

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОПРОКАРИОТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© 2010 Ф.Б. Шкундина¹, И.Е. Дубовик¹, Н.А. Киреева¹, М.Ю. Шарипова¹,
О.А. Никитина², Р.Р. Турьянова¹, Г.А. Гуламанова¹, М.Г. Ядыкина¹, А.О. Полева¹,
И.П. Климина¹, Н.Г. Смирнова¹, А.М. Гареева¹

¹ Башкирский государственный университет, г. Уфа

² Уральская академия физической культуры

Поступила в редакцию 23.04.2010

Приведены результаты использования циано-бактериально-водорослевых ценозов для мониторинга водных объектов и почв городов Республики Башкортостан, выделены индикаторные виды, описаны особенности сообществ в различных экосистемах.

Ключевые слова: водоросли, цианопрокариоты, город, мониторинг

На урбанизированных территориях промышленных центров происходит интенсивное изменение всей биоты. Водоросли и цианопрокариоты формируют циано-бактериально-водорослевые ценозы (ЦВЦ), которые являются одним из основных компонентов водных экосистем и играют большую роль в процессах самоочищения и улучшения санитарно-биологического состояния водоемов и почв.

Под воздействием токсикантов происходит формирование специфических ценозов, изучение которых позволяет давать рекомендации по организации биомониторинга. Биоиндикация делает возможным не только интегрировано оценить интенсивность антропогенного загрязнения

окружающей среды, но и предсказать реакции организмов на ее изменения. Эффективными биоиндикаторами являются микроскопические водоросли и цианопрокариоты [4-7].

Материалом для работы послужили пробы автотрофных планктона и бентоса, отобранные на территории городов Уфа, Стерлитамак, Ишимбай и Белорецк, а также Павловского водохранилища в период с 1995 по 2009 гг. Также нами были изучены эпифитные водоросли на стволах деревьев на территории городов Уфы, Октябрьского, Ишимбая. В промышленной зоне г. Уфы изучена флора водорослей и состав цианопрокариот почв территорий ряда промпредприятий ПО «Химпром», ОАО «Уфанефтехим», кроме этого были изучены почвы городских парков. Отбор и обработка проб осуществлялись по стандартной методике [2]. При исследовании был использован метод прямого микроскопирования. Для выделения экологических групп использовалась методика, описанная в монографии С.С. Бариновой и др. [1].

В автотрофном бентосе водных объектов на территории г. Стерлитамака было выявлено 260 видов и внутривидовых таксонов. В автотрофном планктоне на территории г. Уфы – 306, г. Ишимбай – 96 видов и внутривидовых таксонов (табл. 1). По распределению видов водорослей и цианопрокариот по зонам сапробности на территории г. Стерлитамака четко выделялось 2 группы водных объектов: 1-ая группа включала реки Белая, Ашкадар и Стерля, где доминировали β-мезосапробы и 2-ая группа – р. Ольховка и родник, где преобладали олигосапробы. В ходе обработки были выделены 3 сообщества с 3 вариантами. Сообщество *Achnanthes lanceolata* - *Pinnularia viridis* включает виды (28) распространенные в реках Белой, Ашкадар и Стерле.

Шкундина Фаина Борисовна, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники. E-mail: shkundinafb@mail.ru
Дубовик Ирина Евгеньевна, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники. E-mail: dubovikie@mail.ru
Киреева Наиля Ахняфовна, доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии и биотехнологии. E-mail: vodop@yandex.ru

Шарипова Марина Юрьевна, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники. E-mail: sharirovamy@mail.ru

Никитина Ольга Александровна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии. E-mail: o.a.nikitina@mail.ru

Турьянова Расима Рифгатовна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ботаники. E-mail: Rasima-t@yandex.ru

Гуламанова Гюзель Ахтяметдиновна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры ботаники. E-mail: gulamanovaga@mail.ru

Ядыкина Марина Геннадьевна, аспирантка. E-mail: utarinag@mail.ru

Полева Александра Олеговна, научный сотрудник кафедры ботаники. E-mail: a.poleva@mail.ru

Климина Инна Павловна, аспирантка. E-mail: in-poch@yandex.ru

Смирнова Наталья Геннадьевна, аспирантка. E-mail: Natalia168@yandex.ru

Гареева Айгуль Махмутовна, аспирантка. E-mail: sharirovamy@mail.ru

Оно объединяет ЦВЦ, формирующиеся на участках антропогенной деградации. Внутри сообщества выделены 3 варианта: 1. *Aphanothece elabens* (22), распространенные в р. Белой, 2. *Trachelomonas hispida* – в р. Ашкадар (19) и 3. *Phacus pyrum* – в р. Стерле (10). Сообщества *Navicula lacustris* - *Amphora ovalis* var. *gracilis* (13) р. Ольховки и *Cyclotella bodanica* - *Gyrosigma attenuatum* (13) родника включают виды, живущие в более холодной, быстро текущей воде с незначительной глубиной.

За период исследования 1995 и 2009 г.г. в автотрофном планктоне р. Белой на территории г. Белорецка нами выявлено 120 видов и внутривидовых таксонов водорослей и цианопрокариот. Проведенные исследования показали доминирование представителей диатомовых водорослей. В местах поступления сточных вод происходило резкое снижение видового разнообразия. Распределение числа видов автотрофных планктона и бентоса по отделам в водных объектах городов республики Башкортостан представлено в таблице 2.

Таблица 1. Систематическая структура автотрофного планктона и бентоса в водных объектах городов Башкортостана

Город	Систематическая структура					
	отделов	классов	порядков	семейств	родов	видов и в/в. т. *
Уфа	8	14	30	55	106	306
Стерлитамак	8	17	35	53	107	260
Ишимбай	4	10	26	40	63	96
Белорецк	7	11	28	47	75	120

Примечание: здесь и далее - в/в. т. * - внутривидовых таксонов

Таблица 2. Распределение числа видов автотрофного планктона и бентоса по отделам в водных объектах городов Башкортостана

Название отдела	Город			
	Уфа	Стерлитамак	Ишимбай	Белорецк
<i>Chlorophyta</i>	117	42	21	31
<i>Bacillariophyta</i>	103	129	38	49
<i>Cyanoprokaryota</i>	53	46	24	23
<i>Euglenophyta</i>	12	19	–	11
<i>Dinophyta</i>	7	7	–	2
<i>Xantophyta</i>	7	5	5	1
<i>Chrysophyta</i>	6	6	–	3
<i>Cryptophyta</i>	1	–	–	–
<i>Charophyta</i>	–	6	8	–

Из 237 изученных видов и внутривидовых таксонов водорослей рек г. Уфы (Белая, Уфа, Сутолока, Шугуровка) 110 таксонов (46,4%) относятся к индикаторам органического загрязнения вод. Сапробиологический анализ видового состава показал, что 0,9% общего списка видов рек относятся к полисапробам, 1,8% – к ксеносапробам, 10,9% – к олигосапробам, 11,8% – к α -мезосапробам, 49,1% – к β -мезосапробам [1]. В систематическом отношении большинство индикаторов являются представителями *Bacillariophyta*. На их долю приходится 49 видов или 44,5% общего числа индикаторов, обнаруженных в исследованных реках. Наиболее разнообразно *Bacillariophyta* представлены β -мезосапробными формами (22 вида). Помимо диатомовых водорослей индикаторами состояния воды были также представители *Chlorophyta*

– 30 видов, что составляло 27,3% общего числа показательных форм, с преобладанием β -мезосапробных форм (19 видов). Заметное число β -мезосапробов отмечено среди *Cyanoprokaryota* и *Euglenophyta*.

Из 190 видов и внутривидовых таксонов озер 91 таксон (47,9%) относится к индикаторам органического загрязнения вод. Сапробиологический анализ альгофлоры показал, что 3,3% общего числа видов озер являются полисапробами, 2,2% – ксеносапробами, 12,1% – олигосапробами, 7,7% – α -мезосапробами, 48,4% – β -мезосапробами. В таблице 3 представлены средние арифметические значения индекса сапробности вод в обследованных реках и озерах. Отмечены изменения значений индекса сапробности в зависимости от места взятия пробы. Средние арифметические значения индекса сапробности

воды рек и озер как по численности, так и по биомассе характеризовали β -мезосапробную зону. На р. Белой на трех створах формировалась α -мезосапробная зона вследствие локального и достаточно длительного загрязнения, поступающего из р. Сутолоки. Увеличение индексов сапробности наблюдалось в озерах Архимандритское,

Солдатское и Долгое. Таким образом, проведенные нами исследования показали, что в водоемах на территории г. Уфы формируются разнообразные сообщества планктонных водорослей, характеризующие мезотрофные условия и β -мезосапробную зону.

Таблица 3. Средние арифметические индекса сапробности по фитопланктону в водных объектах г. Уфы

Водоем	Индекс сапробности	
	по численности	по биомассе
р. Белая	2,25±0,08	2,14±0,07
р. Уфа	2,28±0,09	2,13±0,09
р. Сутолока	2,11±0,06	2,38±0,01
р. Шугуровка	2,01±0,01	2,16±0,01
оз. Архимандритское	2,16±0,01	2,22±0,01
оз. Кустаревское	1,97±0,01	1,94±0,01
оз. Долгое	2,03±0,01	1,89±0,01
оз. Солдатское	2,03±0,01	2,06±0,01
оз. в саду им. С.Т. Аксакова	1,99±0,01	1,94±0,01

Крупные инфильтрационные водозаборы централизованного водоснабжения г. Уфы и других населенных пунктов расположены в долине р. Уфы. Созданное на этой реке Павловское водохранилище, является формирующим ресурсы питьевой воды, оно испытывает мощное техногенное воздействие промышленных, сельскохозяйственных предприятий и лесопромышленного комплекса Челябинской, Свердловской областей и Башкортостана. Кроме того, Павловское водохранилище является крупным рекреационным узлом. За период исследования 2003-2009 гг. в Павловском водохранилище нами в автотрофном планктоне выявлено 153 вида и внутривидовых таксона водорослей и цианопрокариот из 90 родов, 47 семейств, 24 порядков, 10 классов и 7 отделов. Средняя численность автотрофного планктона в водохранилище в вегетационный период составила (тыс. кл./дм³): в 2003 г. – 480, 2008 г. – 5384, в 2009 г. – 14377. По численности в соответствии с классификацией Цветковой (цитир. по [3]) водоем относится к мезотрофным. В 2008 г. средняя биомасса составила 6,4 г/м³, в 2009 г. – 19,5 г/м³. По биомассе по классификации Трифионовой водоем в 2008 г. относился к эвтрофным, в 2009 г. – к высокоэвтрофным. В 2003 г. индекс сапробности по численности составил 1,78±0,05, в 2008 г. индекс сапробности по численности в среднем составил 2,09±0,09, по биомассе 1,82±0,05. В 2009 г. по численности – 1,25±0,25, по биомассе 1,80±0,10. Оценка экологического состояния Павловского водохранилища по данным фитопланктона показала увеличение степени эвтрофирования с 2003 по 2009 гг. Водоем трансформировался из эвтрофного к высокоэвтрофному. Не встречались в пробах 2008-2009

гг. представители отдела *Xanthophyta*, в частности вид, *Bumilleriopsis brevis* доминированный в 2003 г. в некоторых приплотинных створах. Полученные нами результаты показывают, что в водохранилище сформировалась, в основном, β -мезосапробная зона. В верхнем и среднем течении в изученном водном объекте отмечалась даже α -мезосапробная зона.

Проведенные исследования эпифитных водорослей на стволах деревьев на территории городов Уфы, Октябрьского, Ишимбая позволили выявить 110 видов и внутривидовых таксонов водорослей, обитающих на коре деревьев, распределение которых по изученным городам приведено в таблице 4. Во всех исследованных городах наиболее часто встречались представители зелёных водорослей: *Desmococcus vulgaris*, *Treuboxia arboricola*, *Trentepohlia umbrina*, *Radiosphaera sphaerica*, *Mychonastes homosphaera*. Из сине-зелёных – *Microcystis pulvereae f. minor*, *Leptolyngbya foveolarum*. Изученные деревья – форофиты, по степени уменьшения видового разнообразия можно расположить в следующем порядке: клён ясенелистный → берёза бородавчатая → рябина обыкновенная → липа мелколистная → сосна обыкновенная → тополь чёрный → яблоня лесная → лиственница сибирская → клён платановидный.

Анализ эпифитной альгофлоры по морфотипам показал преобладание одноклеточных неподвижных и нитчатых форм, в том числе ветвящихся и неветвящихся водорослей. Спектр экобиоморф характеризовался преобладанием представителей *Ch*-формы, которая представлена в основном одноклеточными зелёными водорослями.

Таблица 4. Систематическая структура эпифитных водорослей и цианопрокариот городов Башкортостана

Город	Число					
	отделов	классов	порядков	семейств	родов	видов и в./в. т.*
Уфа	4	6	13	24	47	82
Ишимбай	4	5	10	23	34	36
Октябрьский	4	5	11	19	29	32
Всего	4	6	15	26	75	110

Изучение флоры водорослей и состава цианопрокариот почв на территории г. Уфы позволило выявить следующие закономерности. Почвенный покров на территории ПО «Химпром» в значительной степени нарушен. В нем были обнаружены очень бедные и по видовому, и по количественному составу ЦВЦ, представленная 5 видами цианопрокариот и 2 видами диатомовых водорослей-убиквистов. Изучение почв ОАО «Уфанефтехим» позволило выявить всего 25 видов водорослей и цианопрокариот. Почвенные ЦВЦ формировались 15 видами, из них представители отдела *Cyanoprocaryota* составляют 1 вид, *Chlorophyta* – 11, *Xanthophyta* – 1, *Bacillariophyta* – 2. Практически во всех пробах, взятых на территории завода, встречены виды рода *Chlorella*, *Chlamydomonas gloeogama*, *Bracteacoccus minor*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Hantzschia amphioxys*. Спектр жизненных форм имеет следующий вид Ch₇ CF₁ H₁ B₂ amph₁ C₃.

Анализ ЦВЦ почвы парка Победы и сада им. Н.К. Крупской г. Уфы позволил выявить 29 видов. Преобладали представители отдела *Chlorophyta* и *Cyanoprocaryota*. В результате проведенных исследований на территории парка им. И. Якутова было обнаружено 37 видов. Из них представителей отдела *Cyanoprocaryota* – 11, *Chlorophyta* – 15, *Xanthophyta* – 2, *Bacillariophyta* – 9. Спектр жизненных форм Ch₁₁H₁B₇P₆CF₂X₂CF₅hydr₃C₂. Наибольшее число видов обнаружено на берегу озера – 14. Обследованные участки парка характеризовались высокой мозаичностью и гетерогенностью.

Диатомовые водоросли при малом видовом разнообразии часто входили в состав доминантного комплекса: *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea*, виды *Navicula* (B-форма). Сравнение флоры водорослей и состава цианопрокариот почвы различных участков г. Уфы показывает, что наибольшее видовое разнообразие обнаружено в пробах, отобранных в парковой зоне, которую в данном случае можно рассматривать как экотон. Так как водоросли являются биоиндикаторами загрязнения, это свидетельствует об относительной чистоте почвенного покрова. Во всех остальных пробах обнаружено меньшее видовое разнообразие ЦВЦ. Самыми бедными почвами в отношении видового состава

явились пробы в промышленной зоне города (количество видов в образцах не превышало 16), жизненные формы представлены Ch-, CF-, P-, B-формами. В целом небольшое видовое разнообразие ЦВЦ почвы г. Уфы, особенно желтозеленых, указывает на отрицательное воздействие антропогенных загрязнений.

В период с 2003 г. по 2010 г. нами также были исследованы голоэпифиты и амфиэпифиты различных фитофоров и фикофоров водоемов и водотоков г. Уфы. На реке Белой в г.Уфе выявлено 72 вида эпифитных водорослей, из них цианопрокариоты составляют 5,5%, диатомовые 82%, зеленые водоросли 12,5%. Индекс видового разнообразия составил 0,6. Коэффициент сходства между двумя станциями отбора проб 68%. Доминанты не различались. Наибольшей частотой встречаемости характеризовались виды *Tabellaria fenestrata*, *Navicula cryptocephala*, *Symbella lanceolata*.

Анализ эпифитных водорослей и цианопрокариот небольших водоемов г. Уфы позволил выделить 49 видов и внутривидовых таксонов, относящихся к 4 отделам, 13 порядкам. Самым разнообразными по видовому составу являются отделы *Chlorophyta* и *Bacillariophyta*, представленные 16 и 15 видами водорослей. По другим отделам водоросли распределились следующим образом: отдел *Cyanoprocaryota* – 14 видов, отдел *Xanthophyta* – 4 вида. В отделе *Chlorophyta* среди нитчатых водорослей доминировали виды *Chaetophora elegans*, *Oedogonium sp.* Эти виды являлись доминантными эпифитами во многих водоемах: р. Деме, р. Уфе, в Архимандритском озере, озерах на Озерной и пруде сада Аксакова. В количественном отношении доминировали следующие виды водорослей: *Chaetophora elegans*, *Diatoma vulgare*, *Merismopedia glauca*, *Navicula pelliculosa*. Эти водоросли образовывали массовое разрастание на различных субстратах. Количественный учет эпифитных водорослей на различных фито- и фикофорах показал, что численность водорослей колеблется от 125 до 600 тыс. кл./см². Если рассматривать сходство эпифитных ЦВЦ на различных фито- и фикофорах, то более всего сходны обрастания на кладофоре и элодее (57%), роголистнике и энтероморфе (54%). Однако видовой состав водорослей-эпифитов

различался не только в зависимости от субстрата, но, в значительной степени, от типа водоема. Эпифитон водоемов в черте города беднее по видовому составу, хотя численность водорослей-обрастателей в несколько раз выше, а основные отделы водорослей (*Bacillariophyta*, *Chlorophyta* и *Cyanoprokaryota*) представлены примерно равными долями.

Альгоэпифиты Архимандритского озера можно отнести к экотонной зоне. Результаты исследования Архимандритского озера показали, что в видовом отношении обследованные сообщества представлены, главным образом, диатомовыми (61%), затем зелеными (27%), цианопрокарриотами (3%) и желто-зелеными (1%) водорослями. Численность формировалась, в основном, сине-зелеными, диатомовыми и зелеными водорослями, а биомасса весной диатомовыми, а к июлю зелеными водорослями.

Выводы: были выявлены достоверные различия в качественном и количественном распределении автотрофного планктона и бентоса, эпифитных, а также почвенных ЦВЦ на территории городов Республики Башкортостан, что проявлялось в разной динамике численности отдельных видов и групп, снижении видового богатства и разнообразия, а также изменении индексов сапробности в антропогенно преобразованных биотопах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Барина*, С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Барина, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
2. Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
3. *Дмитриев*, В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. – Гатчина, 1999. – С. 200-217.
4. *Дубовик*, И.Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий: Монография. – Уфа: РИО БашГУ, 1995. – 156 с.
5. *Шарипова*, М.Ю. Водоросли экотонных сообществ: Монография. – Уфа: РИО БашГУ, 2006. – 182 с.
6. *Шкундина*, Ф.Б. Доминирующие виды фитопланктона рек различных географических регионов (на примере рек, расположенных на территории бывшего СССР) // Альгология. – 2006. – Т. 16, №2. – С. 88-100.
7. *Шкундина*, Ф.Б. Фитопланктон водоемов г. Уфы (Башкортостан, Россия) / Ф.Б. Шкундина, Р.Р. Турьянова // Альгология. – 2009. – Т. 19, №1. – С. 66-76.

USE OF ALGAE AND CYANOPROKARIOTA FOR MONITORING THE TERRITORIES OF BASHKORTOSTAN REPUBLIC CITIES

© 2010 F.B. Shkundina¹, I.E. Dubovik¹, N.A. Kireeva¹, M.Yu. Sharipova¹, O.A. Nikitina², R.R. Turyanova¹, G.A. Gulamanova¹, M.G. Yadykina¹, A.O. Poleva¹, I.P. Klimina¹, N.G. Smirnova¹, A.M. Gareeva¹

¹ Bashkir State University, Ufa
² Ural Academy of Physical Training

Results of use cyano-bacterial algae coenosis for monitoring water objects and soils in Bashkortostan Republic cities are resulted, display kinds are allocated, features of communities in various ecosystems are described.

Key words: *algae, cyanoprocariota, city, monitoring*

Faina Shkundina, Doctor of Biology, Professor at the Botany Department. E-mail: shkundinafb@mail.ru

Irina Dubovik, Doctor of Biology, Professor at the Botany Department. E-mail: dubovikie@mail.ru

Nailya Kireeva, Doctor of Biology, Professor at the Department of Biochemistry and Biotechnology. E-mail: vodop@yandex.ru

Marina SHaripova, Doctor of Biology, Professor at the Botany Department. E-mail: sharipovamy@mail.ru

Olga Nikitina, Candidate of Biology, Senior Lecturer at the Ecology Department. E-mail: o.a.nikitina@mail.ru

Rasima Turiyanova, Candidate of Biology, Senior Lecturer at the Botany Department. E-mail: Rasima-t@yandex.ru

Gyuzel Gulamanova, Candidate of Biology, Assistant at the Botany Department. E-mail: gulamanovaga@mail.ru

Marina Yadykina, Post-graduate Student. E-mail: ymarinag@mail.ru

Alexandra Poleva, Research Fellow at the Botany Department. E-mail: a_poleva@mail.ru

Inna Klimina, Post-graduate Student. E-mail: innoch@yandex.ru

Nataliya Smirnova, Post-graduate Student. E-mail: Natalia168@yandex.ru

Aygul Gareeva, Post-graduate Student. E-mail: sharipovamy@mail.ru