на пляже в течение дня, сведения о поступлении азота и фосфора в воду от одного купающегося человека в день [20] и объемы воды в межбунных пространствах, рассчи-

тали дневное поступление этих биогенных элементов в акваторию пляжа и их концентрацию в воде. В таблице 2 приведены только максимальные величины перечисленных параметров (характеристик).

Снижение концентрации питательных веществ может происходить за счет изъятия их водорослями и разбавления течениями.

Таблица 2 – Количество отдыхающих, одновременно пребывающих на пляже в течение дня, поступление от них азота и фосфора в воду во время купания и концентрации азота и фосфора в воде

Отсеки пляжа	Количество отдыхающих, чел	Дневное поступление биогенов в воду, г•сут ⁻¹		Максимальные концентрации азота и фосфора в воде, мкг•л ⁻¹			
		P	N	Расчетные		Фактические	
				P	N	P	N
1	500	97	758	10,0	78,9	5,3	49,5
2	400	77	606	7,2	56,8	4,0	51,0
3	400	77	606	7,6	59,7	3,7	50,2
4	450	87	682	5,6	44,1	6,2	42,0

О качестве воды можно судить не только по ее гидрохимическим анализам, но и по концентрации биогенных элементов в слоевицах многолетних водорослей, таких как цистозира. При этом качество воды в данном районе оценивается за продолжительный период времени [5, 6].

Концентрация биогенных элементов в растениях нелинейно связана с их концентрацией в среде. На рисунке 2 показано содержание азота в верхушечных ветвях первого порядка цистозиры из исследуемой акватории. Содержание азота в ветвях цистозиры из акватории пляжа выше, чем в растениях из сопредельных акваторий. На большинстве разрезов 2004 г. содержание азота в цистозире выше, чем в растениях из соответствующих разрезов 1985 г. и достигают уровня характерного для цистозиры из мезотрофных акваторий [22, 23]. Макси-

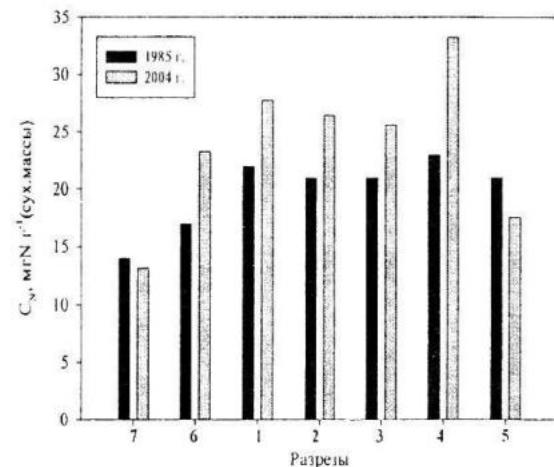


Рисунок 2 – Содержание азота в ветвях цистозиры из акватории парка «Победы».

Последовательность разрезов см. на рисунке 1

мальное содержание азота обнаружено в растениях из 1 и 4 межбунных пространств

пляжа (наиболее посещаемых отдыхающими, таблица 2). Минимальная концентрация азота наблюдается в растениях из разреза № 7, расположенного на обрывистом, малопосещаемом отдыхающими участке в 400 м левее пляжа.

Расчет величины возможного изъятия минеральных форм фосфора и азота макрофитами из воды (таблица 3) показал, что средозащитная функция цистозиры по фосфору и азоту снизилась соответственно в 1,4 и 1,8 раза, а эпифитов выросла в 2,5 и 2,2

раза. Отметим, что функциональная активность эпифитов значительно выше, чем у цистозиры благодаря высокой удельной поверхности (S/W) [22, 24] и это сказывается на деэвтрофирующей способности фитоценоза. Так, общее снижение запасов фитоценоза (таблица 1) не отразилось на его самоочистительном потенциале по фосфору, который благодаря эпифитам был скомпенсирован и сохранился на прежнем уровне, а по азоту вырос в 1,2 раза (таблица 3).

Потенциально донная растительность

Таблица 3 – Потенциальные скорости изъятия фосфора и азота макрофитами из воды

Годы	Изъятие фосфора, гР·ч ⁻¹			Изъятие азота, гN·ч ⁻¹		
	цистозира	эпифиты	фитоценоз	цистозира	эпифиты	фитоценоз
1985	140	45	191	1016	504	1572
2004	76	112	196	730	1124	1905

прибрежной акватории парка «Победы» способна полностью поглотить все биогены, поступающие в воду от купающихся людей. Этому препятствует разбавление течениями и пространственная разобщенность основной части фондов биогенных элементов и донного фитоценоза.

Заключение. В период с 1985 по 2004 гг. рекреационная нагрузка на прибрежную акваторию парка «Победы» возросла. Об этом свидетельствуют не только учеты количества отдыхающих в зоне купания, но и повышение содержания азота в цистозире. Увеличение трофности привело к структурным перестройкам донного фитоценоза. Наиболее заметные изменения донной растительности проявились в зоне городского пляжа. Существенно изменилась возрастная структура популяции цистозиры – доминирующего ценозообразующего вида. За счет снижения запасов цистозир произошло снижение общих запасов макрофитов в 1,3 раза, в то время как запасы эпифитирующих на цистозире видов макрофитов выросли в 2 раза. Однако, снижение общих запасов не привело к снижению поглощающей поверхности фитоценоза, через которую осуществляется внешний химический обмен водорослей со средой. Благодаря эпифитам поверхность

фитоценоза увеличилась в 1,5 раза, что способствовало увеличению его средозащитной функции.

Перестройки фитоценоза в условиях повышения трофности носят компенсаторный характер: снижение биомассы и самоочистительных функций одного вида компенсируется увеличением таковых других видов. В результате этого потоки биогенных веществ через фитоценоз стабилизируются или незначительно изменяются.

В акватории парка «Победы» компенсаторный механизм проявился в повышении общей поверхности растений за счет эпифитов цистозиры. Эпифитный комплекс стал в большей мере определять общую величину потоков азота и фосфора на этом участке моря. Вода в акватории хорошо аэрирована за счет интенсивного водообмена, перемешивания и преобладания процессов продуцирования над процессами дыхания и разложения органических веществ. Тем не менее, компенсаторные перестройки не беспределны и при неизбежном в ближайшие годы усилении антропогенной нагрузки на акваторию следует ожидать уменьшения сбалансированности потоков биогенных элементов в экосистеме и, в соответствии с величиной дисбаланса, неблагоприятных для рекреации последствий.

Л и т е р а т у р а

1. S. Nixon. Marine eutrophication: a growing international problem. *Ambio*, vol.19. 1990. – P. 101
2. V.H. Smith., G.D. Tilman, J.C. Nekola. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, vol. 100. 1999. – P. 179–196
3. В.И. Беляев, И.В. Багров, Я.К. Трушиньш. Рекреационная система Крыма. *Вестник АН УРСР*, № 11. 1983. – С. 70 – 77.
4. G.Weise, M.Jorga. Aquatic macrophytes – a potential resource. *Water Qual. Bull.*, vol. 6, No. 4. 1981. – P. 104–107.
5. С.А. Ковардаков, А.В. Празукин, Ю.К. Фирсов, А.Е.Попов. Комплексная адаптация цистозиры к градиентным условиям (научные и прикладные проблемы). – Киев: Наук. думка, 1985. – 214 с.
6. M.M. Littler, S.N. Murray. Impact of sewage on the distribution, abundance and community structure of rocky intertidal macro-organisms. *Marine Biology*, vol. 30. 1975. – P. 277–291.
7. C.M. Duarte C.M. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*, vol. 41. . 1995. – P. 87–112
8. J.E. Cloern. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 210. 2001. – P. 223–253.
9. V.B. Brown, S.A. Davies, R.N. Synnot. Long-term monitoring of the effects of treated sewage effluent on the intertidal macroalgal community near Cape Schank, Victoria, Australia. *Botanica Marina*, vol. 1990. – P. 85–98.
10. K. Eleanor, R. Charles. Response of primary producers to nutrient enrichment in a shallow estuary. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 163. 1998. – P. 89–98.
11. I.M. Munda. Changes and degradation of seaweed stands in the Northern Adriatic. In: Chapman A.R.O., Brown M.T., Lahaye M. (eds) *Proceedings of the 14th International Seaweed Symposium*. 1993. – P. 239–253.
12. C. Rodriguez-Prieto, L. Polo. Effects of sewage pollution on the structure and dynamics of the community of *Cystoseira mediterranea* (Fucales, Phaeophyceae). *Scientia Marina*, vol. 60. 1996. – P. 253–263.
13. В. И Беляев, А.А. Калугина-Гутник, К.М. Хайлов. Математическое моделирование сообщества прибрежных морских макрофитов, подверженного эвтрофикации от берегового стока. *Экология моря*, вып.1. 1980. – С. 69–79.
14. К.М. Хайлов, В.П. Парчевский. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. – Киев: Наук. Думка. 1983. – 253 с.
15. C.M. Duarte. Marine biodiversity and ecosystem services: an elusive link. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 250. 2000. – P. 117–131.
16. C.S. Rogers, J. Beets. Degradation of marine ecosystems and decline of fishery resources in marine protected areas in the US Virgin Islands. *Environmental Conservation*, vol. 28. 2001. – P. 312–322.
17. С.А. Ковардаков, Ю.К. Фирсов. Изменение донной растительности в акватории черноморского рекреационного комплекса в процессе его развития. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2007. – С. 347–351.
18. Ю.К. Фирсов. Связь физиологических функций морфологических элементов слоевища цистозиры с их возрастом и структурой. *Биология моря*, Севастополь, вып. 44. 1978. – С. 68–74.
19. Руководство по методам химического анализа морских вод. – Л.: Гидрометеоиздат. 1977. – 208 с.
20. L. Schulz. Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene*. I. Abt. Originale B 173. 1981. – S. 528–548.
21. К.М. Хайлов, А.В. Празукин, С.А. Ковардаков, В.Е. Рыгалов. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – Киев: Наук. думка. 1992. – 280 с.
22. Г.К. Барашков Сравнительная биохимия. – М.: Пицц. пром-сть. 1972. –335 с.
23. А.В. Празукин. Структурные и функциональные изменения черноморской цистозиры в условиях эвтрофирования (Иерархический подход): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь. 1991. – 25 с.
24. Ю.Одум. Основы экологии. – М.: Мир. 1975. – 739 с.