



УДК 574.21:581.526.325.2

ФИТОПЛАНКТОН КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМА (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БАРСКОЕ, ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Т. В. Дрозденко

Дрозденко Татьяна Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и экологии растений, Псковский государственный университет, tboichuk@mail.ru

Для оценки экологического состояния водоемов широко используют показатели развития фитопланктона. В статье рассматривается применение микроводорослей в оценке качества воды на примере озера Барское. Сбор и обработка гидробиологического материала проводились в осенний период 2016 г. стандартными методами. Фитопланктон представлен 76 таксонами рангом ниже рода, относящимися к 7 отделам: *Chlorophyta* (30), *Bacillariophyta* (16), *Cyanophyta/Сyanoprocarvota* (12), *Euglenophyta* (7), *Chrysophyta* (5), *Cryptophyta* (3), *Dinophyta* (3). Основу фитопланктона составляет зелено-диатомовый комплекс с присутствием цианопрокариот. Оценены количественные показатели развития осеннего фитопланктона. Согласно данным максимальные значения численности принадлежат представителям отдела *Сyanoprokaryota*. Среди них выделены следующие доминанты: *Aphanocapsa delicatissima* West et West, *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. et Hind., *Aphanothece* sp., *Mycrocystis pulverea* (Wood.) Forti emend. Elenk., *Mycrocystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. С помощью индекса Шеннона изучено информационное разнообразие фитопланктонных сообществ озера Барское, которое показало их среднюю сложность структуры. Дана эколого-географическая характеристика фитопланктона, согласно которой в озере преобладают широко распространенные, пресноводные, планктонные виды, предпочитающие нейтральную реакцию среды. Проведенный сапробиологический анализ показал, что воды озера Барское соответствуют III классу качества и β -мезосапробной зоне самоочищения.

Ключевые слова: экологический мониторинг, биоиндикация, альгофлора, фитопланктон, таксономический состав, эколого-географическая характеристика, сапробность, озеро Барское, Псковская область.

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231

Одной из самых острых и актуальных проблем XXI в. является проблема состояния водных объектов. В результате мощнейшего антропогенного пресса на водоемы в водных экосистемах нарушается исторически сложившееся равновесие и тем самым ухудшается качество воды [1].

Важным элементом системы контроля загрязнения водной среды являются гидробиологические показатели. Контроль окружающей природной среды по гидробиологическим показателям является высоко приоритетным также с точки зрения обеспечения возможности прямой

оценки состояния водных экологических систем, испытывающих вредное влияние антропогенных факторов [2].

Для оценки экологического состояния водоемов широко используют показатели развития фитопланктона, что обусловлено его положением автотрофного продуцента в основании экологической пирамиды. Микроводоросли первыми вступают в контакт с загрязнениями, поэтому их считают хорошими биологическими индикаторами качества воды в водоемах разных типов [3]. Подобные работы имеют высокую практическую значимость, поскольку позволяют не только установить экологическое состояние водоемов, но и разработать методические рекомендации по его улучшению и стабилизации.

Изучение фитопланктона особенно важно при определении трофического статуса водных экосистем. Озера как естественные водоемы играют важную роль в природе и являются уникальными объектами для исследования состояния окружающей среды.

В настоящее время особую актуальность приобретают региональные альгофлористические исследования, способствующие процессу изучения общего видового разнообразия флоры водорослей. Проблема изучения и сохранения видов, находящихся на грани исчезновения, охватывает практически все группы живых существ, включая и водоросли [4].

Обобщение и анализ полученных при исследовании данных позволяют выявить особенности экологии и распространения отдельных видов и групп в пределах региона. Важное место занимают альгофлористические исследования и в плане проведения регионального экологического мониторинга.

Озеро Барское расположено в Струго-Красненском районе Псковской области, имеет площадь 56 га и среднюю глубину 2,5 м. Озеро является глухим, с сильно изрезанными высокими берегами, неровным илистым дном. Общая зарастаемость макрофитами не превышает 8 %. Здесь встречается *Phragmites communis* Trin., *Nuphar luteum* (L.) Smith., *Nuphar pumila* (Timm) DC., *Potamogeton natans* L. В зоне прибрежных





мелководий водоема произрастает редкий макрофит, занесенный в Красные книги России и Псковской области, – *Lobelia dortmanna* L. [5]. Поэтому необходимо регулярно оценивать экологическое состояние озера, чтобы не допустить необратимых процессов в водоеме.

Цель работы – изучить современное состояние фитопланктона озера Барское и дать оценку качества воды по показателям его развития.

Материалы и методы

Сбор фитопланктона проводили в осенний период 2016 г. Пробы отбирали пластиковым пробоотборником объемом 0,5 л в 3 местах озера

(у берегов и в центре) (рис. 1) и фиксировали 40%-ным формалином до слабого запаха. Обработку гидробиологического материала проводили по стандартной методике [6, 7]. После концентрации осадочным методом фитопланктон просчитывали в камере Нажотта объемом 0,05 см³. Все организмы по возможности определяли до вида с использованием микроскопа Carl Zeiss Axio Lab. A1 с помощью как отечественных [8–12], так и зарубежных определителей [13–15]. При выделении и расположении отделов водорослей использовали систему, принятую в справочнике «Водоросли» [16]. Названия видов даны с учетом современных номенклатурных ревизий.



Рис. 1. Карта озера Барское (1, 2, 3 – станции отбора проб)

При исследовании количественных проб фитопланктона проводили пересчет численности на 1 л воды по общепринятой формуле [7].

Для изучения информационного разнообразия фитопланктонных сообществ озера Барское использовали индекс Шеннона [17].

Для выделения экологических групп и уточнения эколого-географических характеристик водорослей использовали определители и данные из ряда монографий [18, 19]. Индекс сапробности рассчитывали по методу Пантле–Букка в модификации Сладечека [20].

Результаты и их обсуждение

В осеннем фитопланктоне озера Барское выявлено 76 таксонов рангом ниже рода из 7 отделов, 12 классов, 18 порядков, 32 семейств и 55 родов (табл. 1).

По числу видов доминирующее положение занимал отдел Chlorophyta, в состав которого входило 39,5 % от общего числа видов. Самыми богатыми были семейства Oocystaceae Bohlin и Scenedesmaceae Oltm., включающие по 7 видов.

Далее следовали отделы Bacillariophyta и Cyanoprokaryota, содержащие 21,1 и 15,8%



Таблица 1

Таксономический состав фитопланктона Барского озера, октябрь 2016

Отдел	Число					% от общего числа
	классов	порядков	семейств	родов	видов	
Chlorophyta	3	5	11	22	30	39,5
Bacillariophyta	2	5	10	14	16	21,1
Суанопрокариота	2	3	5	8	12	15,8
Euglenophyta	1	1	1	3	7	9,2
Chrysophyta	2	2	2	4	5	6,6
Сруптофита	1	1	1	2	3	3,9
Dinophyta	1	1	2	2	3	3,9
Итого	12	18	32	55	76	100

микроводорослей от общей численности соответственно. По числу видов отличались семейства *Fragillariaceae* Grev. из диатомей (3 вида) и *Merismopediaceae* Elenk. из цианопрокариот (4 вида). Преобладание данных отделов характерно для водоемов Северо-Западного региона [21].

На долю отделов *Euglenophyta* и *Chrysophyta* приходилось 9,2 и 6,6% от общего числа видов соответственно. Отделы *Сруптофита* и *Dinophyta* отличались меньшим видовым богатством и содержали по 3 вида каждый.

Наибольшее число таксонов микроводорослей рангом ниже рода отмечено в середине озера (ст. 2) – 54 таксона (71,1% от общего числа видов), а наименьшее – на станции 1 – 48 (63,2%).

На станции 3 обнаружен 51 таксон микроводорослей (67,1%).

Показатели численности осеннего фитопланктона озера Барское изменялись в широком диапазоне в зависимости от места отбора пробы: от 402,4 тыс. кл/л (станция 1) до 1,7 млн кл/л (станция 3). В среднем в осенний период количество фитопланктона составило 968,5 тыс. кл/л (табл. 2). Данные колебания численности могут быть связаны с тем, что в октябре 2016 г. в районе исследования преобладали ветра северо-западного направления, что повлекло за собой сгон вод к юго-восточной части озера, чем и объясняется большое количество микроводорослей на станции отбора проб 3.

Таблица 2

Численность осеннего фитопланктона озера Барское, октябрь 2016 г.

Отделы	Численность, тыс. кл/л			
	Станции отбора проб			Среднее
	1	2	3	
Суанопрокариота	252,8	604,8	1592,8	816,8 ± 401,1
Euglenophyta	6,4	14,4	6,4	9,1 ± 2,7
Chrysophyta	4,8	3,2	0,8	2,9 ± 1,2
Bacillariophyta	37,6	62,4	53,6	51,2 ± 7,3
Dinophyta	4,8	12	7,2	8 ± 2,1
Сруптофита	6,4	3,2	0,8	3,5 ± 1,6
Chlorophyta	61,6	64,8	40,8	55,7 ± 7,5
Мелкие жгутиковые	28	21,6	14,4	21,3 ± 3,9
Итого	402,4	786,4	1716,8	968,5 ± 390,2

Максимальные значения численности принадлежат представителям отдела *Суанопрокариота* – от 252,8 тыс. кл/л на ст. 1 до 1592,8 тыс. кл/л на ст. 3 ($N_{cp} = 816,8$ тыс. кл/л). Среди них выделены явные

доминанты: *Aphanocapsa delicatissima* West et West, *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. et Hind., *Aphanothece* sp., *Mycrocystis pulverea* (Wood.) Forti emend. Elenk., *Mycrocystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. (табл. 3).



Таблица 3

Виды-доминанты осеннего фитопланктона озера Барское, октябрь 2016 г.

Станция отбора проб	Вид	Численность, тыс. кл/л	% от общей численности
3	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	624	36,3
	<i>Aphanothece sp.</i>	384	22,4
	<i>Snowella lacustris</i>	336	19,6
2	<i>Snowella lacustris</i>	232	29,5
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	200	25,4
	<i>Myrocystis pulverea</i>	80	10,2
1	<i>Aphanothece sp.</i>	96	23,9
	<i>Myrocystis pulverea</i>	48	11,9
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	40	10
	<i>Myrocystis aeruginosa</i>	40	10

На втором месте по количественным показателям был отдел Chlorophyta. Численность зеленых водорослей изменялась от 40,8 тыс. кл/л на станции 3 до 60,8 тыс. кл/л в середине озера – станции 2 ($N_{cp} = 55,7$ тыс. кл/л).

Численность диатомовых водорослей варьировала в пределах 242 тыс. кл/л – 3,2 млн кл/л ($N_{cp} = 1,2$ млн кл/л).

На остальные отделы приходился меньший процент численности микроводорослей (см. табл. 2).

Согласно неопубликованным данным исследований 1988 г. в озере Барское было обнаружено всего 36 видов микроводорослей из 6 отделов. Представители отдела Cryptophyta отсутствовали. Доминировал по числу видов отдел Bacillariophyta (36,1%), на втором месте разместились Chlorophyta и Cyanoprokaryota, содержащие по 22,2 % от общего числа видов микроводорослей. Исходя из данных почти за 20 лет видовое богатство альгофлоры озера Барское увеличилось более чем в 2 раза. В сентябре 1988 г. численность микроводорослей составляла 560,0 тыс. кл/л, что практически в 2 раза меньше, чем в осенний период 2016 г. Преобладали по численности диатомовые водоросли из рода *Melosira* Ag.

Оценка α -разнообразия фитопланктонных сообществ озера Барское показала, что максимальным значением индекса Шеннона характеризуется станция 1 ($H = 2,81$), что указывает на наибольшую выравненность сообществ микроводорослей в данной точке исследования. Наименьшее значение индекса отмечено на станции 3 ($H = 2,12$). В середине

озера (станция 2) значение индекса Шеннона составило 2,43. В целом значения индексов Шеннона указывают на среднюю сложность структуры фитопланктонных сообществ озера Барское.

Эколого-географический анализ показал, что по отношению к местообитанию большинство микроводорослей озера Барское являются истинно планктонными (57,9% от общего числа видов) (табл. 4). На планктонно-бентосные формы приходится 33,0%, на бентосные формы и обитателей обрастаний – 5,4 и 2,6% соответственно. Меньший процент составляют литоральные водоросли (1,3%).

По отношению к солёности в Барском озере доминируют индифференты (46,1%), на втором месте находятся галофилы (9,2%). В меньшем количестве содержатся галофобы и олигогалофобы. Данных по этому показателю нет у 40,8% водорослей.

По отношению к показателю pH в фитопланктоне исследуемого озера половина представителей данных не имеют. На группу индифферентов приходится 30,3%, алкалифилов – 13,0%, ацидофилов – 5,4% микроводорослей. Невелика группа алкалибионтов – 1,3%.

По географическому распространению больше половины микроводорослей являются космополитами (60,5%). На долю бореальных и голарктических видов приходится соответственно 3,9 и 2,6%. Данных нет у 33,0% встреченных видов (см. табл. 4).

Согласно сапробиологическому анализу в фитопланктоне Барского озера обнаружено 48 видов-индикаторов сапробиальности, из которых



Таблица 4

**Эколого-географическая характеристика фитопланктона озера Барское,
октябрь 2016 г.**

Показатели	Число видов	% от общего числа видов
Местообитание		
Планктонные	44	57,9
Бентосные	4	5,4
Планктонно-бентосные	25	33,0
Обитатели обрастаний	2	2,6
Литоральные	1	1,3
Галобность		
Индифференты	35	46,1
Галофилы	7	9,2
Галофобы	1	1,3
Олигогалофы	2	2,6
Нет данных	31	40,8
Отношение к рН		
Ацидофилы	4	5,4
Индифференты	23	30,3
Алкалибионты	1	1,3
Алкалифилы	10	13,0
Нет данных	38	50,0
Распространение		
Космополиты	46	60,5
Бореальные	3	3,9
Голарктические	2	2,6
Нет данных	25	33,0

большую часть составляют бета-мезосапробы (45,8 %). На долю микроводорослей, предпочитающих чистые воды, приходится 31,2 %, а

на долю фитопланктонов, предпочитающих загрязненные воды, – 10,5 % (рис. 2). Индекс сапробности по Пантле–Букку равен 1,93.

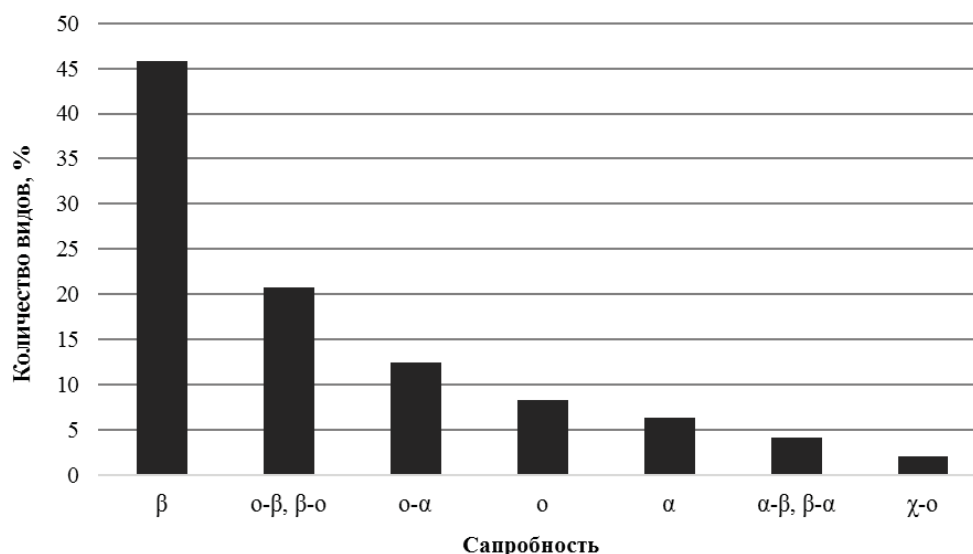


Рис. 2. Сапробиологическая структура фитопланктона озера Барское, осень 2016 г.



Таким образом, полученные данные позволяют судить о том, что альгофлора озера Барское в осенний период 2016 г. характеризуется как зелено-диатомовая с присутствием цианопрокариот. Преобладают широко распространенные, пресноводные планктонные виды, предпочитающие нейтральную реакцию среды. Воды озера Барское соответствуют III классу качества (удовлетворительной чистоты) и β -мезосапробной зоне самоочищения.

Список литературы

1. Чуйков Ю. С., Бухарицин П. И., Киселева Л. А., Фильчаков В. А., Сапрыкин В. Н., Лабунская Е. Н. Гидролого-гидробиологический режим нижней Волги // Экология Астраханской области. 1996. Вып. 4. 253 с.
2. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям : учеб.-метод. разработка по курсу «Гидробиология» / сост. О. Ю. Деревенская. Казань : КФУ, 2015. 44 с.
3. Абакумов В. А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям : тр. сов.-англ. семинара. Л. : Гидрометеоздат, 1977. С. 93–99.
4. Шкундина Ф. Б. Биосфера и человечество : учеб. пособие. Уфа : РИО БашГУ, 2002. 96 с.
5. Статистическо-географический словарь Струго-Красненского района Псковской области / авт.-сост. : А. Н. Ефимов, А. И. Федоров. Струги Красные, 2015. 440 с.
6. Масюк Н. П., Радченко М. И. Методы сбора и изучения водорослей // Водоросли : справочник / отв. ред. С. П. Вассер. Киев : Наук. думка, 1989. С. 170–188.
7. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : метод. руководство. М. : Университет и школа, 2003. 157 с.
8. Голлербах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР / отв. ред. М. М. Голлербах. М. : Сов. наука, 1953. Вып. 2. 650 с.
9. Дедусенко-Щеголева Н. Т., Матвиенко А. М., Шкорбатов Л. А. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. Chlorophyta : Volvocineae // Определитель пресноводных водорослей СССР / отв. ред. М. М. Голлербах. М. ; Л. : Сов. наука, 1957. Вып. 8. 223 с.
10. Дедусенко-Щеголева Н. Т., Голлербах М. М. Желтозеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. ; Л. : Наука, 1962. Вып. 5. 272 с.
11. Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С. Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР / отв. ред. М. М. Голлербах. М. : Наука, 1951. Вып. 4. 620 с.
12. Матвиенко А. М. Золотистые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР / отв. ред. М. М. Голлербах. М. : Сов. наука, 1954. Вып. 3. 188 с.
13. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / отв. ред. Г. М. Паламарь-Мордвинцева ; АН УССР. Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного. Киев : Наук. думка, 1990. 208 с.
14. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1 : Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1. Jena ; Stuttgart ; Lübeck : Ulm., 1998. 548 p.
15. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2 : Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2. München, 2005. 759 p.
16. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П., Паламарь-Мордвинцева Г. М., Ветрова З. М., Кордюм У. Л., Мешкова Н. А., Приходько Л. П., Коваленко О. В., Ступина В. В., Царенко П. М., Юнгер В. П., Радченко М. И., Виноградова О. Н., Бухтиярова Л. Н., Розумне Л. Ф. Водоросли : справочник. Киев : Наук. думка, 1989. 608 с.
17. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология : методы, критерии, решения : в 2 кн. М. : Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.
18. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. М. : Изд. дом секретариата СЭВ, 1977. 227 с.
19. Судницына Д. Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков : ООО «ЛОГОС Плюс», 2012. 224 с.
20. Sládeček V. System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
21. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.

Phytoplankton as the Indicator of the Ecological State of Water (on the Example of the Lake Barskoye, Pskov Region)

T. V. Drozdenko

Tatyana V. Drozdenko, ORCID 0000-0002-5553-2296, Pskov State University, 21, Soviet Str., Pskov, 180000, Russia, tboichuk@mail.ru

To assess the ecological status of water bodies, phytoplankton development indicators are widely used. The article deals with the use of microalgae in the assessment of water quality using the example of the Barskoye Lake. Collection and processing of hydrobiological material were carried out in the autumn of 2016 by standard methods. Phytoplankton is represented by 76 taxa below the genus belonging to 7 divisions: Chlorophyta (30), Bacillariophyta (16), Cyanophyta/Cyanoprokaryota (12), Euglenorhyta (7), Chrysochlorhyta (5), Cryptophyta (3), Dinophyta (3). The basis of phytoplankton is a green-diatom complex with



the presence of cyanoprokaryotes. Quantitative indices of the development of autumn phytoplankton are estimated. According to the data, the maximum values of the number belong to the representatives of the Cyanoprokaryota department. Among them the following dominants are distinguished: *Aphanocapsa delicatissima* West and West, *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. et Hind., *Aphanothece* sp., *Myrocystis pulverea* (Wood.) Forti emend. Elenk., *Myrocystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. Using the Shannon index, the information diversity of phytoplankton communities of the Barskoye Lake was studied, which showed their

average complexity of the structure. The ecological and geographical characteristics of phytoplankton are given, according to which widely distributed, freshwater, plankton species prevail in the lake, preferring a neutral reaction of the environment. The carried out saprobiological analysis showed that the waters of the Barskoye Lake correspond to the third class of quality and the β -mesosaprobic self-cleaning zone.

Key words: ecological monitoring, bioindication, algoflora, phytoplankton, taxonomic composition, ecogeographical characteristics, saprobity, Barskoye Lake, Pskov region.

Образец для цитирования:

Дрозденко Т. В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 225–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231.

Cite this article as:

Drozdenko T. V. Phytoplankton as the Indicator of the Ecological State of Water (on the Example of the Lake Barskoye, Pskov Region). *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 225–231 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231.
