ЭКОМОНИТОРИНГ ГОДОВОЙ ДИНАМИКИ СОСТАВА И БИОМАССЫ ПЕРИФИТОНА ПРИБРЕЖНОГО МЕЛКОВОДЬЯ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Н.А. Андреева

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: andreeva.54@list.ru

Приведены результаты исследования перифитонных сообществ на стёклах обрастания в прибрежной акватории одной из бухт севастопольского региона. Определена частота встречаемости и доминирующие формы микроводорослей и цианобактерий в этих сообществах в течение 2017–2019 годов. Выявлено, что количество форм, одновременно встречающихся в образцах перифитона в течение 3-х лет, колебалось от 9 до 18, от 18 до 24 и от 17 до 26 единиц в 2017, 2018 и 2019 годах соответственно. Как и во всей экосистеме Чёрного моря, в перифитоне были широко представлены диатомовые водоросли, а также цианобактерии. Было показано влияние температуры на накопление биомассы перифитона.

Ключевые слова: перифитонные сообщества, Чёрное море, стёкла обрастания, микроводоросли, цианобактерии, биомасса обрастания.

Поступила в редакцию: 06.03.2020. После доработки: 17.04.2020.

Введение. Фитоперифитон наряду с фитомикробентосом играют особую роль в жизни водоемов. Прежде всего, они принимают участия в процессах биологического самоочищения и формирования качества вод. Особенно актуально это в прибрежной зоне моря [1].

Микрофиты перифитона способствуют также формированию кислородного режима прибрежных вод, играют важную роль в образовании слизистой пленки, являющейся начальной стадией обрастания. Такое влияние определяется таксономическим и функциональным многообразием, большой активностью метаболических процессов, а также высокими показателями обилия.

К перифитонным микрофитам относятся водоросли и цианобактерии, которые произрастают на различных твердых субстратах, как искусственных, так и естественных. Данные организмы удалены от дна, поэтому по сравнению с донными формами живут в иных световых, температурных и трофических режимах. Они прикрепляются к субстрату при помощи специальных органов (подожвы, стопы, слизистых тяжей) или слизистой поверхностью таллома. Именно поэтому

изучение биоразнообразия перифитонных сообществ в настоящее время является одним из главных приоритетов исследований как в биологии, наряду с биотехнологией и устойчивой агрокультурой, так и в биогеографии. Анализ биологического разнообразия может быть достаточно эффективным средством мониторинга качества окружающей среды.

В состав перифитона входят водоросли из различных систематических групп. Среди микрообрастателей, образующих первичную пленку, широко распространены диатомовые водоросли, а также некоторые виды цианобактерий [2]. В результате проведенных ранее исследований [3] было установлено, что доминирующими формами являлись представители диатомовых водорослей, принадлежащих к родам *Coscinodiscus*, *Licmophora*, *Entomoneis*, *Amphora*, *Thalassionema*, часто присутствовали *Striatella* и *Achnanthes*. Как и во всей экосистеме Чёрного моря в перифитоне эти микроводоросли были широко представлены. Среди цианобактерий доминировали представители осцилляториевых и порядка *Nostocales*, относящиеся к родам: *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*

(порядок Oscillatoriales), *Anabaena*, *Calothrix*, *Tolypothrix* (порядок Nostocales), а также род *Microcystis* (порядок Chroococcales).

Перифитонные водоросли наряду с другими литоральными сообществами способны аккумулировать биогенные элементы и загрязняющие вещества. Кроме того, водоросли и цианобактерии перифитона являются продуцентами органического вещества и кормом для других гидробионтов. Это природный биофильтр водоемов [4].

Высокое видовое разнообразие перифитона, как правило, соответствует благополучному состоянию данной экосистемы. Поэтому перифитонным организмам часто отдается предпочтение при биологической индикации качества поверхностных вод, позволяя судить о среднем загрязнении их за определенный промежуток времени, предшествующий исследованию [5]. Однако до настоящего времени перифитон остается одним из наименее изученных компонентов континентальных вод.

Целью данного исследования было определение динамики состава и биомассы перифитона на стеклах обрастания в прибрежном мелководье сева-стопольского региона.

Материалы и методы. Перифитон изучали методом «стекла обрастания» (рис. 1).

Три стекла (размер 25x75 мм) закрепляли в силиконовой трубке с прорезами на расстоянии 50 мм друг от друга. Первое стекло погружали на глубину 100 мм. Микроводоросли и цианобактерии перифитона исследовали микроскопированием в суспензии соскобов. Погружение и выемку стекол из воды проводили ежемесячно.

Микроскопирование прижизненных препаратов осуществлялось с использованием светового микроскопа при увеличении $\times 400$. Фотографирование объектов проводилось при помощи цифровой насадки биологического микроскопа Levenhuk 740T с использованием компьютерной программы Levenhuk TouView и

дальнейшей обработкой изображений в программе Adobe Photoshop CS3 Extended. Таксономическую принадлежность микроводорослей устанавливали при помощи определителей [6–10].

Рис. 1. Стекла обрастания для исследования перифитона

Fig. 1. Fouling glasses for the study of periphyton

Полученные результаты. В течение 2017–2019 гг. проводились исследования перифитонных сообществ в акватории прибрежного мелководья сева-стопольского региона. В течение трех лет было выявлено 38 форм микроводорослей и цианобактерий. С cyanobacteria включали 9 форм, 22 принадлежали к отделу Bacillariophyta, представителями Chlorophyta и прочих нитчатых форм являлись 4 таксономические единицы. Отдел Dinophyta был представлен несколькими формами, а еще две группы организмов имели неясное систематическое положение.

Определение частоты встречаемости по годам различных форм показало, что в обрастаниях стекол абсолютными доминантами (частота встречаемости 100%) в 2017 г. были диатомовые водоросли рода *Pinnularia* и зеленые нитчатые формы. В 2018 г. список доминирующих форм дополнили диатомовые ро-

дов *Amphora*, *Licmophora*, *Navicula*, *Nitzschia*, и цианобактерии рода *Spirulina*. В 2019 г. лидировали диатомовые *Navicula*, *Pinnularia*, *Licmophora*, зеленые нитчатые формы и цианобактерии порядка *Oscillatoriales*.

Кроме того, в зависимости от времени года в перифитоне в течение трех лет были также широко представлены диатомовые родов *Achnanthes*, *Bacillaria*, *Cocconeis*, *Coscinodiscus*, *Cylindrotheca*, *Cymbella*, *Desmogonium*, *Melosira*, *Nitzschia*, *Talassionema* и *Striatella* (встречаемость 70–100%) и некоторые представители динофитовых водорослей.

Встречаемость микроводорослей и цианобактерий по месяцам в течение каждого года различалась.

Так, в феврале 2017 г. лидирующими были крупные формы родов *Achnanthes*, *Licmophora* и *Striatella*. Представители других микроводорослей встречались редко. В марте и апреле наблюдалось увеличение биоразнообразия (в основном диатомовых). По-прежнему здесь доминировали *Licmophora* и *Striatella*, но количество *Achnanthes* значительно уменьшилось и в апреле он обнаруживался только в виде отдельных клеток. В то же время более часто встречались такие диатомовые, как *Talassionema* и *Desmogonium*. Цианобактерии в течение зимнего и весеннего периодов в перифитонных сообществах бухты обнаружены не были. В мае, по неизвестной причине, уменьшалось видовое разнообразие и доминировала только *Striatella*. Однако, начиная с этого месяца в обрастании появились цианобактерии – в основном представители порядка *Oscillatoriales* (*Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Spirulina*) и некоторые другие. В июне доминирующими были диатомовые *Licmophora* и *Pinnularia*, а в июле – еще и *Nitzschia*. Она также являлась основным компонентом перифитонных сообществ в августе. В сентябре, как и в феврале, вновь доминировали диатомовые рода *Achnan-*

thes, а также цианобактерии порядка *Oscillatoriales*. *Striatella* встречалась редко, а *Licmophora* полностью отсутствовала. В октябре и ноябре основными компонентами перифитона были диатомовые *Cocconeis* и *Cymbella*. Динофитовые водоросли (*Dinophyta*) в течение 2017 г. в перифитоне не обнаруживались.

В 2018 и 2019 гг. в холодный период с января по март при температуре воды 4,5–7,5°C доминирующими, как и в 2017 г. были диатомовые водоросли родов *Achnanthes*, *Licmophora*, *Striatella* и *Melosira*. В июне лидировали представители рода *Talassionema*, а в августе – *Coscinodiscus*. В остальные месяцы четкой доминанты не выявлено. В 2018 и 2019 гг. в перифитоне стёкол обрастания обнаружены формы, не встречающиеся в 2017 г.: диатомовые родов *Bacillaria*, *Rhizosolenia*, *Grammatophora* и *Tabellaria*, эвгленовые водоросли, а среди цианобактерий – представители родов *Chroococcidiopsis*, *Microcystis*, *Cyanosarcina* и *Limnothrix*. Кроме того, в 2018–2019 гг. цианобактерии обнаруживались в пробах на протяжении всего периода исследования с января по ноябрь. В течение этого времени в перифитоне в небольшом количестве отмечались также представители динофитовых водорослей. Различия состава обрастаний стекол в зависимости от глубины их погружения являлись незначительными.

Было показано, что количество форм, одновременно встречающихся в образцах перифитона в течение трех лет колебалось от 9 до 18, от 18 до 24 и от 17 до 26 единиц/см² в 2017, 2018 и 2019 гг. соответственно. Максимальное количество форм в 2017 г. было выявлено в июне и июле (18 и 17 соответственно), в 2018 г. – в августе и октябре (23 и 24 соответственно), в 2019 г. – в феврале и октябре (по 26 форм). В целом, тенденция к увеличению альгологического разнообразия прослеживалась в тёплое время года (рис. 2).

Рис. 2. Биоразнообразие микроральгофлоры перифитона. Обрастания на стеклах. 2017–2019 гг. ■ – 2017 г.; ■ – 2018 г.; ■ – 2019 г.

Fig. 2. Biodiversity of microalgal flora periphyton.

Fouling on glasses. 2017–2019

■ – 2017 year; ■ – 2018 year; ■ – 2019 year

Некоторые микроводоросли и цианобактерии перифитонных сообществ на

стёклах обрастания, установленных в прибрежной зоне, показаны на рис. 3.

Рис. 3. Микроводоросли и цианобактерии перифитона стёкол обрастания. 2017–2019 гг.
1 – *Microcystis*; 2 – *Cyanosarcina*; 3–5 – *Oscillatoriales*; 6 – *Spirulina*; 7 – *Navicula*; 8 – *Nitzschia*; 9 – *Pinnularia*; 10 – *Amphora*; 11 – *Cymbella*; 12 – *Bacillaria*; 13, 14 – *Pleurosigma*; 15 – *Cocconeis*; 16 – *Thalassionema*; 17 – *Licmophora*; 18 – *Striatella*; 19 – *Achnanthes*; 20 – *Coscinodiscus*; 21 – *Melosira*; 22 – зеленые нитчатые; 23, 24 – *Dinophyta*; 25 – лентообразные

Fig. 3. Microalgae and cyanobacteria of periphyton of fouling glasses. 2017–2019

1 – *Microcystis*; 2 – *Cyanosarcina*; 3–5 – *Oscillatoriales*; 6 – *Spirulina*; 7 – *Navicula*; 8 – *Nitzschia*; 9 – *Pinnularia*; 10 – *Amphora*; 11 – *Cymbella*; 12 – *Bacillaria*; 13, 14 – *Pleurosigma*; 15 – *Cocconeis*; 16 – *Thalassionema*; 17 – *Licmophora*; 18 – *Striatella*; 19 – *Achnanthes*; 20 – *Coscinodiscus*; 21 – *Melosira*; 22 – green filamentous; 23, 24 – *Dinophyta*; 25 – ribbon-like

В течение всего периода исследования на стёклах обрастания ежемесячно определялись воздушно-сухая масса пе-

рифитона и параллельно – температура воды. Результаты представлены на рис. 4.

Рис. 4. Динамика массы обрастаний на стеклах в поверхностном слое воды (средние значения) (А) и температуры воды (Б). 2017–2019 гг.

■ – 2017 год; ■ – 2018 год; ■ – 2019 год

Fig. 4. Dynamics of the mass of fouling on glasses in the surface water layer (average values) (A) and water temperature (B). 2017–2019

■ – 2017 year; ■ – 2018 year; ■ – 2019 year

Как видно из рис. 4А, максимальное среднее значение массы обраста в 2017 г. было отмечено в августе, а минимальное – в октябре-ноябре. В 2018 г. накопление биомассы являлось более значительным, максимального количества она достигала также в августе, а минимум приходился на апрель. В 2019 г. максимум биомассы был отмечен в июле, а минимум – в мае. Наибольшее накопление биомассы наблюдалось на стекле, погруженном на глубину 100 мм, а наименьшее – в 200-миллиметровом слое. Такая тенденция отмечалась по месяцам в течение всего периода исследований. Годовое колебание данного показателя не зависело от количества форм, входящих в состав обрастания, но могло быть связано с размером и морфологическими особенностями обрастателей, а также являлось следствием изменения температуры воды (рис. 4Б) или наличия определенного количества биогенных веществ.

Перифитон показывал постоянное увеличение биомассы при благоприятных условиях: оптимальной солёности, достаточного количества света [11] и достаточного количества питательных веществ.

Было показано, что максимальное количество биомассы отмечалось примерно через месяц после температурного максимума.

Заключение. Таким образом, список таксонов микроводорослей и цианобак-

терий, обнаруженных в перифитоне в течение трех лет, включал 38 форм цианобактерий и эукариотических микроводорослей. К *Cyanobacteria* относилось 9 форм, 22 принадлежали к отделу *Bacillariophyta*, представителями *Chlorophyta* и прочих нитчатых форм являлись 4 таксономические единицы. Отдел *Dinophyta* был представлен несколькими формами, а еще две группы имели неясное систематическое положение. Показано, что количество форм, одновременно встречающихся в образцах перифитона в течение трех лет колебалось от 9 до 18, от 18 до 26 и от 17 до 26 единиц в 2017, 2018 и 2019 гг. соответственно. Тенденция к увеличению альгологического разнообразия прослеживалась в тёплый период года.

Представители различных родов диатомовых водорослей обнаруживались в перифитоне стёкол обрастания в течение всего периода исследования, но в зависимости от сезона доминировала та или иная форма. Развитие цианобактерий в 2017 г. выявлено только в мае, а в 2018–2019 гг. данные микроорганизмы обнаруживались в пробах на протяжении всего периода исследования с января по ноябрь.

В 2017 г. максимальная масса обраста была отмечена в августе, а минимальная – в октябре-ноябре. В 2018 и 2019 гг. (особенно в 2018 г.) накопление биомассы было более значительным, но максимального значения она достигала в

августе и июле, а минимум приходился на апрель и май соответственно. Колебания биомассы не зависели от разнообразия состава обрастателей, но могли быть связаны с морфологическими особенностями конкретных форм, а также следствием изменения температуры воды. Максимальное количество биомассы отмечалось примерно через месяц после температурного максимума. Различие по годам этого показателя возможно было связано с ежегодным изменением светового режима, а также колебанием некоторых гидролого-гидрохимических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические* указания по изучению фитомикробентоса и фитоперифитона / О.А. Ковтун, А.А. Снигирева. Одесса: Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, 2012. 36 с.
2. *Сорокин Ю.И.* Экосистемы коралловых рифов / под ред. Б.С. Соколова. М.: Наука, 1990. 502 с.
3. *Андреева Н.А.* Микроценозы в морской акватории с повышенной степенью эвтрофикации // Системы контроля окружающей среды. 2015. Вып. 2(22). С. 111–122.
4. *Перифитонные водоросли* // 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/7_4979_perifitonnie-vodorosli.html (дата обращения: 05.03.2020).
5. *Руководство* по методам гидро-биологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
6. *Кондратьева Н.В.* Синьозелені водорості – Суанophyta. Ч. 2. Клас Гормогонієві – Hormogoniophyceae: в кн. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. 1. Київ: Наукова думка, 1968. 523 с.
7. *Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П.* Синьозелені водорості – Суанophyta. Загальна характеристика синьозелених водоростей – Суанophyta. Клас Хроококові – Chroococcophyta. Клас Хамесифонові – Chamaesiphonophyceae: в кн. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. 1. Київ: Наукова думка, 1984. 388 с.
8. *Определитель* бактерий Берджи / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. М.: Мир, 1997. Т. 1–2. 799 с.
9. *Гусляков Н.Е., Загородонец О.А., Герасимюк В.П.* Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов. Киев: Наукова думка, 1992. 110 с.
10. *Гусляков Н.Е.* Итоги исследования диатомовых водорослей бентоса Черного моря и сопредельных водоемов // Экология моря. 2004. Вып. 65. С. 21–27.
11. *Arfi R., Bouv M., Luquet P.* Effects of a Seasonal Salinity Change on Periphyton Biomass in a Shallow Tropical Lagoon // Int. Revue ges. Hydrobiol. 1997. Vol. 82. P. 81–93.

ECOMONITORING OF ANNUAL DYNAMICS OF COMPOSITION AND PERIPHYTON BIOMASS OF THE COASTAL SHALLOWS OF SEVASTOPOL REGION

N.A. Andreeva

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The results of the study of periphyton communities on fouling glasses in the coastal waters of one of the bays of the Sevastopol region are presented. The frequency and prevailing forms of microalgae and cyanobacteria in these communities during 2017–2019 were determined. It was revealed that the number of forms simultaneously found in periphyton samples over 3 years ranged from 9 to 18, from 18 to 24, and from 17 to 26 units in 2017, 2018, and 2019, respectively. As in the entire Black Sea ecosystem, diatoms and cyanobacteria were widely represented in periphyton. The effect of temperature on the accumulation of periphyton biomass was shown.

Key words: periphyton communities, the Black Sea, fouling glasses, microalgae, cyanobacteria, fouling biomass.