

УДК 574.21

Наземные и водные эпифитные цианопрокариоты и водоросли и возможность их использования в оценке состояния окружающей среды

© 2016. И. Е. Дубовик, д.б.н., профессор,
М. Ю. Шарипова, д.б.н., профессор,
Башкирский государственный университет,
400076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32,
e-mail: dubovikie@mail.ru, Sharipovamy@mail.ru

В статье обсуждается возможность использования эпифитных цианопрокариот и водорослей для оценки состояния окружающей среды. Приведены результаты исследований эпифитов водных и наземных экосистем Южного Урала. Представлена таксономическая и экологическая характеристика эпифитов в речных экосистемах, в рекреационных и промышленных зонах городов, вдоль автомагистралей и на особо охраняемых природных территориях.

Ключевые слова: водоросли, цианопрокариоты, мониторинг, эпифиты.

Terrestrial and aquatic cyanoprokaryota and epiphytic algae and the possibility of their using in the environmental assessment

I. E. Dubovik, M. Yu. Sharipova,
Bashkir State University,
32 Zaki Validi st., Ufa, Russia, 450076,
e-mail: dubovikie@mail.ru, Sharipovamy@mail.ru

The article discusses the ability of using epiphytic algae and cyanoprokaryota for environmental assessment. The results of studies of epiphytes in aquatic and terrestrial ecosystems in the Southern Urals are considered. The taxonomic and ecological characteristics of epiphytes in river ecosystems and recreational and industrial areas of cities, along highways and in the territories of Protected Areas are represented. There were found 196 indicators of saprobity in water ecosystems. The saprobity indexes range from 1,1 to 2,14 in the studied rivers. Small mountain rivers (the Uzyan, the Sargaya, the Basu) and riverheads (the Belaya, the Ai) contain the purest water. Saprobity ratio is 1.1–1.4 and 1.52–1.7 respectively. Thus the water of the studied rivers belong to II and III purity classes. Epiphytic algae and cyanoprokaryots of industrial areas, along highways are characterised with a little depletion of species composition. But there are no significant changes in taxonomic structure restructuring, dominant complex as compared to the control. Thus the terrestrial epiphytic algae and cyanoprokaryots are inappropriate for bioindication use.

Keywords: algae, cyanoprokaryota, monitoring, epiphytes.

Цианопрокариоты и водоросли обладают высоким потенциалом диагностической информации. Быстрая реакция на изменение экологической ситуации, высокая чувствительность некоторых видов к различным токсикантам, а также способность их аккумулялировать делают эти организмы перспективными объектами для оценки уровней загрязнения. В связи с этим изучение возможности использования наземных эпифитных цианопрокариотно-водорослевых ценозов (ЦВЦ) в целях экологического мониторинга

не теряет актуальности. Многие исследователи отмечали уменьшение видового разнообразия цианопрокариот и водорослей при загрязнении воздуха. Так, например, при изучении влияния полиметаллического загрязнения на эпифитные ЦВЦ на загрязнённой территории выявлено 29 видов водорослей, а в фоновой зоне – 52 [1].

Некоторые исследователи отмечали довольно высокое видовое разнообразие эпифитных ЦВЦ в экотопах слабой степени нарушения, что, возможно, объясняется снижением

Таблица 1

Экологический спектр водорослей эпифитона изученных рек

Группы	Число таксонов	% от числа таксонов группы
Местообитания		
Планктонные	47	17,2
Бентосные	96	35,2
Эпифиты	102	37,3
Эвритоппные	28	10,3
Категории галобности		
Олигогалобы	207	94,5
Галофобы	20	9,1
Индифференты	148	67,6
Галофилы	39	17,8
Мезогалобы	12	5,5
Категории индикаторов рН		
Алкалифилы	86	48,9
Индифференты	73	41,5
Ацидофилы	17	9,6
Категории сапробности		
х	4	2,3
х-о	5	2,7
о	32	17,5
о-β	36	19,7
β	71	38,2
β-α, α-β, α	36	19,6

Условные обозначения: х – ксеносапробы; х-о – ксено-олигосапробы; о – олигосапробы; β – мезосапробы; α – мезосапробы.

роли типичных доминантов в водорослёвых обрастаниях [2].

Эпифитные цианопрокариоты и водоросли в водоёмах служат естественным биофильтром между водосбором и водоёмами. Виды ЦВЦ, особенно диатомовые, неподвижны или малоподвижны и поэтому отчётливо реагируют на комплекс физико-химических факторов водной среды. Это даёт возможность исследовать ответную реакцию ЦВЦ эпифитона на различные воздействия и использовать её для индикации антропогенного пресса на водные экосистемы [3 – 5]. Известно, что сообщества обрастаний отражают средний уровень гидрологического и гидрохимического режима, преобладающего в данном водоёме [6]. Нами исследована возможность использования эпифитных ЦВЦ для биомониторинга.

Исследования эпифитных ЦВЦ водоёмов на различных фитофорах проведены в реках Белая (в верхнем и среднем течении) и Ай, ряде малых рек Южного Урала, Зауралья и Предуралья. В ходе исследования была выявлена богатая в таксономическом отношении флора ЦВЦ водных эпифитов, включаю-

щая 6 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Цианопрокaryota, Xanthophyta, Euglenophyta и Chrysophyta. Наибольшим видовым богатством характеризовались диатомеи – 179 видов, составляющие 60% от общего количества видов. Порядки Raphales и Araphales доминировали по количеству видов: 143 (167 вместе с внутривидовыми таксонами) и 29 (40) соответственно. Ведущими родами среди диатомовых являлись *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Fragilaria*, *Pinnularia*, *Synedra*, *Achnanthes*, включающие соответственно 36 (44)*, 26 (28), 19 (21), 11 (13), 10 (10), 9 (14), 6 (7) видов. Представители этого отдела доминировали в эпифитоне всех рек по количеству видов. Их доля составляла от 64 до 80%, за исключением рек степной (р. Таналык) и северо-востока лесостепной зоны (р. Ай). Соответственно доля других ведущих отделов водорослей – зелёных и цианопрокариот составляла в целом по рекам 19 и 12%. А для рек Таналык и Ай соответственно 30–33% и 12–21%.

Одним из факторов, лимитирующих развитие водорослей в водоёмах, является общая минерализация. Наиболее изученными в от-

* Здесь и далее в скобках указано число видов вместе с разновидностями

ношении этого фактора являются диатомовые водоросли, часто используемые в качестве индикаторов. Положение на шкале галобности известно для 280 таксонов водорослей, почти все они, за исключением небольшой группы мезогалобов (6%), относятся к олигогалобам (табл. 1). Среди них доминируют индифференты, которые составляют 69%. Это характерно для континентальных водоёмов различных климатических зон. В основном это диатомовые из порядка Raphales (77%), на втором месте по числу таксонов находятся зелёные водоросли (10%). Водоросли других отделов в группе индифферентов представлены незначительно. Галофобы составляют самую малочисленную группу олигогалобов (10% от таксонов, для которых есть данные). Наиболее часто встречающимися являются *Tabellaria fenestrata*, а в озёрах также некоторые виды рода *Cosmarium*: *C. reniforme*, *C. humile*, *C. depressum*.

Среди индикаторов рН в эпифитоне преобладают индифференты (49%) и алкалифилы (42%). Ацидофилы представлены в основном видами пеннатных диатомей из родов *Tabellaria*, *Eunotia*, десмидиевыми из родов *Cosmarium*, *Closterium*. По биогеографии доминируют космополиты – 217 форм, бореальные – 77. Арктоальпийских форм значительно меньше – 19. По 193 формам данные по биогеографии отсутствуют (табл. 1).

Сравнение общего систематического списка цианопрокариот и водорослей эпифитона изученных водоёмов со списком организмов-индикаторов сапробности позволило выявить 196 индикаторных организмов. Это составило 38,7% от общего видового состава цианопрокариот и водорослей. Среди них преобладали β-мезосапробные формы. Олигосапробы и о-β-мезосапробы составляли 35%, ксеносапробы и олиго-ксеносапробы – 5,6%. 75%

всех индикаторных видов относились к диатомовым водорослям, которые также наиболее разнообразно представлены β-мезосапробными формами. Помимо диатомовых водорослей заметный вклад в состав индикаторных форм вносили цианопрокариоты и водоросли отдела Chlorophyta (23 и 18 видов соответственно).

Показатели наиболее чистых вод были выявлены в верхних участках рек. В исследованных реках индексы сапробности варьировали от 1,1 до 2,14 (табл. 2). Небольшие горные реки (Узян, Саргая, Басу) и верховья рек (Белая, Ай) содержат наиболее чистые воды. Коэффициенты сапробности 1,1–1,4 и 1,52–1,7 соответственно. Таким образом, воды изученных рек относятся ко II и III классам чистоты [7].

Наземные эпифитные ЦВЦ изучали в рекреационных и промышленных зонах городов Южного Предуралья, вдоль автомагистралей и на особо охраняемых природных территориях. Определяли видовой состав ЦВЦ, проводили его таксономический и экологический анализ. Рассматривали три уровня биоиндикации, которые обычно используются для альгомониторинга: организменный, популяционный, ценолитический [8]. Для изучения морфологии клеток водорослей использовали наиболее часто встречающихся представителей отдела Chlorophyta: *Desmococcus olivaceus*, *Trebouxia arboricola*, *Trentepohlia umbrina*. Нами не зафиксировано морфометрических и цитологических изменений клеток водорослей, обитающих в исследованных зонах.

Для индикационных целей на популяционном уровне проводили оценку состояния жизненной активности цианопрокариот и водорослей по регистрации интенсивности свечения хлорофилла с использованием люминесцентной микроскопии. Показано,

Таблица 2

Сапробиологическая характеристика исследованных рек

Река	Индекс сапробности	Степень сапробности	Класс чистоты воды
Белая	верховье	1,6	β-о
	г. Уфа	1,98	β
Ай	верховье	1,7	β-о
	п. Метели	2,1	β
Таналык	2,14	β	III
Узян	1,45	о-β	II
Саргая	1,4	о-β	II
Басу	1,1	о	II
Нугуш	1,56	β-о	III
Уршак	1,87	о-α	III
Усолка	1,83	о-α	III

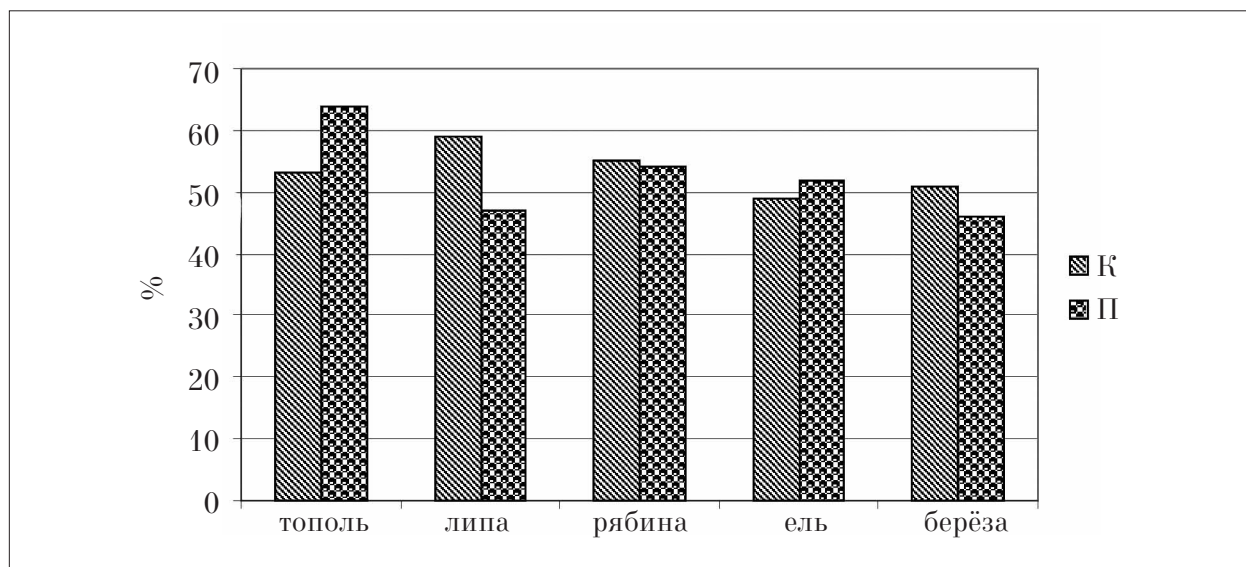


Рис. Доля (%) живых клеток эпифитных цианопрокариот и водорослей на древесных растениях исследованных зон (К – контроль, зона рекреации; П – промышленная зона)

что в эпифитных ЦВЦ всех исследованных участков преобладали живые (активно метаболизирующие) клетки (рис.). Также нами не зафиксированы морфометрические и цитологические изменения клеток цианопрокариот и водорослей сравниваемых зон.

В настоящее время таксономический список наземных эпифитных ЦВЦ включает 135 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот и водорослей, обитающих на коре деревьев. Ведущая роль принадлежит трём отделам: Chlorophyta (43,7% от общего числа видов), Цианопрокариота (31,4%) и Xanthophyta (14%), меньшее число видов в отделе Bacillariophyta (10,4%). Незначительно положение отдела Euglenophyta (0,8%).

Наибольшим числом таксонов представлены порядки Chlorococcales – 24 вида и разновидности, Oscillatoriales – 20, Nostocales – 13, Ulotrichales – 10, Chroococcales, Chlorosarcinales – по 7 видов. Из зелёных водорослей богатством видов отличались 2 семейства (Chlorococcaceae, Chlorellaceae), из цианопрокариот ведущая позиция наблюдалась у 4 семейств (Pseudanabaenaceae, Nostocaceae, Microcystaceae, Phormidiaceae), из жёлтозелёных – семейство Pleurochloridaceae.

Наземные эпифитные цианопрокариоты и водоросли по степени их приуроченности к определённому сезону можно разделить на следующие комплексы:

– виды, вегетирующие круглый год (*Desmococcus olivaceus*, *Trentepohlia umbrina*, *Trebouxia arboricola*, *Actinochloris sphaerica*, *Mychonastes homoshaera*, *Stichococcus minor*, *Tetracystis aggregata*);

– виды, господствующие в летний период (*Synechococcus elongatus*, *Aphanocapsa incerta*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Leptolyngbya frigida*, *Scytonema hofmanni*, *Nostoc calcicola*, *Borodinellopsis oleifera*, *Coccomyxa subglobosa f. subglobosa*, *Chlorhormidium nitens*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Bracteacoccus minor*, *Chlorella vulgaris f. vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*);

– виды, доминирующие в весенний период (*Synechocystis parvula*, *Synechococcus elongatus*, *Rhabdogloea smithii*, *Microcystis pulvereae f. minor*, *Leptolyngbya angustissima*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Chlorella vulgaris f. vulgaris*, *Chlorokybus atmophyticus*);

– виды, преобладающие в осенний период (*Aphanocapsa incerta*, *Microcystis pulvereae f. minor*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Scytonema hofmanni*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Trentepohlia annulata*, *Coccomyxa gloeobotrydiformis*);

– виды, преобладающие в зимний период (*Microcystis pulvereae f. minor*, *Chlorosarcinopsis minor*).

Распределение эпифитных цианопрокариот и водорослей по форофитам показало, что наибольшее разнообразие отмечено на стволах таких деревьев, как *Betula verrucosa* – 55 видовых и внутривидовых таксона (52% от общего числа обнаруженных видов), *Populus nigra* – 46 (44%), *Tilia cordata* – 40 (47%), *Picea obovata* – 38 (36%), *Sorbus aucuparia* – 31 (29%). Такое распределение видов возможно объяснить тем, что кора взрослых деревьев берёзы, тополя, липы более шершавая, глубоко растрескивающаяся. В щелях такой коры скапливается пыль, частицы почвы, растительные остатки, продукты постепенного разрушения самой коры [9].

Однако в эпифитных ЦВЦ промышленных зон, вдоль автомагистралей при незначительном обеднении видового состава, не обнаружено существенных изменений в перестройке таксономической структуры, доминантном комплексе по сравнению с контролем. Таким образом, наземные эпифитные ЦВЦ использовать для биоиндикации нецелесообразно.

Литература

1. Прошкина Е.А. Влияние тяжёлых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Уфа: РИО БашГУ. 1997. 19 с.
2. Егорова И.Н. Эпифитная альгофлора Прибайкалья: видовое разнообразие и экологические особенности: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Улан-Удэ: Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений. 2006. 19 с.
3. Никулина В.Н. Опыт использования различных методов оценки степени загрязнения вод по альгофлоре // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во Зоологич. инст-та АН СССР, 1976. С. 38–58.
4. Cattaneo A., Methot, G., Pinel-Alloul B., Niyonsenga T.& Lapierre L. Epiphyte size and taxonomy as biological indicators of ecological and toxicological factors in Lake St.-Francois (Quebec) // Environmental Pollution. 1995. V. 87. P. 357–372.
5. O'Connell J.M., Reavie E.D., Smol J.P. Assemblent of water quality using epiphytic diatom assemblages on Cladophora from the St. Lawrence river (Canada) // Diatom research. 1997. V. 12. № 1. P. 55–70.
6. Комулайнен С.Ф. Формирование и функционирование фитоперифитона в реках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. 50 с.
7. Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.

8. Кабиров Р.Р. Альгоиндикация с использованием почвенных водорослей // Альгология. 1993. Т. 3. № 3. С. 73–83.

9. Reisser W. Algae living on trees // Life in Extreme Habitats and Astrobiology. 2004. V. 4. P. 389–395.

References

1. Proshkina E.A. The Influence of heavy metals on the community of soil and epiphytic algae: Avtoref. diss. ... cand. biol. nauk. Ufa: RIO BashGU, 1997. 19 p. (in Russian).
2. Egorova I.N. Epiphytic algoflora of the Baikal region: species diversity and ecological features: Avtoref. diss. ... cand. biol. nauk. Ulan-Ude: Sib. In-t Fiziologii i Biohimii rasteniy, 2006. 19 p. (in Russian).
3. Nikulina V.N. Experience in the use of different methods of assessment of water pollution at Algoflora // Metodi biologicheskogo analiza presnih vod. L.: Izd-vo Zoologich. in-ta AN SSSR, 1976. С. 38–58 (in Russian).
4. Cattaneo A., Methot, G., Pinel-Alloul B., Niyonsenga T.& Lapierre L. Epiphyte size and taxonomy as biological indicators of ecological and toxicological factors in Lake St.-Francois (Quebec) // Environmental Pollution. 1995. V. 87. P. 357–372.
5. O'Connell J.M., Reavie E.D., Smol J.P. Assemblent of water quality using epiphytic diatom assemblages on Cladophora from the St. Lawrence river (Canada) // Diatom research. 1997. V. 12. № 1. P. 55–70.
6. Komulaynen S.F. The formation and functioning rivers phytoperiphyton. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyi tsentr RAN, 1999. 50 с. (in Russian).
7. Barinova S.S., Medvedeva L.A. Atlas of algae indicator saprobity (Russian Far East). Vladivostok: Dalnauka, 1996. 364 с. (in Russian).
8. Kabirov R.R. Algoindication with the using of soil algae // Algologia. 1993. Т. 3. № 3. P. 73–83 (in Russian).
9. Reisser W. Algae living on trees // Life in Extreme Habitats and Astrobiology. 2004. V. 4. P. 389–395.