

ISSN: 2219-8229

E-ISSN: 2224-0136

Founder: Academic Publishing House *Researcher*

DOI: 10.13187/issn.2219-8229

Has been issued since 2010.



European Researcher. International Multidisciplinary Journal

Biological Sciences

Биологические науки

UDC 579.6

Algae and Cyanobacteria as Biomarkers for the State of the Activated Sludge

¹ Faina B. Shkundina

² Guzel F. Gabidullina

¹⁻² Bashkir State University, Russian Federation

Ufa, Zaki Validi, 32

¹ Dr. (Biological), Professor

² PhD (Biological), Assistant Professor

E-mail: shkundinafb@mail.ru

Abstract. The aim of this study was the identification of activated sludge algae and cyanobacteria as biomarkers for the state of the activated sludge at biological treatment plants in the territory of the Republic of Bashkortostan. We have identified changes in dominating species complexes. We have identified 11 species at two or more treatment plants. 4 groups have been identified at biological treatment plants in the Republic of Bashkortostan: Cyanobacteria (Microcystis, Oscillatoria, Phormidium, Spirulina, Synechocystis); Diatoms (Cyclotella, Stephanodiscus, Diatoma, Navicula); Euglena (Euglena, Trachelomonas); the Green (Chlamydomonas, Chlorella, Oocystis). Our results were compared with those of assessing the state of the activated sludge using bioestimators.

Keywords: algae; cyanobacteria; activated sludge; biological treatment plants; dominant species.

Введение. Анализ активного ила основывается на определении видового и группового состава его обитателей и оценке физиологического состояния организмов – индикаторов, которые свидетельствуют о качестве очистки воды. Водоросли, благодаря стенотопности многих видов, их высокой чувствительности к условиям окружающей среды играют важную роль биоиндикаторов [1]. Так, для токсикологического анализа используют зеленые водоросли родов *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Chlamydomonas* и др. Представили этих групп, отмечены нами в составе активного ила [2]. Индикаторами сапробности [3] активного ила являются следующие группы водорослей и цианобактерий: цианобактерии (*Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*), диатомовые (*Diatoma*, *Melosira*, *Navicula*, *Scenedesmus*, *Cyclotella*, *Nitzschia*), динофитовые (*Peridinium*, *Gymnodinium*, *Amphidinium*, *Katodinium*), криптофитовые (*Chilomonas*), зеленые (*Polytoma*, *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*), эвгленовые (*Euglena*, *Astasia*, *Petalomonas*, *Peranema*). Вопросы использования водорослей и цианопротокариот в качестве биомаркеров активного ила недостаточно разработаны.

Целью проводимого исследования было выявление водорослей и цианобактерий как биомаркеров состояния активного ила биологических очистных сооружений на территории Республики Башкортостан.

Материал и методы. Материалом для работы послужили 186 проб активного ила, отобранных из аэротенков БОС г. Уфы. Пробы отбирались с ноября 2005 по май 2008 гг. Отбор осуществлялся отдельно из каждого сооружения: аэротенка, регенератора, вторичного отстойника. Количественный учет водорослей и цианобактерий в пробах активного ила производился по методике Г.Н. Соловых и др. (2003) [4]. Обработка материала по составу водорослей и цианобактерий соответствовала общепринятым методам [1].

Результаты и их обсуждение. Нами были выявлены изменения комплексов доминирующих видов (табл. 1). Для выделения комплексов доминирующих видов мы суммировали баллы обилия по всем пробам, и виды, имеющие сумму обилия больше 25, рассматривали как доминирующие. Показатель 25 брался по экспертным оценкам. Выявленные таким образом виды встречаются круглый год и изменяются независимо от сезона.

Oscillatoria agardhii доминирующий вид, постоянно присутствующий как в пробах аэротенка, так и в пробах, отобранных в регенераторе. Высокие показатели обилия наблюдались в летние периоды 2006-2007 гг. (минимальное значение обилия - 2, максимальное - 5), высокие показатели наблюдались также зимой и осенью 2007 г. Минимальное значение показателей баллов обилия было зарегистрировано весной 2006 г.

Chlorella vulgaris круглогодично присутствовала в составе активного ила. Среднее значение баллов обилия составило 2 практически во всех сезонах исследованных годов.

Минимальное значение равно 1 наблюдалось только зимой 2006 г.; максимальное же значение (5) было обнаружено весной этого же года. Представитель рода *Trachelomonas* в пробах присутствовал от «единично» (1) до «много» (4). Баллы обилия летне – осеннего периода 2007 г. характеризовались увеличением показателей в 2 раза по сравнению с 2006 г. Единично этот представитель эвгленовых водорослей встречался летом и осенью 2006 г., а так же зимой 2007 г.

Таблица 1

Доминирующие виды цианобактериально-водорослевого ценоза (ЦВЦ) активного ила БОС г. Уфы

Название вида	Баллы обилия							
	Зима		Весна		Лето		Осень	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
<i>Chlamydomonas</i> sp. sp.	2	3-4	1-4	1	1-3	2	1-4	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	1	2-3	1-5	1-3	2-3	1-3	1-3	2-3
<i>Dinobryon divergens</i>	2	1	1-2	1	2-3	2	1-3	1
<i>Microcystis aeruginosa</i>	2-4	-	-	2-3	-	-	-	3
<i>Oscillatoria agardhii</i>	3-5	4-5	2-5	4-5	4	4-5	3-5	4-5
<i>Spirulina platensis</i>	1-2	1-3	1-3	2-3	-	1-3	1-2	2-3
<i>Spirulina tenuissima</i>	2	3	1-2	2	-	2	1-3	-
<i>Trachelomonas</i> sp. sp.	1-4	1	1-3	2	1	2	1	2
<i>Trochiscia aciculifera</i>	2	2	1-3	-	-	-	1-3	1

Dinobryon divergens в наших исследованиях вид встречался повсеместно: по баллам обилия 2006 г. показатели были выше, чем в 2007 г. В летний период 2007 г. максимальное значение составило 2.

Род *Spirulina* включал 2 доминирующих вида: *S. platensis* и *S. tenuissima*. Оба эти вида имели максимальное значение обилия 3 во все исследованные года. Одновременно с этим оба эти вида не встречались летом 2006 г. *S. tenuissima* не встречалась в осенних пробах 2007 г. Показатели обилия в зимних пробах одинаковы для обоих видов. В весенних пробах показатели развития *S. platensis* на балл выше, чем у *S. tenuissima*.

Представители рода *Chlamydomonas* характеризовались высокими показателями в зимних пробах 2006-2007 гг. В весенне – осенний период 2006 г. *Chlamydomonas* встречались от «единично» до «много» (1-4), тогда как весной – летом 2007 г. характеризовались обилием от 1 до 2, а в осенних пробах этот вид не встречался.

Вид *Trochiscia aciculifera* с обилием «мало» (2) встречался в зимний период 2006 г, а также 2007 г. Также этот вид максимально был отмечен весной (2006 г.) и осенью (2006–2007 гг.). В летних пробах представитель зеленых водорослей - *Trochiscia aciculifera* не встречался.

Microcystis aeruginosa встречался с обилием от «мало» до «много» зимой 2006 г. и больше в пробах этого года не встречался. В 2007 г. данный вид отмечен в пробах весны и осени с обилием от «мало» до «порядочно», в летние периоды этот вид не наблюдался. Таким образом, указанные доминирующие виды в основном встречаются в составе активного ила круглый год без корреляции с определенным сезоном.

Субдоминирующие виды ЦВЦ активного ила характеризовались суммой баллов обилия от 10 до 24 (табл. 2). *Cyclotella melosiroides* – это субдоминирующий вид, часто встречающийся в весенние периоды 2006–2007 гг. С небольшими показателями обилия этот вид встречался летом и осенью 2007 г., а в другие сезоны не был отмечен в пробах. *Gomphosphaeria lacustris* впервые была отмечена осенью 2006 г., с показателями обилия от «единично» до «мало» этот вид наблюдался зимой и весной 2007 г. Неидентифицированный нами до вида представитель рода *Navicula* встречался с показателями обилия от «единично» до «мало» только весной в течение двух исследованных лет, в другие сезоны этот представитель диатомовых водорослей не наблюдался.

Таблица 2

Субдоминирующие виды ЦВЦ активного ила

Название вида	Баллы обилия							
	Зима		Весна		Лето		Осень	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
<i>Cyclotella melosiroides</i>	-	-	1-3	1-2	-	2	1-2	-
<i>Euglena viridis</i>	2	1-3	1	-	-	1	1-2	-
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	-	1-2	-	1-2	-	-	1-2	-
<i>Microcystis pulverea</i>	-	4	2-3	4	-	1	3	1-3
<i>Navicula sp.sp.</i>	-	-	1-2	1-2	-	-	-	-

Microcystis pulverea имел значительное развитие зимой 2007 г., в весенние периоды баллы обилия изменялись от «мало» до «много», высокое обилие было также осенью. *Euglena viridis* единично наблюдалась весной 2006 г. и летом 2007 г. От 1 до 3 изменялось обилие зимой 2006 – 2007 гг., а также осенью 2006 г.

В табл. 3 приведен список водорослей и цианопрокариот, обнаруженных в активном иле более, чем 2-х очистных сооружения. На биологических очистных сооружениях г. Межгорья [3] численность водорослей в марте изменялась от 36 до 1269252 тыс. кл/л. Максимальная численность цианопрокариот и диатомей была в первичных отстойниках. Ведущими видами для БОС г. Межгорья были *Microcystis aeruginosa*, *M. pulverea*, *Synechocystis aquatilis*, *Oscillatoria mirabilis*, *O. brevis*, *Chlorella vulgaris*. В наших исследованиях *M. aeruginosa* и *Ch. vulgaris* также входили в комплекс доминирующих видов, а *M. pulverea* – субдоминирующих. *Synechocystis aquatilis* присутствовал в наших пробах единично.

Таблица 3

Виды, выявленные на 2-х и более очистных сооружениях

Название видов	Баллы обилия					Зона сапробности	индекс
	Уфа	**Давлеканово	**Межгорье	*Белорецк	Кишнев		
<i>Microcystis aeruginosa</i>			4	+	+	β	2.00
<i>Oscillatoria agardhii</i>	5	5				$\beta - o$	1.60
<i>O.tenuis</i> (<i>Phormidium tenue</i> (syn))				+	+	$\beta - \alpha$	2.50
<i>Spirulina platensis</i>	2		2	+		β	2.00
<i>Spirulina tenuissima</i>	1	3		+		—	
<i>Synechocystis aquatilis</i>			3	+		o	1.00
<i>Cyclotella melosiroides</i>	2			+	+	$\beta - \alpha$	2.50
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>				+	+	$\beta - \alpha$	2.70
<i>Euglena viridis</i>	1				+	i	5.00
<i>Chlamydomonas</i> sp. sp.		4		+		$\beta - p$	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	4	3	3	+	+	α	3.00

*Шкундина и др., 2013 [6]; **Шкундина и др., 2006 [5]

В составе ЦВЦ активного ила на БОС г. Давлеканово [5] в массе развивались *Oscillatoria agardhii* и *O. limosa*, а также *Spirulina tenuissima*, что в целом совпадает с нашими данными.

Теперь сгруппируем водоросли, выявленные в активном иле БОС РБ по группам.

1. Цианобактерии (*Microcystis*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Spirulina*, *Synechocystis*)
2. Диатомовые (*Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Diatoma*, *Navicula*)
3. Эвгленовые (*Euglena*, *Trachelomonas*)
4. Зеленые (*Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Oocystis*)

Распределение выявленных видов водорослей и цианобактерий по зонам сапробности представлено в таблице 4. Максимальное видовое разнообразие биоиндикаторов было выявлено в активном иле в г. Кишнев. На очистных сооружениях городов Республики Башкортостан доминировали o и β -мезосапробы, 1 α -мезосапроб выявлен на всех очистных сооружениях.

Таблица 4.

Распределение выявленных видов водорослей и цианобактерий по зонам сапробности

Зона сапробности (в скобках колво видов)	Количество видов				
	Уфа	Давлеканово	Межгорье	Белорецк	Кишнев
X (1)	-	-	-	1	-
$\chi - o$ (1)	-	-	-	1	-
$o - \chi$ (2)	-	-	-	-	2
o (5)	-	-	1	4	1
$o - \beta$ (3)	2	-	-	-	1
$\beta - o$ (6)	2	2	1	3	1

$\alpha - \alpha$ (6)	-	-	3	2	3
β (13)	3	-	2	5	5
$\beta - \alpha$ (5)	1	-	-	2	5
α (4)	1	1	1	1	4
$\alpha - \beta$ (2)	-	-	-	1	2
ρ (2)	-	-	-	-	2
$\alpha - \rho$ (1)	-	-	-	-	1
$\beta - \rho$ (4)	-	1	1	2	1
i (1)	1	-	-	-	1
m (5)	-	-	-	-	5

Все микроорганизмы, трансформирующие органические вещества, были подразделены на группы биоэстиматоров О.Д. Никитиной [7]. Ряд групп водорослей и цианопрокариот на БОС г. Белорецка были отнесены нами к биоэстиматорам. В обследованных, нами аэротенках г. Белорецка выявлены представители отдела Cyanobacteria (рис.), которые и относятся к третьей группе биоэстиматоров с пороговой численностью 1,5 тыс. кл/мл (табл. 5). При их интенсивном развитии рекомендуется выявлять и пресекать нарушающее влияние стоков соответствующих предприятий. Другими выявленными биоэстиматорами были жгутиковые, эвгленовые и золотистые. Для восстановления активного ила рекомендуется увеличение проточности воды (рис.).

The screenshot displays the 'Similarity' software interface. On the left is a hierarchical ontology tree with categories like 'Foaming_of_activated_sludge', 'Organism', 'Equipment', 'Water', 'Process', and 'Substance'. The central pane shows a list of cases: 'Case_1' (0.7234), 'Case_12' (0.6354), and 'Case_34' (0.4324). The bottom pane shows an attribute table with columns 'Attribute' and 'Type'. The table contains three rows: 'hasPH' (xsd:int), 'hasTemperature' (xsd:int), and 'containsPollutant' (Organic_Substance).

Attribute	Type
hasPH	xsd:int
hasTemperature	xsd:int
containsPollutant	Organic_Substance

Рис. Главное окно системы поддержки принятия решений при анализе ситуации в активном иле на биологических очистных сооружениях.

Проведенные нами исследования позволили выявить динамику численности биоэстиматоров в аэротенке. Данные представлены в табл.5.

Таблица 5

Численность биоэстиматоров в аэротенке БОС г. Белорецка (в тыс. кл/мл)

Биоэстиматоры	Число клеток					
	Цианобактерии			Жгутиковые		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Зима	33	52	60	8	4	10
Весна	26	48	72	4	2	5
Лето	38	56	80	-	44	46
Осень	20	34	56	12	19	24

При рассмотрении численности биоэстиматоров третьей группы (цианобактерий) оказалось, что в аэротенке как по годам так и по сезонам происходит увеличение численности. Максимальное увеличение численности цианобактерий наблюдается в 2010 году. При сравнении с 2008 годом происходит увеличение в два раза. Данное увеличение говорит о присутствии загрязняющих органических примесей в воде, что подтверждается гидрохимическим анализом БПК и ХПК (табл.5) [6].

Таблица 6

Изменение ХПК и БПК за период исследования

	2008		2009		2010	
	ХПК мг/дм ³	БПК мг/дм ³	ХПК мг/дм ³	БПК мг/дм ³	ХПК мг/дм ³	БПК мг/дм ³
Зима	140,3	35,6	155,5	44,0	196,6	87,9
Весна	170,6	43,3	99,2	23,9	184,6	84,9
Лето	134,6	52,0	110,6	37,9	211,0	98,0
осень	269,9	59,3	209,6	54,9	214,0	103,0

При рассмотрении первой группы биоэстиматоров – жгутиковых, в наших исследованиях наблюдается максимальное увеличение численности в летний период 2010 г. Возможные причины увеличения связаны со сбоем в перекачке циркулирующего активного ила, вследствие увеличения концентрации активного ила, в летний период, когда складываются благоприятные условия для развития.

Таким образом, проведенные нами исследования позволили выявить в активном иле БОС на территории Республики Башкортостан 4 группы биоиндикаторов (цианобактерии, диатомовые, эвгленовые и зеленые водоросли) и 2 группы биоэстиматоров (цианобактерии и жгутиковые).

Примечания:

1. Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П., и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
2. Шкундина Ф.Б., Шкундина Р.А., Габидуллина Г.Ф. К вопросу о разработке онтологии биологической очистки сточных вод // Вестн. БашГУ. 2008. № 2. С. 277–278.
3. Журминская О. Оценка состояния биоценоза активного ила и создание базы данных экспертной системы // Дисс.... на соискание ученой степени доктора биологии. Кишнев, 2012. 189 с.
4. Соловых Г.Н., Левин Е.В., Пастухова Г.В. Биотехнологическое направление в решение экологических проблем. Екатеринбург, 2003. 295 с.
5. Шкундина Ф.Б., Книсс В.А., Шкундина Р.А., Таминдарова Л.А. Интеллектуальный анализ данных мониторинга биологических очистных сооружений // Экология и промышленность России. 2006. №9. С. 35-37.
6. Шкундина Ф.Б., Габидуллина Г.Ф., Ядыкина М.Г. Цианопрокариотно-водорослевые ценозы в очистке сточных вод (на примере биологических очистных сооружений гг. Белорецк и Уфа) // Альгология. 2013, т.23. №2. С. 216-227.

7. Никитина О.Д. Биоэстимация: контроль и регулирование процессов биологической очистки и самоочищения воды // Автореферат дис.... на соискание ученой степени докт. биол. наук. М., 2012. 44 с.

8. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей–индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.

References:

1. Vodorosli. Spravochnik / Vasser S.P., Kondrat'eva N.V., Masyuk N.P., i dr. Kiev: Nauk. dumka, 1989. 608 s.

2. Shkundina F.B., Shkundina R.A., Gabidullina G.F. K voprosu o razrabotke ontologii biologicheskoi ochistki stochnykh vod // Vestn. BashGU. 2008. № 2. S. 277–278.

3. Zhurminskaya O. Otsenka sostoyaniya biotsenoza aktivnogo ila i sozdanie bazy dannykh ekspertnoi sistemy // Diss.... na soiskanie uchenoi stepeni doktora biologii. Kishenev, 2012. 189 s.

4. Solovykh G.N., Levin E.V., Pastukhova G.V. Biotekhnologicheskoe napravlenie v reshenie ekologicheskikh problem. Ekaterinburg, 2003. 295 s.

5. Shkundina F.B., Kniss V.A., Shkundina R.A., Tamindarova L.A. Intellektual'nyi analiz dannykh monitoringa biologicheskikh ochistnykh sooruzhenii // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2006. №9. S. 35-37.

6. Shkundina F.B., Gabidullina G.F., Yadykina M.G. Tsianoprokariotno-vodoroslevye tsenozy v ochistke stochnykh vod (na primere biologicheskikh ochistnykh sooruzhenii gg. Beloretsk i Ufa) // Al'gologiya. 2013, t.23. №2. S. 216-227.

7. Nikitina O.D. Bioestimatsiya: kontrol' i regulirovanie protsessov biologicheskoi ochistki i samoochishcheniya vody // Avtoreferat dis.... na soiskanie uchenoi stepeni dokt. biol. nauk. М., 2012. 44 с.

8. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslei–indikatorov okruzhayushchei sredy. Tel'-Aviv, 2006. 498 с.

УДК 579.6

Водоросли и цианобактерии как биомаркеры состояния активного ила

¹Фаина Борисовна Шкундина

²Гузель Фаилевна Габидуллина

¹ Башкирский государственный университет, Российская Федерация

доктор биологических наук, профессор

4500076, г. Уфа ул. Заки Валиди, 32.

E-mail: shkundinafb@mail.ru

² Башкирский государственный университет, Российская Федерация

кандидат биологических наук

Аннотация. Целью проводимого исследования была идентификация водорослей и цианобактерий активного ила как биомаркеров состояния активного ила биологических очистных сооружений на территории Республики Башкортостан. Мы выявили изменения комплексов доминирующих видов. 11 видов были выявлены на 2-х и более очистных сооружениях. В активном иле биологических очистных сооружений Республики Башкортостан были выделены 4 группы: Цианобактерии (Microcystis, Oscillatoria, Phormidium, Spirulina, Synechocystis); Диатомовые (Cyclotella, Stephanodiscus, Diatoma, Navicula); Эвгленовые (Euglena, Trachelomonas); Зеленые (Chlamydomonas, Chlorella, Oocystis). Наши результаты сравнивались с результатами оценки состояния активного ила с использованием биоэстиматоров.

Ключевые слова: водоросли; цианобактерии; активный ил; биологические очистные сооружения; доминирующие виды.