

МОНИТОРИНГ водных объектов на территории городов лесостепной зоны Республики Башкортостан по результатам ИССЛЕДОВАНИЯ СООБЩЕСТВ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОПРОКАРИОТ

Приведены результаты использования цианобактериально-водорослевых ценозов для мониторинга водных объектов городов лесостепной зоны Республики Башкортостан, выделены индикаторные виды, описаны особенности биоценозов водоемов урбанизированных территорий.

Введение

Существуют два основных пути антропогенного воздействия на биоценозы водных объектов урбанизированных территорий. Первый путь связан с прямым воздействием на компоненты водных сообществ, второй – с разрушением прибрежных местообитаний. Наибольшее воздействие на водоросли и цианопрокариоты, оказывают эвтрофирование, токсическое загрязнение водной среды, изменение гидродинамики. Планктонные и бентосные альгоценозы на территории ряда городов подробно изучены [1-4].

Способность водорослей и цианопрокариот быстро реагировать на воздействие антропогенных факторов и стабильность реакции на загрязняющие вещества является важнейшим условием успешного их применения для целей биоиндикации [5-9], что делает возможным не только интегрировано оценить интенсивность антропогенного загрязнения окружающей среды, но и предсказать реакции организмов на ее изменения.

Целью нашего исследования явилось изучение цианобактериально-водорослевых ценозов (ЦВЦ) на территории городов Стерлитамак и Ишимбай – крупнейших промышленных центров лесостепной зоны

Ф.Б. Шкундина*,
доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники биологического факультета, Башкирский государственный университет

О.А. Никитина,
кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивной медицины и реабилитологии, Стерлитамакский институт физической культуры (филиал) УралГУФК



Республики Башкортостан и оценка состояния водных объектов на основании полученных данных.

Материалы и методы исследования

На территории г. Стерлитамак материалом для работы послужили 160 индивидуальных качественных проб автотрофного бентоса водотоков (р. Белая, р. Ашкадар, р. Стерля, р. Ольховка, родника Дома быта, впадающего в р. Стерля). Методика сбора и обработки материала соответствовала общепринятым подходам в изучении водорослей [10-12].

На территории г. Ишимбай материалом послужили 150 индивидуальных количественных проб фитопланктона, отобранных из водоемов, расположенных на территории

* Адрес для корреспонденции: shkundinafb@mail.ru

г. Ишимбая – р. Белая, р. Тайрук, Кузьминский пруд.

Отбор проб из водоемов на территории г. Ишимбай производился при помощи батометра Рутнера. Сгущение проб производилось осадочным методом путем отсифонивания среднего слоя воды до объема 50 мл [11]. Подсчет численности водорослей осуществлялся в камере Нажотта.

Все водоросли были расположены по системе, принятой в таксономическом браузерере Algaebase [13].

Для выделения экологических групп использовались методики, описанные в работах [6] и [14].

Результаты и их обсуждение

В период с 1998 по 2010 гг. на исследованных территориях выявлено 382 вида и внутривидовых таксона из 156 родов, 71 семейства, 40 порядков, 18 классов и 8 отделов (табл. 1).

Ведущими по числу видов являются отделы *Bacillariophyta* – 158, *Chlorophyta* – 77, *Cyanoprokaryota* – 76 видов и внутривидовых таксонов. Менее существенный вклад во флору водорослей изучаемых водоемов вносили *Xanthophyta* – 26, *Euglenophyta* – 19, *Charophyta* – 13, *Dinophyta* – 7, *Chrysophyta* – 6 видов и внутривидовых таксонов. Доля *Bacillariophyta* в общем количестве видов составляет 41 %, *Chlorophyta* – 20 %, *Cyanoprokaryota* – 20 %, *Xanthophyta* – 6,8 %, *Euglenophyta* – 5 %, *Charophyta* – 3,4 %, *Dinophyta* – 1,8 % и *Chrysophyta* – 1,7 %. Большинство из обнаруженных видов имеют широкое географическое распространение и являются обычными возбудителями «цветения» в континентальных водоемах [11].

Ведущую роль в формировании ЦВЦ исследованных территорий играет отдел *Bacillariophyta*, представленный 3 классами, 15 порядками, 25 семействами и 48 родами. Вклад классов, входящих в отдел, неравнозначен. Класс *Coscinodiscophyceae* представлен 3 порядками и 3 родами, представители которых отмечены в ЦВЦ единично.

Таблица 1

Систематическая структура ЦВЦ исследованных водоемов г. Стерлитамак и г. Ишимбай

Объект	Систематическая структура					
	Отделы	Классы	Порядки	Семейства	Роды	Виды и в/в. т. *
Водотоки г. Стерлитамак	8	17	35	53	106	255
Водотоки г. Ишимбай	5	10	26	40	63	96
Всего	8	17	41	72	158	382

в/в. т. * - внутривидовые таксоны

Систематический список *Chlorophyta* включает 3 класса, 11 порядков, 51 род, 64 вида и внутривидовых таксона. Ведущим порядком выступает *Chlorococcales* – 25 видов и внутривидовых таксонов. Во всех исследованных водоемах обнаружена *Crucigenia quadrata*. К часто встречающимся видам относится также *Oocystis lacustris* и *Chlamydomonas globosa*.

Отдел *Cyanoprokaryota* представлен 1 классом – *Cyanophyceae*, 4 порядками, 22 родами, 76 видами и внутривидовыми таксонами. Ведущим порядком выступает *Chroococcales* – 28 видов и внутривидовых таксонов. Часто встречающиеся представители рода *Oscillatoria* предпочитают воды, загрязненные органическими веществами [15].

Отдел *Euglenophyta* представлен 1 классом *Euglenophyceae*, 1 порядком, 3 родами, 19 видами и внутривидовыми таксонами. Наиболее часто встречающимися видами были *Euglena acus* и *E. clara*. Представители отдела *Euglenophyta* в почвах г. Стерлитамак и водоемах г. Ишимбай не обнаружены.

Отдел *Xanthophyta* представлен 5 классами, 5 порядками, 18 родами и 24 видами водорослей, которые в наибольшем разнообразии и количестве обнаружены в почвах г. Ишимбай. Отдел *Charophyta* представлен 2 классами, 2 порядками, 5 семействами, 9 родами и 13 видами и внутривидовыми таксонами. Наиболее часто встречающимся видом является *Spirogyra crassa*.

Отдел *Dinophyta* представлен 1 классом, 1 порядком, 4 родами, 7 видами и внутривидовыми таксонами. При массовом развитии представители отдела способны вызывать «цветение» воды [11]. Выявленные виды относятся к семейству *Peridiniaceae*, порядку *Peridiniales*, классу *Dinophyceae*. Отдел *Chrysophyta* представлен 2 классами, 2 порядками, 4 семействами, 5 родами, 6 видами и внутривидовыми таксонами. Представители отделов *Dinophyta* и *Chrysophyta* обнаружены только в водотоках г. Стерлитамак.

Водоросли благодаря стенотопности, то есть обитанию в специфических, очень ограниченных и относительно постоянных условиях, а также их высокой чувствительности

к условиям окружающей среды играют важную роль при биологическом анализе воды. Для описания эколого-географических характеристик водорослей и цианопрокариот нами использована монография [6].

В автотрофном бентосе изученных водотоков г. Стерлитамак в вегетационный период по галобности наибольшим видовым разнообразием характеризовались пресноводные виды. Доминирующее положение занимали во всех водотоках олигогалобы – индифференты: в р. Белая выявлено 87 показательных видов (53,3 %); в р. Ашкадар – 84 (56,8 %); в р. Стерля – 78 (63,9 %); в р. Ольховка – 72 (67,3 %); в роднике – 53 (62,4 %) из порядков *Fragilariales*, *Cymbellales*, *Naviculales*, *Bacillariales*. Олигогалобы-индифференты были больше представлены в р. Ольховка, и меньше – в р. Белая.

На втором месте по галобности в автотрофном бентосе были олигогалобы-галофилы в р. Белая – 17 (10,4 %), р. Ашкадар – 17 (11,5 %), р. Стерля – 12 (9,8 %), р. Ольховка 9 (8,4 %), из которых по числу обнаруженных видов выделялись роды *Navicula* и *Nitzschia*. В роднике на втором месте выходили олигогалобы-галофобы – 5 (5,9 %), на третьем были олигогалобы-галофилы – 4 (4,7 %). В автотрофном бентосе рек на третьем месте –

Ключевые слова:
водоросли,
цианопрокариоты,
город,
мониторинг

олигогалобы-галофобы, в р. Белая – 9 (5,5 %), р. Ашкадар – 6 (4 %), р. Ольховка – 4 (3,7 %), а в р. Стерля мезогалобы – 3 (2,4 %). В р. Стерля равным количеством (12, 9,8 %) представлены олигогалобы-галофобы и олигогалобы. Меньшим разнообразием *Bacillariophyta* характеризовались мезогалобы и олигогалобы, которые были представлены в водотоках в соотношениях: мезогалобы – р. Белая 4 (2,4 %), р. Ашкадар 3 (2 %), р. Ольховка -2 (1,9 %), в роднике 1 (1,2 %), олигогалобы – р. Белая 3 (1,8 %), р. Ашкадар 2 (1,3 %), р. Ольховка 1 (0,98 %). В роднике олигогалобы не обнаружены.

По отношению к органическому загрязнению представители водорослей и цианопрокариот были классифицированы по системе сапробности и по Ватанабе [11] (табл. 2, 3).

По распределению видов водорослей и цианопрокариот по зонам сапробности (табл. 2, 3) четко выделялось две 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. Причем в роднике олигосапробных видов было в 2 раза больше, чем β-мезосапробов.

Наиболее часто в автотрофном бентосе рек Белая (35 %), Ашкадар (34,5 %) и Стерля

Таблица 2

Число видов-индикаторов в автотрофном бентосе по зонам сапробности в исследованных водных объектах

Показатели зон сапробности	Водотоки				
	р. Белая	р. Ашкадар	р. Стерля	р. Ольховка	Родник
	соотношение таксонов (%)				
ксено-сапроб	2,4	1,3	2,5	4,7	5,9
0,4-ксено-олигосапроб	1,2	2,0	1,6	2,8	3,5
0,6-олиго-ксеносапроб	1,2	1,3	1,6	1,0	1,2
0,8-ксено-бета-мезосапроб	0,6	0,65	0,8	0,98	1,2
1,0-олигосапроб	10,0	8,8	8,2	19,6	23,5
1,4-олиго-бета-мезосапроб	6,7	8,8	4,9	6,5	16,5
1,6-бета-олигосапроб	6,0	8,8	4,9	7,5	7,0
1,8-олиго-альфа-мезосапроб	96,7	61	5,7	7,5	14,1
2,0-бета-мезосапроб	22,0	19,0	21,3	19,6	5,9
2,4-бета-альфа-мезосапроб	5,4	3,3	5,7	1,0	1,2
2,6-альфа-олигосапроб	0,60	0,65	-*	-	-
3,0-альфа-мезосапроб	1,2	0,6	0,8	-	-
3,6-альфа-бета-мезосапроб	3,0	5,4	5,7	4,7	2,3
Группа индикаторов по Ватанабе					
Сапроксен	6,7	6,0	8,2	9,3	11,8
Сапрофил	2,4	1,3	2,4	2,8	35,3
Эврисапроб	16,0	13,5	15,6	18,7	17,6

-* отсутствие видов



Таблица 3

Распределение по сапробности (%) автотрофного бентоса водотоков г. Sterлитамак

Показатели	р. Белая	р. Ашкадар	р. Sterля	р. Ольховка	Родник
Олигосапробы	22,0	23,0	28,0	35,5	51,7
бета-мезосапробы	35,0	34,5	32,0	34,5	27,0
альфа-мезосапробы	10,5	10,0	12,3	5,6	3,5

(32%) встречались представители *Bacillariophyta*, обитающие в β -мезосапробной зоне – *Gomphonema acuminatum* var. *trigonocephalum*, *Synedra acus*. В основном это представители порядков *Cymbellales*, *Naviculales*, *Bacillariales*, а в р. Ольховке (35,5%) и роднике (51,7%) развивались виды, характерные для олигосапробной зоны – *Cocconeis placentula* var. *lineate*, *Fragilaria capucina*. Наибольшая доля альфа-мезосапробов была отмечена в р. Sterля (12,3%). Также были представители отдела *Bacillariophyta* – *Navicula minuscula*.

Анализ экологических групп по Ватанабе (табл. 2) показал своеобразие ЦВЦ родника, где доминировали сапрофилы. В остальных реках чаще встречались эврисапробы.

В автотрофном бентосе рек Белая, Ашкадар, Sterля, Ольховка были обнаружены виды, обитающие при высоком содержании органических веществ. К ним относятся представители родов *Cymatopleura*, *Nitzschia*, *Navicula*, наиболее часто встречались такие виды как *Gomphonema acuminatum*, *Cymatopleura solea* и *Navicula oblonga*. Доминантами являлись эвиндифферентные виды из родов *Asterionella*, *Pinnularia* и *Navicula*. Из видов *Bacillariophyta*, обитающих при низком содержании органических веществ, были обнаружены такие часто встречающиеся в автотрофном бентосе виды, как *Navicula cryptocephala* var. *Veneta*, *Gomphonema acuminatum* var. *trigonocephalum*.

В автотрофном бентосе водотоков г. Sterлитамак по отношению к реакции среды (pH) были выявлены водоросли и цианопрокариоты четырех экологических групп (индифференты, алкалифилы, алкалибионты и ацидофилы). В частности, часто встречались *Synedra ulna* и *Navicula lanceolata*, относящиеся к алкалифилам, а также *Fragilaria virescens* и *Cymatopleura solea*, являющиеся, соответственно, алкалибионтом и индифферентным видом.

Доминантами в автотрофном бентосе рек и родника являлись алкалифилы. При этом в роднике, где жесткость воды в 2 раза превышала ПДК, доминирование алкалифилов было наиболее выраженным. На втором месте во всех водных объектах были индифференты. Они были представлены видами из родов *Synedra*, *Navicula* и *Cymatopleura*. Доля индифферентных видов была ниже в реках Белая и Ольховка, а в роднике достигала минимума. Минимальным разнообразием в автотрофном бентосе водотоков характеризовались экологические группы алкалибионтов и ацидофилов. Алкалибионты относились к родам *Gomphonema*, *Navicula*, ацидофилы представлены видами *Eunotia*, *Lunaris*, а также *Fragilaria bicapitata*.

Диатомовые водоросли могут обитать в воде с разным содержанием Ca^{2+} , хотя максимальное их обилие и встречаемость наблюдаются при значениях Ca^{2+} от 20 до 55 мг/л.

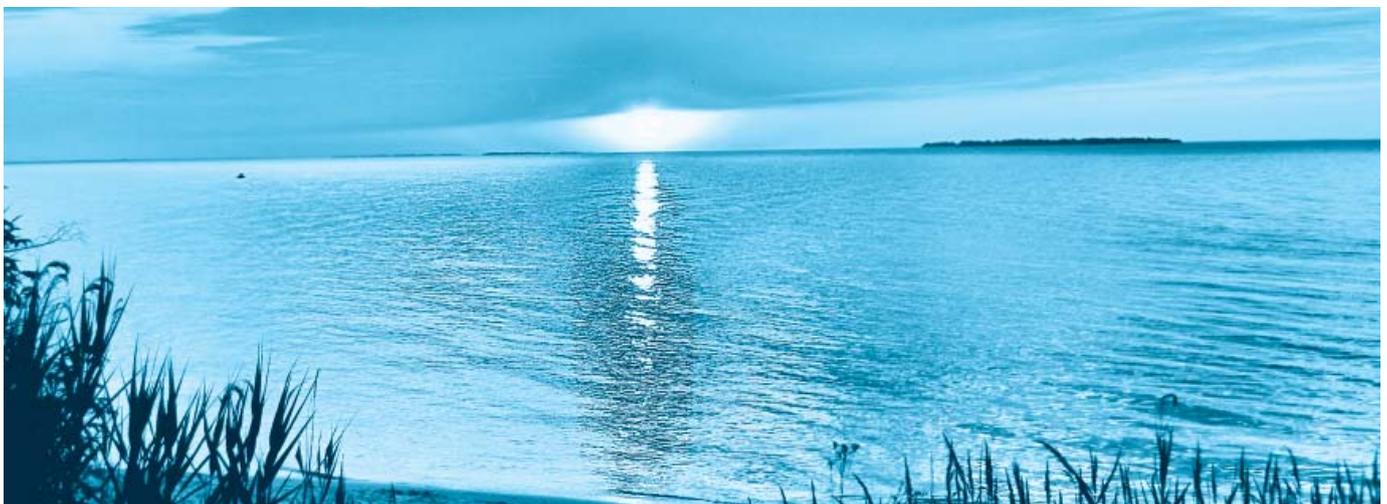




Таблица 4

Изменения индексов сапробности в водных объектах на территории г. Ишимбай [16]

Водоем	1998 г.	1999 г.	2000 г.
р. Белая	1,93	3,04	2,01
р. Тайрук	1,85	1,94	2,07
Кузьминовский пруд	1,52	1,89	1,69

В автотрофном бентосе водотоков по видовому разнообразию доминировали индифференты, представленные следующими видами *Bacillariophyta*: *Gomphonema acuminatum* и *Navicula cryptocephala var. intermedia*. Представителями кальцифилов являлись *Caloneis silicula* и *Cymbella helvetica*, обычно обитающие при высоком содержании Ca^{2+} , но редко встречающиеся при низком. Представителем эвнидифферентов был *Achnanthes minutissima*.

Автотрофный бентос г. Стерлитамак характеризовался присутствием индифферентных видов из рода *Gomphonema*, а также *Caloneis silicula*, обитающего при содержании в воде $\text{HCO}_3^- > 120$ мг/л. Наибольшим количеством видов характеризовался род *Navicula*, представители которого обитают при среднем и высоком содержании в воде гидрокарбонатных ионов.

Для оценки качества вод при ведении мониторинга, наряду с гидрофизическими и гидрохимическими параметрами, используются гидробиологические и микробиологические показатели. При этом понятие «качество воды» оценивается с позиций загрязненности водных масс органическим веществом, то есть сапробности, а также способности самого водного объекта к образованию органического вещества, т. е. его биологической продуктивности или трофности. В обоих случаях качественный и количественный состав водорослей в первую очередь определяется составом воды, что позволяет использовать показатели видового обилия, численности и биомассы водорослей в качестве критериев классификации вод по сапробности и степени трофности.

Изменение индексов сапробности в водоемах г. Ишимбай приведены в табл. 4.

В изученных водоемах в основном формировалась α -мезосапробная и β -мезосапробная зона. В р. Белая в 1999 г. среднегодовой индекс сапробности составил 3,04, что характеризует α - β -мезосапробную зону [11]. Для α -мезосапробной зоны характерно присутствие органических веществ, а также бактериальное загрязнение. Вода, отобранная в этой зоне, непригодна для рекреационного исполь-

зования, а пойманная рыба непригодна в пищу. В 2000 г. в р. Белая ситуация несколько улучшилась, среднегодовой индекс сапробности составил 2,01 (табл. 4). По индексам сапробности наиболее чистым был Кузьминовский пруд (β -о-сапробная и α -мезосапробные зоны), причем в 1999 г. значения этого показателя в этих водоемах и в р. Тайрук были величинами одного порядка. Все колебания индекса были в пределах β -мезосапробной зоны [16].

Заключение

В период с 1998 по 2010 гг. в исследованных водоемах г. Стерлитамак и г. Ишимбай выявлено 382 вида и внутривидовых таксона из 156 родов, 71 семейства, 40 порядков, 18 классов и 8 отделов.

В автотрофном бентосе исследованных текущих водоемов г. Стерлитамак было выявлено 255 видов и внутривидовых таксонов из 107 родов, 55 семейств, 33 порядков, 17 классов и 8 отделов.

Во всех водотоках г. Стерлитамак доминировали олигогалобы – индифференты. По распределению видов водорослей и цианопрокариот по зонам сапробности четко выделялось две 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. При этом в роднике олигосапробных видов было в 2 раза больше, чем β -мезосапробов. В роднике доминирование алкалифилов было наиболее выраженным. По приуроченности к основному местообитанию водотоки объединялись в две группы: 1-ая группа (реки Белая, Ашкадар, Стерля), в которой на второе место выходили планктонно-бентосные виды, 2-ая группа (р. Ольховка и родник), где на втором месте были планктонные виды.

В изученных водоемах г. Ишимбай формировалась β -мезосапробная зона, хотя в р. Белая в 1999 г. среднегодовой индекс сапробности составил 3,04, что характеризует α -мезосапробную зону. По индексам сап-

робности наиболее чистым был Кузьминовский пруд, причем в 1999 г. все колебания этого индекса в нем и в р. Тарйрук были в пределах β -мезосапробной зоны.

Литература

1. Тумбинская Л.В. Альгофлора реки Москвы в черте города // Автореф. Дис. канд. биол. наук. Москва, 2006. 24 с.
2. Романова О.Л. Анализ пространственно-временной изменчивости альгофлоры искусственных водоемов в черте города // Автореф. дис..... канд. биол. наук. Москва, 2007. 24 с.
3. Шкундина Ф.Б. Доминирующие виды фитопланктона рек различных географических регионов (на примере рек, расположенных на территории бывшего СССР) // Альгология. Киев, 2006. № 2, С. 88-100.
4. Турьянова Р.Р. Фитопланктон разнотипных водоемов на территории г. Уфы // Автореф. Дис. канд. биол. наук. Уфа, 2006. 16 с.
5. Штина Э.А. Использование водорослей в качестве биологических индикаторов // Материалы I Ест. науч. краевед. чтений / Кир. гос. объедин. ист.-архит. и лит. музей. Киров, 1992. С. 107-108.
6. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова Тель-Авив: «РШез зшбйо», 2006. 498 с.
7. Sládeček V.. System of water quality from the biological point of view. // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebnisse der Limnologie. 1973. 7. P. 1-218.
8. Watanabe T. Numerical index of water quality using diatom assemblages // In: M. Yasuno and A. Whitton (eds.), Biological monitoring of environmental pollution. Tokyo: Tokai Univ. Press: 1988. P. 179-192.
9. Tavassi M. Algal indicators of the environment in the Nahal Yarqon Basin Central Israel // International Journ. 2004. Algae 6 (4). P. 355-382.
10. Голлербах М.М. Синезеленые водоросли // Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И. // Определ. пресновод. водор. СССР. М.: Советская наука, 1953. Вып. 2. 652 с.
11. Водоросли. Справочник / Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
12. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Зеленые водоросли. Класс Улотриксковые (1). Порядок Улотриксковые (Определитель пресноводных водорослей СССР. вып.10).Л.: Наука, 1986. 360 с.
13. Guiry M.D. & Guiry G.M. 2011. AlgaeBase. World-wide electronic publication // National University of Ireland, Galway. Электронный ресурс: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy>
14. Шкундина Ф.Б. Распределение видов фитопланктона р. Белой (Башкирия) по градиентам факторов среды // Гидробиологический журнал. Киев, 2001. Т. 37. № 2. С. 20-24.
15. Шааб А.С. Сезонная динамика альгофлоры Борисовского водохранилища (Белгородская область) // Вестник ЛГУ. 1980. № 9. С. 45-50.
16. Захарова Е.А. Альгоценозы водоемов и почв урбанизированных территорий (на примере города Ишимбая, Башкортостан) // Автореф. дис..... канд. биол. наук. Уфа, 2003. 16 с.



F.B. Shkundina, O.A. Nikitina

WATER SUBJECT MONITORING OF BASHKORTOSTAN REPUBLIC CITIES ON BASIS OF ALGAE AND CYANOPROKARYOTA INVESTIGATION

Results of cyano-bacterial algae coenosis for monitoring water subjects and soils in Bashkortostan

Republik cities have been presented, features of communities in various ecosystems have been described.

Key words: algae, cyanoprokaryota, city, monitoring