

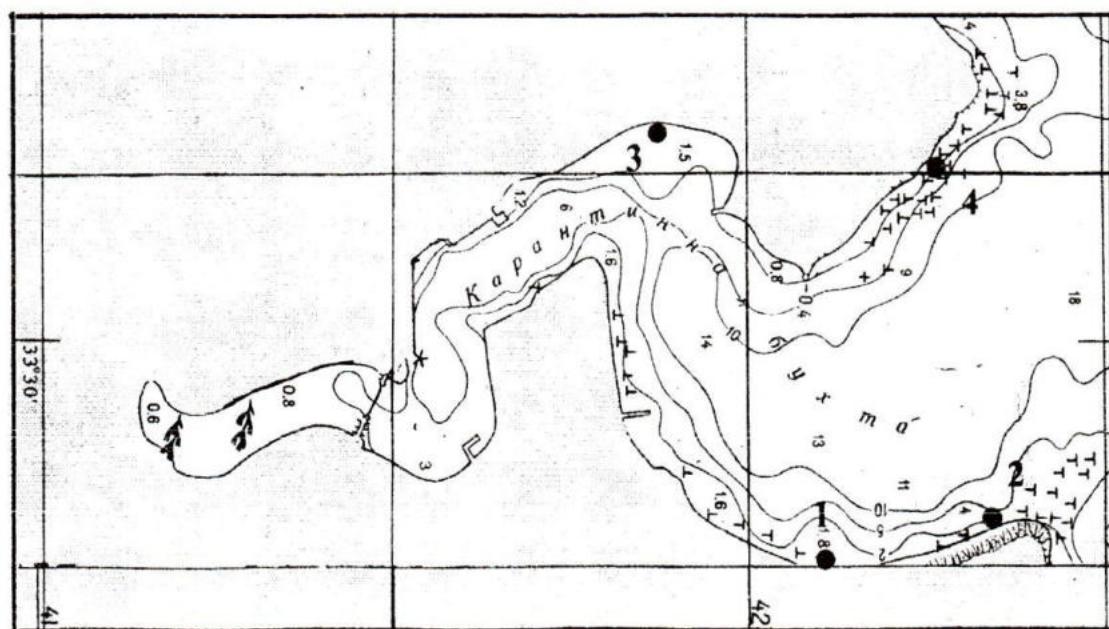
# ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ ЭПИЛИТОНА КАРАНТИННОЙ БУХТЫ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО ПРИБРЕЖЬЯ

**P.I. Ли**

Институт биологии южных морей им.  
А.О. Ковалевского, пр. Нахимова, 2,  
299011 Севастополь,  
E-mail: raisa-lee@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты Чёрного моря на глубине 0,5 м, с сентября 2007 г. по октябрь 2008 г. Получены сведения о видовом разнообразии, сезонной динамики численности и биомассы диатомовых водорослей эпилитона, при изменении температуры воды в бухте от 6 до 26°C. Идентифицированы водоросли относящиеся к 81 таксону, зарегистрирован весенний максимум их развития, при температуре воды 12°C. Представлена экологогеографическая картина распределения микроводорослей, выделены доминирующие группы диатомей. Рассчитаны индексы видового разнообразия Шеннона ( $H$ ), выравненности видов в сообществе Пиелу ( $e$ ) и коэффициент флористического сходства Чекановского-Сёренсена.

**Введение.** Эпилитон Карантинной бухты представляет собой твердые субстраты (камни, галька и др.) на которых обильно поселяются различные микроводоросли, среди которых доминируют диатомовые [1]. Диатомеи, как автотрофные организмы снимают биогенную нагрузку в бухте, потребляя для построения органического вещества соединения азота и фосфора, вносят значительный вклад в формировании кислородного баланса. Их видовое разнообразие, динамика численности и биомассы, качественные и количественные изменения доминирующих видов служат для оценки состояния окружающей среды. Бухта является одной из нескольких входящих в Севастопольский морской район (рис.1) и отличается наличием множества источников антропогенного загрязнения: в кутовой части эпизодически осуществляется аварийный выпуск неочищенных бытовых стоков, ливневой канализации, здесь расположена база военных катеров и яхт. В результате в бухте наблюдается загрязнение - высокие концентрации нитратного (от 2 до 436  $\text{мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ ) и органического азота (от 103 до 17000  $\text{мкг}\cdot\text{л}^{-1}$ ) в воде [2].



Целью настоящей работы является исследование сообщества диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты Чёрного моря, определение видового состава, получение количественных характеристик сезонной динамики численности и биомассы, а также сравнение этих данных с результатами предыдущих исследований.

Мониторинговые исследования проводили ежемесячно на протяжении 2-х лет (с сентября 2006 по октябрь 2008 гг.) на глубине 0.5 м бухты на 4-х станциях. Результаты исследования с сентября 2006 по сентябрь 2007 г.г., описаны ранее [3]. В настоящей работе проведен анализ данных полученные за период с сентября 2007 г. по октябрь 2008 г. Объектом исследования были диатомовые водоросли эпилитона. В Карантинной бухте в условиях, когда температура воды за весь период наблюдения изменялась от 6.0 до 28°C, собрано и обработано 120 проб. Пробы исследовались под световым микроскопом «БИОЛАМ Л-212», подсчёт клеток осуществлялся в камере Горяева в 3-х повторностях, количественные значения определяли по методикам [4,5]. Оценка видового разнообразия и выравненности диатомового сообщества осуществляли по индексам Шеннаона (H) [6] и Пиелу (e) [7]. Для анализа изменчивости видового состава от одного года к другому рассчитывался коэффициент флористического сходства Чекановского-Сёренсена (Ks).

В течение годового цикла, начиная с сентября 2007 по октябрь 2008 гг. обнаружено 81 вид и внутри видовых таксонов диатомовых водорослей, из которых 16 массовых видов: *Amphora angusta* Gregory 1857 var. *angusta*, *A. hyalina* Kützing 1844, *A. ostrearia* Brébisson 1849, *Berkeleya micans* (Lyngbye) Grunov ex Van Heurck, *B. rutilans* (Trentepohl ex Roth) Grunov 1880, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964, *Licmophora abbreviata* C. Agardh 1831, *L. flabellata* C. Agardh 1830, *Navicula ramosissima* (Agardh) Cleve 1895, *Neosynedra provincialis* (Grunov) Williams et Round 1986, *Nitzschia hybrida* f. *hyalina* Proschk.-Lavrenko 1963, *N. tenuirostris* Mereschkowsky 1902, *Parlibellus delognei* (Van Heurck) E.J. Cox 1988, *Striatella unipunctata* (Lyngbye) Agardh 1832, *Tabularia fasciculata* (Agardh) Williams et Round 1986, *Undatella quadrata* (Brébisson ex Kützing) Paddock et Sims 1980. Круглогодично в пробах присутствовало 10 видов: *Amphora hyalina*, *A. ostrearia*, *Carinasigma rectum* (Donkin) G. Reid, *Licmophora abbreviata*, *L. flabellata*, *Navicula ramosissima*, *Nitzschia tenuirostris*, *Pleurosigma elongatum* W. Smith 1852, *Striatella unipunctata* (Lyngbye) Agardh 1832, *Tabularia fasciculata*. Отмечены и редковстречающиеся виды *Actinophythus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843. *Amphora obtusa* W. Gregory 1857, *Fragilaria delicatissima* Proschkina-Lavrenko, 1960.

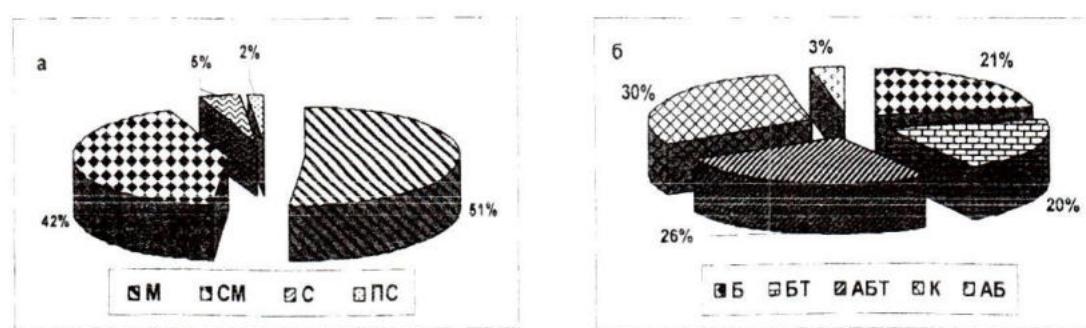


Рис. 2. Эколого-географические элементы флоры диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты:

- a: М – морские, СМ – солоноватоводно-морские, С – солоноватоводные, ПС – пресноводно-солоноватоводные.  
 b: Б – бореальные, БТ – бореально-тропические, АБТ – аркто-бореально-тропические, К – космополиты, АБ – аркто-бoreальные

Одним из важных гидрологических факторов влияющих на видовой состав диатомовых водорослей в водоемах является соленость воды. По отношению к солености в Карантинной бухте отмечено преобладание морских форм диатомовых водорослей (51%), а также солоноватоводно-морских (42%), солоноватоводных форм (5%) и пресноводно-солоноватоводных (2%) (рис. 2а).

По приуроченности к определенным географическим зонам значительный

вклад в сообщество диатомовых водорослей бухты вносят космополитные виды – 30%, на долю аркто- boreально-тропических приходится 26%, boreальных форм диатомовых водорослей – 21%, boreально-тропических – 20%, и 3% аркто- boreальных (рис. 2б).

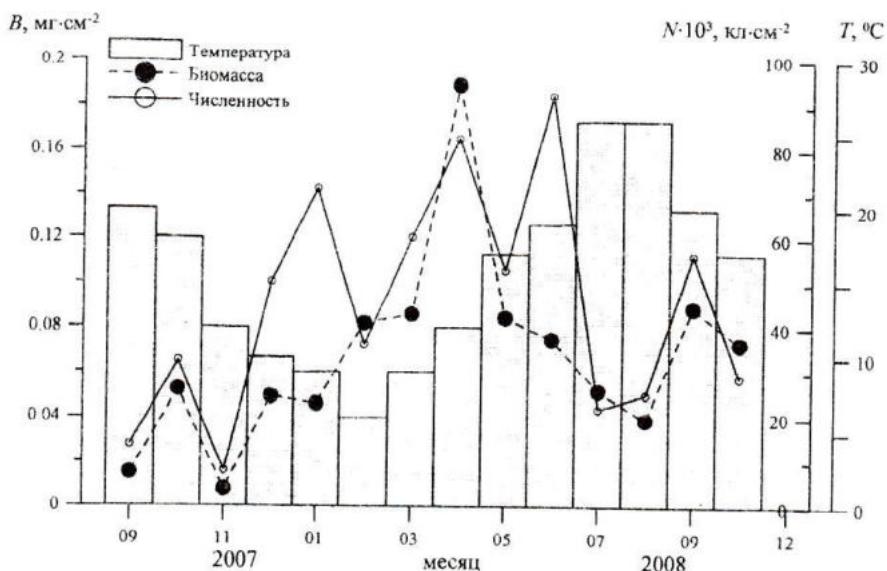


Рис. 3. Сезонная динамика численности ( $N$ ), биомассы ( $B$ ) диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты и температуры ( $T$ ) воды в море (сентябрь 2007 – октябрь 2008 годы)

В процессе смены сезонов, изменяется температура окружающей среды и ее освещенность, соответственно, происхо-

дит смена доминирующих видов диатомей (табл. 1).

Таблица 1

Значения численности ( $N$ ), биомассы ( $B$ ) и доминирующие виды диатомовых водорослей в эпилитоне Карантинной бухты Чёрного моря (сентябрь 2007 – октябрь 2008 гг.)

Сезон	$N \cdot 10^3$ , $\text{кл} \cdot \text{cm}^{-2}$	$B$ , $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	Доминирующие виды диатомовых водорослей (2007 – 2008 гг.)
Зима	36,1 – 71,3	0,046 – 0,082	<i>Berkeleya rutilans</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Licmophora abbreviata</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i>
Весна	52,9 – 82,7	0,084 – 0,189	<i>L. abbreviata</i> , <i>L. flabellata</i> , <i>Neosynedra provincialis</i> , <i>N. tenuirostris</i> , <i>Striatella unipunctata</i>
Лето	22,0 – 92,4	0,039 – 0,075	<i>Berkeleya micans</i> , <i>L. abbreviata</i> , <i>Navicula ramosissima</i> , <i>N. tenuirostris</i> .
Осень	8,0 – 32,5	0,008 – 0,052	<i>Amphora hyalina</i> , <i>A. ostrearia</i> , <i>N. ramosissima</i> , <i>Nitzschia hybrida f. hyalina</i> , <i>N. tenuirostris</i>

Их количественные данные варьировали в следующих пределах: численность (N) от  $7,0 \cdot 10^3$  до  $92,0 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , биомасса (B) от 0,008 до 0,189 мг $\cdot$ см $^{-2}$ , температура воды от 6 до 26°C (рис. 3). Из графиков видно, что наибольшие величины биомассы отмечены в апреле при температуре 12 °C за счет крупноклеточных видов, а численность – в июне при 19°C, при этом преобладал бентопланктонный вид *Nitzschia tenuirostris*, составляющий 62% от всего сообщества диатомовых водорослей [8]. Минимальные значения численности и биомассы отмечены в ноябре, после сильного шторма.

В динамике численности наблюдаются 5 пиков: два небольших осенних, зимний, весенний и летний. В сентябре 2007г. доминировали по численности три вида: *Amphora angusta*, *Navicula sp.*, *N. tenuirostris* их значения изменяя

лись от 1324 до 2099 кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , в сентябре 2008г. доминировала *N. hybrida f. hyalina* (12489 кл. $\cdot$ см $^{-2}$ ). В январе 2007г. значительный вклад в численность внесла *Cylindrotheca closterium* (34243 кл. $\cdot$ см $^{-2}$ ), в апреле соответственно *L. abbreviata* (26266 кл. $\cdot$ см $^{-2}$ ) и в июне *Nitzschia tenuirostris* (57489 кл. $\cdot$ см $^{-2}$ ).

Зимой зафиксирована самая низкая температура воды 6°C (февраль) (см. рис. 3). Отмечено 40 видов диатомовых; из них – четыре массовых вида: *Berkeleya rutilans*, *Cylindrotheca closterium*, *L. abbreviata*, *N. tenuirostris*, которые вносили большой вклад в численность или в биомассу в этом сезоне. Их средние значения изменились в пределах: N от  $36,1 \cdot 10^3$  до  $71,3 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , B от 0,046 до 0,082 мг $\cdot$ см $^{-2}$ , средние значения индексов видового разнообразия (H) от 0,76 до 1,19 и выравненности Пиелу (e) от 0,55 до 0,831 (табл. 2).

Таблица 2

Сезонная динамика индексов видового разнообразия Шеннона (H), выравненности Пиелу (e) и обилия видов (S) диатомовых водорослей эпилитона Каратинной бухты Чёрного моря в 2007 – 2008 годы

Индексы и число видов	Месяцы													
	2007 год				2008 год									
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
H	1,2 7	0,95	0,79	0,86	0,76	1,19	0,98	0,91	0,81	0,73	1,14	1,27	1,18	
e	0,8 8	0,73	0,64	0,66	0,55	0,83	0,71	0,73	0,59	0,52	0,724	0,82	0,76	
S	28	21	17	22	25	27	24	18	24	26	37	36	35	

Весной, когда температура воды в море изменялась от 9°C в марте и до 17°C в мае, диатомовый комплекс был представлен 38 видами. В это время отмечены высокая численность и биомасса у 5 видов: *L. abbreviata*, *L. flabellata*, *Neosyndra provincialis*, *N. tenuirostris*, *Striatella unipunctata* их численность варьирует от  $52,9 \cdot 10^3$  до  $82,7 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , биомасса от 0,084 до 0,189 мг $\cdot$ см $^{-2}$ . Средние значения индексов видового разнообразия от 0,81 до 0,98 и выравненности

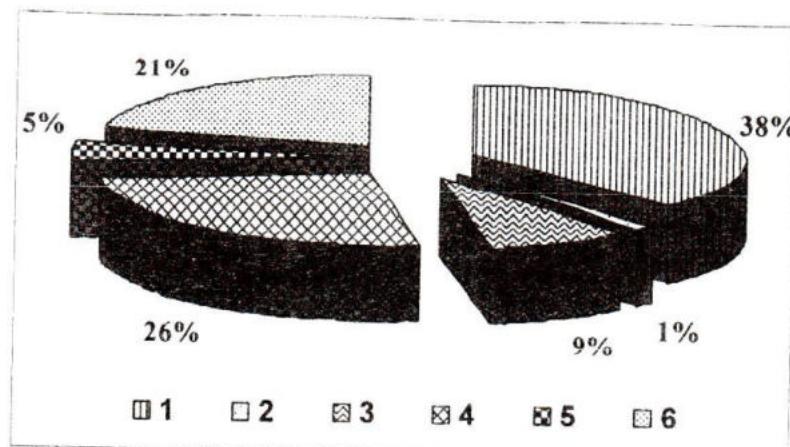
от 0,59 до 0,73 имели невысокие величины (см. табл. 2).

В апреле зарегистрирован пик развития диатомовых водорослей, при температуре воды 12°C. Наибольший количественный вклад в этот период вносят 6 видов: *L. abbreviata*, *L. flabellata*, *Neosyndra provincialis*, *N. tenuirostris*, *Striatella unipunctata*, *Tabularia fasciculata*, их численность варьирует от 3225 до 38289 кл. $\cdot$ см $^{-2}$  составляет 80 % от общей (рис 4).

Летом (июнь-август), когда температура воды в бухте повысилась от 19 до 26°C, (см. рис. 3), идентифицировано 50 видов, из которых основными доминантами являются *Berkeleya micans*, *L. abbreviata*, *N. ramosissima*, *N. tenuirostris*. Средняя численность варьировала от  $22,0 \cdot 10^3$  до  $92,4 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , а биомасса

от 0,039 до 0,075 мг $\cdot$ см $^{-2}$ , средние значения индексов видового разнообразия от 0,73 до 1,27 и выравненности Пиелу от 0,52 до 0,816 (см. табл. 2).

В осенние периоды 2007 и 2008 г.г. обнаружен 51 вид диатомовых, из них 43 вида найдены в 2007 г. и 35 видов -- в 2008 г. Значительный вклад в сообщество



Р и с. 4. Процентное соотношение биомассы диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты в апреле 2008 года: 1 – *Licmophora abbreviata*, *L. flabellata*, 2 – *Nitzschia tenuirostris*, 3 – *Neosyndra provincialis*, 4 – *Striatella unipunctata*, 5 – *Tabularia fasciculata*, 6 – Прочие виды

по численности и биомассе вносят 5 видов: *A. hyalina*, *A. ostrearia*, *Navicula ramosissima*, *N. hybrida* f. *hyalina*, *N. tenuirostris*. Средние значения численности варьировали от  $8,0 \cdot 10^3$  до  $32,5 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , по биомассе от 0,008 до 0,052 мг $\cdot$ см $^{-2}$ , индексов видового разнообразия от 0,79 до 1,27 и выравненности Пиелу от 0,64 до 0,88 (см. табл. 2).

Таким образом, исследования эпилитона Карантинной бухты за период 2007 – 2008 г.г. позволили установить сезонную изменчивость количественных значений численности и биомассы диатомовых водорослей, проследить сезонную смену видов, выявить виды доминанты и идентифицировать таксономическую принадлежность 81 вида. Температура воды в бухте изменялась от 6 до 26°C. Численность варьировала от  $7,0 \cdot 10^3$  до  $92,0 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ см $^{-2}$ , биомасса от 0,008 до 0,189 мг $\cdot$ см $^{-2}$ , обилие видов - от 17 до 37, индекс видового разнообразия Шеннона – от 0,73 до 1,27 и выравненность видов в сообществе Пиелу – от 0,52 до 0,88. Максимальные значения видового бо-

гатства и его выровненности были отмечены в летне-осенний периоды и в феврале месяце. При этом наибольшие величины биомассы зарегистрированы в апреле, при температуре воды 12°C, а численность – в июне при 19°C. Минимальные значения N и В отмечены в ноябре при температуре 12°C (после сильного шторма).

Биомасса круглогодично встречающихся видов ежемесячно составляла от 25% (сентябрь, 2008 г.) до 83% (апрель, 2008 г.) от общей. В октябре (2007 г.) биомасса *Amphora hyalina* составила 60%, в декабре того же года биомасса *L. abbreviata* составила 90%. В феврале *Tabularia fasciculata* – 38%, в марте *L. flabellata* – 32% 2008 г.. В апреле 2008 г. биомасса трех колониальных видов (*L. abbreviata*, *L. flabellata* и *Striatella unipunctata*) составляла 66% от общей.

**Заключение.** В эпилитоне Карантинной бухты за период исследования с сентября 2006 г. по октябрь 2008 г. выявлено 96 видов и внутри видовых таксонов диатомовых водорослей, которые

относятся к трем классам, 14 порядкам, 26 семействам и 43 родам. Наиболее многочисленными были диатомовые водоросли, принадлежащие к двум семействам Bacillariaceae (20 видов из 6 родов) и Naviculaceae (10 видов из 4 родов). Наибольшим видовым разнообразием отмечены роды *Nitzshia* (10 видов), *Amphora* (7) и *Licmophora* (6 видов). Выявлено 19 массовых видов, из которых 14 встречались за весь период исследования.

В развитии диатомовых водорослей отмечены три максимума, которые совпадают по численности и биомассе: два осенних и весенний (см. рис. 3). Как показывают исследования, весенний максимум значительно превосходит остальные [9].

Коэффициент флористического сходства Чекановского-Сёренсена составил 0,87, что свидетельствует о высокой степени межгодового сходства видов и о постоянстве основного состава диатомовых водорослей эпилитона бухты на глубине 0,5 м.

Анализ данных многолетних исследований эпилитона Карантинной бухты на глубине 0,5 м [1,3,10], показывает, что различия в варьировании численности, биомассы и видов-доминант диатомовых водорослей, связано с динамикой абиотических и биотических факторов этих лет, которые в свою очередь отражаются на их сезонной вегетации, видовом разнообразии и количественном развитии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли микрофитобентоса твердых грунтов прибрежных районов Севастопольской бухты (Черное море) / Л.И. Рябушко // Альгология. – 1994. – Т. 4, №. 2 – С. 15–21.
2. Куфтаркова Е.А., Родионова Н. Ю., Губанов В. И., Бобко Н. И. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья // Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и мировом океане – Керчь 2008. – С. 110–117. – (тр. ЮГНИРО; Т. 46).
3. Ли Р.И., Рябушко Л.И. Сезонная динамика видового состава и количественных характеристик диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты в зависимости от температуры воды в Чёрном море // Системы контроля окружающей среды – 2010: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. семинара – Севастополь, 2010 – С. 215–221.
4. 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: сб. науч. тр. НАН Украины, МГИ, ОФ ИнБЮМ. – Севастополь, 2003. – Вып. 2 (7). – С. 144–154.
5. Graham A.A., McCaughan D.J., McKee F.S. Measurement of surface area of stones // Hydrobiologia. – 1988. – Vol. 157, N 1. – P. 85–87.
6. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication – Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. – 125 p.
7. Pielou E.C. The measurement of diversity in different types of biological collections // J. Theor. Biol. – 1966. – N 13. – P. 131–144.
8. Ли Р.И., Рябушко Л.И. Сравнительный анализ диатомовых водорослей эпилитона Карантинной бухты Чёрного моря (Украина) за двухгодичный период изучения // Актуальные проблемы современной альгологии: тез. докл. IV междунар. конф. (Киев, 23–25 мая 2012). – Киев, 2012. – С. 166–167.
9. Кучерова З.С. Динамика численности и биомассы диатомовых водорослей в ценозе обрастаний // Биология моря. – 1975. – Вып. 35. – С. 67–73.
10. Ковальчук Ю.Л., Неврова Е. Л., Шалаева Е.А. Диатомовые обрастания твердых субстратов. М.: Т – во науч. изд. КМК, – 2008. – 174 с.