

УДК 582: 574.58 (262.5)

Д.С. БАЛЫЧЕВА

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины,
пр. Нахимова, 2, 99011 Севастополь, Украина
e-mail: dashik8@gmail.com

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
BACILLARIOPHYTA ПЕРИФИТОНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
СТЕКЛЯННЫХ ПЛАСТИН В АКВАТОРИИ КРЫМСКОГО
ПРИБРЕЖЬЯ ЧЁРНОГО МОРЯ**

Исследована сезонная динамика видового состава, обилия видов (S), численности (N), биомассы (B), структуры сообществ по индексам Шеннона (H), Пиелу (e) и Бергера-Паркера (D_{BP}) *Bacillariophyta* перифитона экспериментальных стеклянных пластин при ежемесячной экспозиции в акватории крымского побережья Черного моря с декабря 2010 г. по январь 2012 г. при температуре воды от 7,5 до 22,5 °С. Обнаружено 55 видов и внутривидовых таксонов *Bacillariophyta*, принадлежащих 3 классам, 14 порядкам, 24 семействам, 49 родам. Выявлено 11 доминирующих видов (5 – по численности, 9 – по биомассе). Средние значения количественных показателей сообществ *Bacillariophyta* варьировали: S – от 7 до 25, N – от $57 \cdot 10^3$ до $1229 \cdot 10^3$ кл.·см⁻², B – от 0,007 до 0,353 мг·см⁻², H – от 1,4 до 3,3, e – 0,36 до 0,73 и D_{BP} – от 17 до 71 %.

К л ю ч е в ы е с л о в а : диатомовые водоросли, перифитон стеклянных пластин, Чёрное море.

Введение

Метод экспериментальных пластин позволяет выявить не только закономерности формирования видового состава и количественного развития сообществ *Bacillariophyta* по сезонам года, но и особенности индивидуального развития видов, их популяций и сравнить данные с природными субстратами Чёрного моря (Рябушко, 2013). Несмотря на то, что перифитон экспериментальных субстратов разного типа исследован в основном на искусственных модулях, имитирующих некоторые виды макрофитов, стеклянных пластинах, бетонных плитах в районе бухт Севастополя Черного моря (Кучерова, 1973, 1975; Рябушко, Завалко, 1992; Мильчакова и др., 2002; Рябушко, 2009; Лохова, 2012; Рябушко и др., 2013), сведений о сезонной динамике количественных показателей и структуры сообществ *Bacillariophyta* недостаточно. Поэтому были проведены комплексные исследования сезонной динамики видового состава, количественных и продукционных характеристик микроводорослей перифитона экспериментальных стеклянных пластин при разных сроках экспозиции в закрытой акватории близ Карантинной бухты Чёрного моря (Рябушко, 2009, Лохова, 2012, Рябушко и др., 2013). Однако для сравнения с полученными данными необходимо было повто-

© Д.С. Балычева, 2014

рять аналогичные эксперименты при других сроках экспозиции, в частности при ежемесячных наблюдениях в течение года.

Целью данной работы было изучение сезонной динамики обилия видов, доминирующих видов, численности, биомассы и структурных показателей сообществ *Bacillariophyta* перифитона экспериментальных стеклянных пластин при ежемесячном сроке их экспозиции в Карантинной бухте Чёрного моря.

Материалы и методы

Материалом для исследования видового состава и количественных характеристик *Bacillariophyta* послужили экспериментальные стеклянные пластины (ЭСП), экспонированные в акватории, прилегающей к Карантинной бухте (44°36'56.11"N; 33°30'10.45"E) Черного моря на глубине 2 м с декабря 2010 г. по февраль 2012 г. Подробное описание экспериментальной установки и методов обработки проб приведены в литературе (Рябушко и др., 2013). Температура воды в море варьировала от 7,5 до 22,5 °С (табл. 1). Отбор проб проводили ежемесячно. Обработано 39 проб фитоперифитона и 150 водных препаратов *Bacillariophyta*. Их численность определяли методом прямого подсчета клеток в камере Горяева объёмом 0,9 мм³ в трёх повторностях в световом микроскопе С. Zeiss «Axioskop 40» с программой AxioVision Rel. 4.6 при увеличении 10×40 и 10×100. Численность (N , кл.·см⁻²) и биомассу (B , мг·см⁻²) сообщества *Bacillariophyta* рассчитывали по формулам, приведенным ранее (Рябушко и др., 2003). Для анализа сезонной динамики структуры сообществ диатомовых водорослей использовали индексы Шеннона-Вивера (Shannon Weaver, 1949) и Пиелу (Pielou, 1956), а степень доминирования видов в сообществе рассчитывали по индексу Бергера-Паркера (Berger, Parker, 1970).

Результаты и обсуждение

С декабря 2010 г. по февраль 2012 г. в перифитоне ЭСП при ежемесячном сроке их экспозиции в Карантинной бухте Чёрного моря обнаружено 55 видов и ввт *Bacillariophyta*, принадлежащих 3 классам, 14 порядкам, 24 семействам и 49 родам (Лохова, 2012). Исследованы также сезонная динамика численности, биомассы, обилия видов *Bacillariophyta* и проведен анализ данных количественной структуры их сообществ с помощью индексов Шеннона (H), Пиелу (e) и Бергера-Паркера (D_{BP}) (см. табл. 1). Выявлено 11 доминирующих видов, из них 5 видов – по численности, 9 – по биомассе (табл. 2).

Анализ сезонной динамики количественных характеристик сообществ диатомовых водорослей показал, что наибольшие значения численности и биомассы отмечены зимой 2011 г. Максимальная численность сообщества зарегистрирована в январе ($1229,3 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) и феврале ($1090,3 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) при $t = 8,0-7,5$ °С соответственно. С января по май на стеклах доминировал бенто-планктонный вид *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reim. et Lewin. Численность

этого вида достигала максимальной величины в феврале $868 \cdot 10^3$ кл·см⁻², а в мае–июне она снижалась до минимальных значений (см. табл. 2).

Таблица 1

Сезонная динамика обилия видов (S), численности (N), биомассы (B) и структурных показателей по индексам Шеннона (H), Пиелу (e), Бергера-Паркера (D_{BP}) сообществ *Bacillariophyta* в перифитоне стеклянных пластин в Карантинной бухте Чёрного моря

Срок экспозиции пластин	$t, ^\circ\text{C}$	$N \cdot 10^3$, кл. · см ⁻²	B , мг·см ⁻²	S	H	e	D_{BP} , %
27.12.2010–26.01.2011	8,0	1229,3	0,082	14	1,4	0,37	71
26.01–24.02	7,5	1090,3	0,353	16	2,2	0,57	57
24.02–25.03	11,0	397,0	0,054	15	2,2	0,55	61
25.03–22.04	11,0	376,7	0,089	16	2,6	0,65	51
22.04–23.05	16,5	142,3	0,021	13	2,7	0,73	36
23.05–23.06	22,5	391,0	0,095	19	3,0	0,71	30
23.06–25.07	21,5	606,0	0,115	22	2,5	0,54	49
25.07–22.08	22,0	199,2	0,039	23	1,7	0,36	17
22.08–26.09	21,0	277,1	0,052	25	3,3	0,71	20
26.09–25.10	15,0	214,3	0,050	19	3,0	0,73	21
25.10–24.11	9,4	468,8	0,097	23	2,9	0,64	47
24.11–22.12	10,0	288,3	0,042	15	2,8	0,73	31
22.12.2011–23.01.2012	7,7	57,6	0,007	7	1,8	0,65	52

В январе 2011 г. из-за высокой степени доминирования *C. closterium* ($D_{BP} = 71$ %) в сообществе и малочисленности других видов индексы видового разнообразия ($H = 1,4$) и выровненности ($e = 0,37$) видов в сообществе имели минимальные значения при среднем показателе их обилия $S = 14$.

Максимальные значения биомассы сообществ *Bacillariophyta* отмечены в феврале, средняя величина которой не совпадала по времени с самыми высокими значениями численности (см. табл. 1) из-за обильного развития колониальных видов *Striatella unipunctata* (Lyngb.) C. Agardh, *Achnanthes longipes* C. Agardh, *Berkeleya rutilans* (Trentep. ex Roth) Grunow, *Licmophora abbreviata* C. Agardh, *L. flabellata* (Grev.) C. Agardh. Значения индексов Шеннона и Пиелу возрастали, так как наибольшие значения численности показали все указанные выше виды при среднем их обилии ($S = 16$).

С марта по июнь при снижении численности и степени доминирования *C. closterium* наблюдалось увеличение индексов Шеннона и Пиелу. Биомасса сообщества весной оставалась высокой при доминировании *S. unipunctata*, но

при смене доминант (в мае) ее значения снижались (см. табл. 1, 2). В июне степень доминирования *C. closterium* снижалась до 57 % и в последующие месяцы вид наблюдался редко, а по численности доминировал *B. rutilans* при $D_{BP} = 30$ %. Значительный вклад в количественную составляющую сообщества водорослей вносили массовые виды – *Nitzschia hybrida* f. *hyalina* и *L. abbreviata*. Если в январе по биомассе доминировала *N. hybrida* f. *hyalina* Proschk.-Lavr., имеющая более крупные клетки, чем *C. closterium*, то в феврале преобладал крупноклеточный вид *S. unipunctata*.

Таблица 2

Доминирующие виды *Bacillariophyta* по численности (*N*) и биомассе (*B*) перифитона стеклянных пластин в Карантинной бухте Чёрного моря

Доминирующие виды				
Срок экспозиции пластины	<i>N</i> ·10 ³ , кл.·см ⁻²		<i>B</i> , мг·см ⁻²	
27.12.2010– 26.01.2011	<i>Cylindrotheca closterium</i>	868,0	<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i>	0,165
26.01–24.02	“	626,0	<i>Striatella unipunctata</i>	0,123
24.02–25.03	“	244,0	“	0,015
25.03–22.04	“	193,0	“	0,051
22.04–23.05	“	52,0	<i>Amphora ostrearia</i> <i>Undatella lineolata</i>	0,008 0,008
23.05–23.06	<i>Berkeleya rutilans</i>	117,0	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>	0,028
23.06–25.07	<i>B. micans</i>	297,0	<i>Berkeleya micans</i> <i>Cocconeis scutellum</i>	0,032 0,032
25.07–22.08	“	35,0	<i>Neosynedra provincialis</i>	0,009
22.08–26.09	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	56,0	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	0,007
26.09–25.10	<i>B. micans</i>	46,0	<i>N. hybrida</i> f. <i>hyalina</i>	0,012
25.10–24.11	<i>N. tenuirostris</i>	221,0	<i>N. tenuirostris</i>	0,022
24.11–22.12	<i>B. micans</i>	90,0	<i>B. micans</i>	0,022

В июле при температуре воды 21,5 °С заметно увеличилась биомасса *Bacillariophyta* (0,115 мг·см⁻²), однако средние значения индексов видовой разнообразия и выравненности по сравнению с весной снижались. Это происходило в результате бурного развития колоний вида *Berkeleya micans*

(Lyngb.) Grunow ex V.H., который доминировал и по численности, и по биомассе при $D_{BP} = 49 \%$. В августе наблюдались минимальные значения индекса Пиелу и низкие значения индекса Шеннона при высоком обилии видов ($S = 23$), когда значения численности видов в сообществе были наименее выровнены: максимальные величины превосходили минимальные в 35 раз. В сентябре по численности и биомассе доминировал *Nitzschia tenuirostris* Mereschk. ($D_{BP} = 20 \%$), характерный для осеннего сезона, что согласуется с данными по эксперименту 2007–2008 гг. (Рябушко и др., 2013). В массе встречались *N. longissima* (Bréb.) Ralfs ex Pritch., колонии *B. micans*, *B. rutilans*, *Neosynedra provincialis* (Grunow) Will. et Round, а также колониальные виды *A. longipes*, *L. abbreviata*, *S. unipunctata*. Зарегистрирован максимум значений индекса Шеннона (3,3) при максимальной величине обилия видов (25) и высоком значении индекса Пиелу, что указывает на значительную выровненность по численности видов в сообществе. В октябре–ноябре с понижением температуры воды увеличивалось количество колониальных видов, а значения численности и биомассы постепенно возрастали (см. табл. 1). В декабре численность, биомасса и обилие видов снижались, а индексы Шеннона и Пиелу имели высокие значения при доминировании по численности и биомассе *B. micans* с $D_{BP} = 31 \%$. В январе 2012 г. поверхность пластин почти полностью заселялась видом *Cocconeis scutellum* Ehrenb., степень доминирования которого достигала более 52 %, при этом обилие видов и общая численность диатомовых были минимальными.

В целом, количественные характеристики сообщества *Bacillariophyta* перифитона варьировали по численности ($57,6\text{--}1229,3 \cdot 10^3$ кл·см⁻²) и биомассе ($0,007\text{--}0,353$ мг·см⁻²). Сравнение этих данных с количественными показателями сообщества диатомовых при накопительных сроках экспозиции (Рябушко и др., 2013) показало, что их максимум наблюдается в зимне-весенний сезон при средней температуре воды для данного периода около 9 °С за счет обилия колониальных форм диатомовых. Тенденция сезонных изменений в соотношении видов, вносящих основной вклад в количественные показатели сообщества *Bacillariophyta* перифитона стеклянных пластин, наблюдалась и при накопительных сроках экспозиции. Однако максимальные значения численности и биомассы сообществ *Bacillariophyta* были в два раза выше при накопительных сроках экспозиции пластин в море, чем при ежемесячных.

Несмотря на то, что в зимне-весенний период 2011 г. по численности доминировал бентопланктонный вид *C. closterium*, значительный вклад в количественные характеристики вносили бентосные виды-обрастатели. В летне-осенний период они практически не наблюдались, а возрастала роль одиночно-живущих видов.

Анализ количественных данных сезонной динамики *Bacillariophyta* перифитона искусственных субстратов в Черном море показал, что их максимум в разные годы наблюдается в зимне-весенний период на экспериментальных стеклянных пластинах в Севастопольской бухте (1957, 1969–1971 гг.) с максимумом

численности ($176,5 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) в марте (Кучерова, 1975); в Карантинной бухте при накопительных сроках экспозиции стеклянных пластин (2007–2008 гг.) – в марте при $N = 2180,8 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² (Рябушко и др., 2013), в перифитоне экспериментальных бетонных плит в Артиллерийской бухте (1996–1997 гг.) – в апреле при $N = 1201 \cdot 10^4$ кл.·см⁻² (Милячакова и др., 2002). Эти данные согласуются с динамикой численности диатомовых природных экотопов Чёрного моря, для которых установлен максимум развития в зимне-весенний сезон (Рябушко, 2013).

На северо-западном побережье Бразилии наибольшие значения численности *Bacillariophyta* перифитона экспериментальных стеклянных пластин наблюдались с ноября по март 1993 г., а также в октябре 1994 г. при $t = 25–36$ °С (Brandini et al., 2001)

Выводы

Исследован видовой состав и количественные характеристики сезонной динамики и структурных показателей *Bacillariophyta* перифитона экспериментальных стеклянных пластин при ежемесячном сроке экспозиции в акватории крымского побережья Черного моря с декабря 2010 по январь 2012 г. в зависимости от изменения температуры воды в море (от 7,5 до 22,5 °С). Обнаружено 55 видов и ввт *Bacillariophyta*, принадлежащих 3 классам, 14 порядкам, 24 семействам, 49 родам. Выявлено 11 доминирующих видов, из них по численности – 5, по биомассе – 9 видов. Максимальные значения численности ($1229 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) и биомассы (0,353 мг·см⁻²) сообщества *Bacillariophyta* зарегистрированы зимой 2011 г. при 7,5–8,0 °С в период активного развития прикрепленных колониальных видов *Licmophora abbreviata*, *L. flabellata*, *Striatella unipunctata*, свободноживущих форм *Cylindrotheca closterium* и *Nitzschia hybrida* f. *hyalina*.

Минимальные значения численности ($57,6 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) и биомассы (0,007 мг·см⁻²) сообщества *Bacillariophyta* отмечены в январе 2012 г., очевидно, из-за того, что первичное заселение поверхности чистых пластин произошло за счет массового развития прикрепленного вида *Cocconeis scutellum*, что мешало дальнейшему поселению других видов *Bacillariophyta*. Величины обилия видов в сообществе составляли от 7 до 25 и были наибольшими в летне-осенний период, N – от $57 \cdot 10^3$ до $1229 \cdot 10^3$ кл.·см⁻², B – от 0,007 до 0,353 мг·см⁻². В течение круглогодичного наблюдения величины индексов Шеннона варьировали от 1,4 до 3,3, а Пиелу – от 0,36 до 0,73, Бергера-Паркера – от 17 до 71 %. Показано, что наибольшие значения численности *Bacillariophyta* на искусственных и природных субстратах Чёрного моря характерны для зимне-весеннего периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кучерова З.С. Биологические основы борьбы с обрастанием. Гл. 2. Биология организмов обрастания. Микроорганизмы. – Киев: Наук. думка, 1973. – С. 47–71.

- Кучерова З.С. Динамика численности и биомассы диатомовых водорослей в ценозе обрастаний // Биол. моря. – 1975. – Вып. 35. – С. 67–73.
- Милячкова Н.А., Неврова Е.Л., Евстигнеева И.К. Формирование морских фитосообществ на искусственном субстрате // Альгология. – 2002. – 12(1). – С. 96–110.
- Лохова Д.С. Видовой состав и эколого-географические характеристики диатомовых водорослей перифитона стеклянных пластин при разных сроках их экспозиции (Карантинная бухта, Чёрное море) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – 7(26). – С. 33–38.
- Лохова Д.С., Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли перифитона стеклянных пластин при разных сроках их экспозиции в Карантинной бухте Черного моря (Украина) в зимне-весенний сезон: Мат. IV междунар. конф. «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, 23–25 мая 2012 г.) // Альгология. – 2012, Suppl. – С. 174–175.
- Рябушко Л.И., Завалко С.Е. Микрофитообрастания искусственных и природных субстратов в Черном море // Ботан. журн. – 1992. – 77(5). – С. 33–39.
- Рябушко В.И., Алеев М.Ю., Радченко В.Н., Рябушко Л.И., Чубчикова И.Н. Применение некоторых биоиндикаторов для оценки состояния импактных морских экосистем // Сб. науч. тр. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа». – Севастополь, 2003. – 2(7). – С. 144–154.
- Рябушко Л.И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. – 288 с.
- Рябушко Л.И. Микрофитобентос Черного моря: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Севастополь: ИнБЮМ НАНУ, 2009. – 44 с.
- Рябушко Л.И. Микрофитобентос Черного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – 416 с.
- Рябушко Л.И., Фирсов Ю.К., Лохова Д.С., Еремин О.Ю. Исследования количественных характеристик микроводорослей, фотосинтеза и первичной продукции фитоперифитона стеклянных пластин при кратко- и долговременной экспозиции (Чёрное море, Украина) // Альгология. – 2013. – 23(1). – С. 65–81.
- Brandini F.P., da Silva E.T., Pellizzari F.M., Fonseca A.L., Fernandes L.F. Production and biomass accumulation of periphytic diatoms growing on glass slides during a 1-year cycle in a subtropical estuarine environment (Bay of Paranagua, southern Brazil) // Mar. Biol. – 2001. – 138(1). – P. 163–171.
- Berger W.H., Parker F.L. Diversity of planktonic Foramenifera in deep sea sediments // Science. – 1970. – 168. – P. 1345–1347.
- Munda I. M. Seasonal fouling by diatoms on artificial substrata at different depths near Piran (Gulf of Trieste, Northern Adriatic) // Acta Adriat. – 2005. – 46(2). – P. 137–157.
- Pielou E.C. The measurement of diversity in different types of biological collections // J. Theor. Biol. – 1966. – 10. – P. 370–383.
- Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication – Urbana: Univ. Illinois Press. – 1949. – 117 p.

Подписал в печать И.Ю. Костиков

D.S. Balycheva

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas, NAS of Ukraine,
2, Nakhimov Av., 99011 Sevastopol, Ukraine
e-mai: dashik8@gmail.com

SEASONAL QUANTITATIVE DYNAMIC OF PERIPHYTON *BACILLARIOPHYTA* ON
THE EXPERIMENTAL GLASS SLIDES MONTHLY EXPOSED IN A COASTAL
SEAWATER AREA OF THE CRIMEA (BLACK SEA)

Seasonal dynamic of species composition, species richness (S), abundance (N), biomass (B) of periphyton diatoms and Shannon (H), Pielou (e) and Barger-Parker (D_{BP}) indices were studied. The experimental design implied monthly exposition of glass slides in the Karantinnaya Bay of Sevastopol (Black Sea) from December 2010 to January 2012; temperature in the sea water ranged from 7.5 to 22.5 °C. In total, 55 taxa (3 classes, 14 orders, 24 families, 49 genera) of *Bacillariophyta* were found; 11 species were dominant, 5 of them prevailed by abundance and 9 by biomass. The averages derived for the periphyton diatom community varied as follows: S – from 7 to 25, N – from $57 \cdot 10^3$ to $1229 \cdot 10^3$ cell·cm⁻², B – from 0,007 to 0.353 mg·cm⁻², H – from 1.4 to 3.3, and e – from 0.36 to 0.73, D_{BP} – from 17 to 17 %.

Key words: diatoms, periphyton of glass slides, Black Sea.