

УДК 582.261.1:556.028 + 569.5(262.5)

ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В БАССЕЙНАХ С МОРСКИМИ МЛЕКОПИТАЮЩИМИ

Смирнова Л.Л.¹, Бабич И.И.², Аннинская И.Н.²

¹НИИЦ «Государственный океанариум», Севастополь, Украина

²Институт биологии южных морей им. А.О.Ковалевского НАН Украины, Севастополь, Украина
E-mail: inik48@inbox.ru

Проведено сравнительное изучение видового и количественного состава доминирующих видов и родов микроводорослей, развивающихся в естественной и хлорированной морской воде бассейнов с дельфинами афалина (*Tursiops truncatus ponticus* Varabash 1940). Показана сезонная динамика нарастания биомассы бактериально-водорослевого обрастания стенок бассейна при содержании дельфинов в естественной морской воде.

Ключевые слова: дельфины афалина, бассейновое содержание дельфинов, естественная морская вода, хлорированная морская вода.

ВВЕДЕНИЕ

В океанариумах и дельфинариях Украины морские млекопитающие содержатся в бассейнах, заполненных естественной или искусственной морской водой. В процессе жизнедеятельности животных в воде бассейна накапливаются неорганические соединения азота и фосфора, растворенное органическое вещество, наблюдается активный процесс образования взвеси [1]. В результате замедленного водотока и накопления биогенных элементов в бассейнах создаются условия, благоприятные для развития микроводорослей, что ухудшает качество воды. Альгофлора развивается не только в толще воды, на стенках и дне бассейна, но и на кожных покровах морских животных. Исследования, проведенные в бассейнах с естественной черноморской водой в Карадагском заповеднике и Государственном океанариуме (б. Казачья, г. Севастополь), показали, что в составе микроальгофлоры кожных покровов дельфинов афалин доминируют представители отдела Bacillariophyta [2, 3]. Отмеченные виды диатомей широко распространены на открытых прибрежных участках Черного моря [4].

Для обеззараживания воды в бассейнах и борьбы с развитием микроводорослей используют различные физико-химические методы обработки воды, которые не вредят здоровью морских млекопитающих. К таким методам относятся ультрафиолетовое и ультразвуковое облучения, хлорирование и озонирование морской воды, добавление в воду бассейнов биоцидных соединений серебра [5–7], использование нетоксичного бесцветного тонкослойного покрытия на основе перхлорвинилового полимера и соединений хлора [8]. В бассейнах большинства океанариумов Украины чаще всего используется метод хлорирования естественной

или искусственной морской воды. При замкнутом цикле циркуляции воды в бассейне, хлорирование проводят с помощью специальных установок для электролизного хлорирования морской воды [9], или более простым методом - периодическим добавлением в воду определенного объема концентрированного раствора гипохлорита натрия. При хлорировании концентрация активного хлора в воде бассейнов, не должна превышает 0,3–0,8 мг/л, что считается безопасным для здоровья дельфинов.

Однако, исследованиями [10] показано, что при концентрации активного хлора 0.3–1.0 мг/л микроводоросли не погибают. Адаптация микроводорослей в хлорированной воде сопровождается изменениями в фотосинтезирующем аппарате и замедленным развитием. Поэтому на стенках бассейна и частичках взвеси постепенно формируется бурая пленка микроводорослей и бактерий, которые способны сохраняют жизнедеятельность при повышении концентрации активного хлора до 7–8 мг/л [11]. Представляет интерес сравнить видовой состав микроводорослей в бассейнах с естественной и хлорированной морской водой, которая обогащена органическими и неорганическими соединениями азота и фосфора.

Цель работы – изучить сезонную динамику биомассы микрообрастания стенок бассейна с естественной морской водой и показать влияние водообмена и хлорирования на количественный и видовой состав микроводорослей-доминантов в толще воды бассейна с дельфинами афалина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Микроальгофлору изучали в бассейнах с естественной морской водой (Государственный океанариум, б. Казачья, г. Севастополь) и хлорированной морской водой (пгт Партенит, г. Ялта). В бассейне (водоизмещение 1800 м³) с естественной морской водой ежедневно обновлялось 20–25 % ее объема путем подачи свежей морской воды через патрубки, расположенные на дне бассейна. Полную замену воды, очистку стенок и дна бассейна проводили через каждые 15 сут. В бассейне (водоизмещение 1200 м³) с хлорированной морской водой, циркулирующей без замены в течение 2–3 мес, концентрацию активного хлора поддерживали в пределах 0.3–0,5 мг/л.

Для изучения видowego состава микроводорослей в бассейнах, пробы отбирали с трех горизонтов – поверхностного (0.2 м), придонного (8.0 м) и промежуточного (1.5 м) – в период с марта по июль 2004, 2005 и 2008 г.г., при температуре воды в бассейне 14–18 °С. Пробы концентрировали на воронке обратной фильтрации с использованием нуклеопоровых фильтров, диаметр пор 1 мкм [12]. Всего обработано 40 проб из бассейна с хлорированной морской водой и 80 – из бассейна с естественной морской водой. Идентификацию микроводорослей до вида или рода проводили по [4].

Микрообрастание в бассейне с естественной морской водой изучали на стеклянных пластинках размером 5x10 см (площадь обрастания 100 см²). Такие же пластинки выставляли в море на глубине 1,5 м в районе прибрежных вольеров с афалинами (постановку и снятие пластинок проводили одновременно с заполнением и сменой воды в бассейне). Биомассу бактериально-водорослевого обрастания определяли гравиметрически после подсушивания фильтровальной

бумагой оброста, снятого с пластинки. Кроме того, в зимний и летний сезоны, в момент полной замены воды в бассейне, определяли биомассу микрообрастания, снятого со стенок бассейна (площадь участков 1 м²).

В суспензии, приготовленной в 10 мл стерильной морской воды и 0.5–1.0 г бактериально-водорослевого обрастания, определяли численности гетеротрофных бактерий (ГБ) и диатомовых водорослей (ДВ). Численность ГБ определяли методом глубинного посева в плотную белково-агаровую среду [13]. Численность диатомей определяли прямым счетом в камере Горяева с использованием светового микроскопа «Биолам» [14]. Сезонную динамику нарастания биомассы бактериально-водорослевого обрастания в море и бассейне с естественной водой изучали в течение 2005–2007 г.г.

Исследования проводили при содержании в бассейнах двух и трех животных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При содержании в бассейне нескольких дельфинов происходит обогащение воды метаболитами животных [15]. Постоянное присутствие в воде неорганических соединений азота (аммония, нитритов, нитратов) и фосфора, замедленный водообмен и температурный режим создают благоприятные условия для развития микроводорослей, бактерий и простейших в толще воды, на взвеси, дне и стенках бассейна. Споры и единичные клетки микроводорослей попадают в бассейн из остатков бактериально-водорослевого обрастания, поступают с морской водой при заполнении бассейна. За весь период наблюдений определены микроводоросли, относящиеся к отделам: Bacillariophyta – 9 видов, 8 родов; Ruggophyta – 2 вида, 5 родов; Chrysophyta – 1 вид, 1 род. В таблице 1 приведен видовой и количественный состав доминирующих микроводорослей, развивающихся как в естественной, так и в хлорированной морской воде бассейнов.

2.1. Бассейн с естественной морской водой

Вегетация микроводорослей в толще воды и на стенках бассейна особенно активна в период с мая по октябрь. В промежуточном (1,5 м) и поверхностном слоях воды встречались одинаковые по видовому составу ассоциации ДВ. В основном это представители родов *Amphora*, *Navicula*, *Nitzschia*. Однако плотность клеток диатомей характеризовалась выраженной стратификацией по глубинам. В поверхностном слое численность ДВ изменялась от $4.5 \cdot 10^6$ до $7.5 \cdot 10^6$ кл/мл, что в 5–10 раз выше, чем в придонном слое и толще воды (табл. 1).

На численность и состав микрофлоры большое влияние оказывал водообмен в бассейне. При его отсутствии в течение нескольких недель, происходило “цветение” воды. Массовыми видами, вызвавшими “цветение” воды в бассейне, оказались нитчатые ДВ. Длина цепочек представителей некоторых видов рода *Synedra* достигала 100–165 мкм. Численность доминирующей водоросли *Skeletonema costatum* возрастала до $1.1 \cdot 10^9$ кл/л. В придонном слое воды появились динофлагелляты и коколитофориды, их численность достигала 50–210 кл/л. Представители родов *Gymnodinium* и *Gyrodinium*, отмеченные в бассейне, относятся к мелким теневым формам динофлагеллят, которые способны питаться бактериями и частицами детрита [16]. В суспензии детритного осадка (на глубине 8 м)

ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ...

доминировали представители только 4 видов диатомей (табл. 1). Длина цепочек некоторых видов рода *Synedra* возростала и достигала 138–188 мкм.

Таблица 1
Микрофлора бассейнов с морскими млекопитающими (весенний сезон)

Характеристика среды в бассейне	Характер водообмена	Место отбора пробы	Доминирующие роды и виды микроводорослей	Плотность клеток
1	2	3	4	5
Естественная морская вода с 2 – 3 дельфинами	Полная замена воды каждые 7 суток	Стенка бассейна	Bacillariophyta: <i>Synedra fasciculata</i> (Ag.) Kutz. <i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.)	$9,6 \cdot 10^5$ кл/м ²
Естественная морская вода с 2 – 3 дельфинами	Полная замена воды каждые 7 суток	Толща воды и придонный слой бассейна	Bacillariophyta: <i>Amphiprora</i> sp. <i>Amphora</i> sp. <i>Navicula</i> Bory. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Stauroneis constricta</i> (Ehr.) Cl. <i>S. fasciculata</i> (Ag) Kutz. <i>T. nitzschioides</i> (Grun.)	$\Sigma 1,0 \cdot 10^6$ кл/л
Хлорированная морская вода с 2 дельфинами	Циркуляция морской воды в течение нескольких месяцев	Толща воды	Bacillariophyta: <i>Amphora</i> sp. <i>Navicula</i> Bory. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Thalassiosira parva</i> Pr-Lavr. Dinophyta: <i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenf.) Dodge <i>Glenodinium</i> sp.	2,5 – $3,0 \cdot 10^4$ кл/л
Естественная морская вода, без животных	Застойные условия, отсутствие протока и замены воды в течение 4 недель	Толща воды	Bacillariophyta: <i>Achnanthes breviper</i> Ag. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl. <i>Synedra</i> sp. <i>S. fasciculata</i> (Ag) Kutz. <i>T. nitzschioides</i> (Grun.) Dinophyta: <i>Oxytoxum</i> sp. <i>Gymnodinium</i> sp. <i>Gyrodinium pinque</i> Swery (Schutt) Kofoid & Swery Chrysophyta: <i>Coccolithus</i> sp.	$\Sigma 2,3 \cdot 10^9$ кл/л
		Придонный слой бассейна	Bacillariophyta: <i>Navicula</i> sp. <i>S. costatum</i> (Grev.) Cl. <i>S. fasciculata</i> (Ag) Kutz. <i>T. nitzschioides</i> (Grun.)	$\Sigma 4,2 \cdot 10^9$ кл/л

На стенках бассейна, как и на любой твердой поверхности в море, развивается устойчивая пленка микрообрастания [13]. Биомассу микрообрастания формируют ГБ и ДВ, продуцирующие вещества полисахаридной природы. Численность ГБ – основных биодеструкторов органического вещества, в микрообрастании пластин как в море, так и в бассейне, примерно одного порядка (табл. 2).

Таблица 2
Характеристика микрообрастания стеклянных пластин в различных экологических условиях (экспозиция – 7 сут)

Время отбора проб	Море			Бассейн		
	Влажная биомасса, г/м ²	Гетеротрофы, кл/м ²	Диатомей, кл/м ²	Влажная биомасса, г/м ²	Гетеротрофы, кл/м ²	Диатомей, кл/м ²
Август 2005 г.	25.0±8.5	2.8·10 ⁸	2.4·10 ⁷	3.8±0.9	2.5·10 ⁸	3.6·10 ⁶
Октябрь 2005 г.	30.3±6.5	3.4·10 ⁷	4.3·10 ⁷	3.9±1.1	2.6·10 ⁷	5.0·10 ⁵
Январь 2006 г.	19.0±5.1	8.1·10 ⁹	8.1·10 ⁹	1.4±0.4	5.8·10 ⁸	4.9·10 ⁶

Однако численность ДВ в микрообрастаниях, развившихся в различных экологических условиях, значительно отличалась. В бассейне она в 100–1000 раз ниже, чем в море (см. табл.2). По-видимому, одним из факторов, лимитирующим развитие диатомей в бассейне, является недостаток солнечного света, проникающего в толщу воды. Недостаток освещения особенно чувствителен в зимний период, когда наблюдалась максимальная разница в численности диатомей, составляющих основную долю биомассы микрообрастания. Динамика биомассы обрастания стенок бассейна в течение одного цикла после его заполнения естественной морской водой приведена в Табл.3.

Таблица 3
Биомасса бактериально-водорослевого обрастания стенок бассейна (в присутствии 2 дельфинов)

Время после замены морской воды в бассейне, сут	Сухая биомасса, г / м ²	
	Зима, T _{воды} (14–16)°C	Лето, T _{воды} (16–18)°C
1	0.07 ± 0.01	0.19 ± 0.07
3	0.13 ± 0.04	0.27 ± 0.09
5	0.12 ± 0.04	0.34 ± 0.11
10	0.36 ± 0.12	0.48 ± 0.17
15	0.45 ± 0.18	0.67 ± 0.24

Биомасса значительно возрастала в течение первых и последних суток после замены воды в бассейне. Влажная биомасса оброста стенок бассейна, несмотря на недостаток солнечного света, может достигать 5.0 г/м^2 в зимний период и возрастать до $7.0 - 10.0 \text{ г/м}^2$ летом.

2.2. Бассейн с хлорированной естественной морской водой

В хлорированной воде, циркулирующей в бассейне без замены в течение нескольких месяцев, наблюдалось перераспределение концентраций окисленных и восстановленных соединений азота. В бассейне с животными отмечено [1] высокое содержание фосфатов ($1.3-3,0 \text{ мг/л}$) и преобладание нитратов – окисленной формы азота. Качественные и количественные изменения в составе биогенных соединений и присутствие сильного окислителя – активного хлора (до $0,5 \text{ мг/л}$), оказали влияние на качественный и количественный состав микроводорослей (см. табл. 1). Плотность клеток диатомей уменьшилась в 100 раз по сравнению с естественной морской водой, наблюдалось снижение количества доминирующих видов ДВ. В водной толще по численности доминировали представители родов *Amphora* и *Nitzschia* (до 7.5×10^3 кл/л), количество клеток рода *Navicula* достигало $2,5 \times 10^3$ кл/л. Нитчатые формы ДВ не обнаружены. Среди доминирующих видов микроводорослей, кроме диатомей, отмечены представители пиррофитовых (отдел *Pyrrophyta*) и мелких жгутиковых водорослей, размер клеток которых не превышал $5-10 \text{ мкм}$.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что в бассейнах с морскими животными создаются благоприятные условия (температурный режим, непроточная или слабопроточная вода, оптимальные концентрации биогенных элементов) для развития сообществ микроводорослей как на стенках бассейна, так и в толще воды.
2. В микроальгофлоре бассейнов с естественной морской водой преобладали представители отдела Bacillariophyta. В обрастании стенок бассейна и донном детритном осадке доминировали некоторые виды родов *Synedra*, *Achnantes*, встречались цепочечные формы диатомей.
3. В хлорированной морской воде, при остаточной концентрации активного хлора $0.3-0.5 \text{ мг/л}$, численность клеток микроводорослей снижалась в $100-200$ раз по сравнению с естественной морской водой, цепочечные формы диатомей не встречались, появлялись мелкие жгутиковые водоросли.
4. Биомасса бактериально-водорослевого обрастания стенок бассейна в зависимости от сезона в $100-1000$ раз ниже, чем в море. Однако в летний период она может достигать $0.5-0.8 \text{ г сухого веса /м}^2$, что значительно снижает качество среды обитания афалин.

Список литературы

1. Смирнова Л.Л. Формирование среды обитания черноморской афалины (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash 1940) при бассейновом содержании в естественной и хлорированной морской воде / Л.Л. Смирнова // Морские млекопитающие голарктики: сб. научн. трудов по материалам 6 междунар. конф., 11 – 15 октября 2010 г. Калининград:Терра Балтика, 2010. – С 530 – 534.

2. Рябушко Л.І. Діатомові обростання чорноморських дельфінів-афалін /Л.І.Рябушко, Е.Б. Гольдін, В.С. Плебанський //Матеріали ІХ з'їзду Укр. ботан. товариства.: – К.: Наук. думка, 1992. – С.402 – 403.
3. Рябушко Л.И. Микроводоросли кожних покровов чорноморських дельфінів-афалін и мест их обитания / Л.И. Рябушко // Морські біотехнічні системи. – 2002. - вип.2. – С.188 – 203
4. Гусяков Н.Е. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов / Н.Е. Гусяков, О.А. Закардонцев, В.П. Герасимюк – К.: Наук. думка, 1992. – 110 с.
5. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Ч.1. / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский – К.: Наук. думка, 1980. – 680 с.
6. Gewalt W. Ultraviolet sterilization of water in pool for tonina (*Inia Geoffrensis*). A preliminary report / W. Gewalt // Aquatic Mammals – 1977. – V. 5, No 3. – P. 69 – 71.
7. Van der Toorn J.D. A biological approach to dolphinarium water purification: I. Theoretical aspects / J.D. Van der Toorn // Aquatic Mammals – 1987. – V. 13, No 3. – P.83 – 92.
8. Клей против обрастания и ржавчины // Изобретатель и рационализатор – 1974. – №8. – С.9 – 12.
9. Якубенко А.Р. Критерии и технологические параметры защиты от обрастания электролизным хлорированием морской воды / А.Р. Якубенко, И.Б. Щербакова, Л.А. Якубенко // Технология судостроения, 1981. – №10. – С.120 – 123.
10. Саркисова С.А. Влияние свободного хлора на фотосинтез и состояние пигментной системы морских планктонных водорослей / С.А. Саркисова, И.А. Скринник // Гидробиол. журн. – 1988. – 21, № 4. – С. 4 – 8.
11. Георга-Копулос Л.А. Использование ИК-спектроскопии при изучении действия активного хлора на морскую воду и сообщество перифитонных микроорганизмов / Л.А. Георга-Копулос, Л.Л. Смирнова // Гидробиол. журн. – 1999 – Т. 35, №3. – С. 71 – 76
12. Сорокин Ю.И. К методике концентрирования проб фитопланктона // Гидробиол. журн.- 1979.- №15.- С. 71 -76.
13. Горбенко Ю.А. Экология морских организмов / Ю.А. Горбенко – К.: Наук. думка, 1972. – 256с.
14. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. – К.: Наук. Думка, 1976. – С. 31 – 33.
15. Смирнова Л.Л. Выбор оптимального режима водообмена при бассейновом содержании морских млекопитающих /Л.Л. Смирнова, Е.П. Башинский // Морські біотехнічні системи. – 2002. – вип.2. – С.208 – 214.
16. Сорокин Ю.И. Черное море / Ю.И. Сорокин – М.: Наука, 1982. – С.43 – 80.

Смирнова Л.Л. Видовий склад і розподіл мікроводоростей в басейнах з морськими ссавцями / Л.Л. Смирнова, І.І. Бабич, І.М. Аннінська // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 254-260.

Проведено порівняльне вивчення видового і кількісного складу домінуючих видів і родів мікроводоростей, що розвиваються в природній і хлорованій морській воді басейнів з дельфінами афаліна (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash 1940). Показана сезонна динаміка наростання біомаси бактеріально-водоростевого обростання стінок басейну при утриманні дельфінів у природному морському середовищі.
Ключові слова: дельфіни афаліна, басейн для утримання морських ссавців, природна морська вода, хлорована морська вода.

Smyrnova L.L. Species composition and distribution of algae in the pools with marine mammals / L.L. Smyrnova, I.I. Babeech, S.N. Anninskaja // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 2. – P. 254-260.

A comparative study of species and quantitative compositions of dominant species and genera of algae growing in natural and chlorinated seawater in pools with bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash 1940) was conducted. The seasonal dynamics of bacterial-algal microfouling biomass developed on the walls of the pool with dolphins in natural seawater shows.

Keywords: bottlenose dolphins, pools for the content of marine mammals, natural seawater, chlorinated seawater.

Поступила в редакцію 18.05.2011 г.