

УДК 574.583

Ф. Б. Шкундина, Д. И. Сахабутдинова

**ФИТО- И ЗООПЛАНКТОН НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ  
р. БЕЛОЙ (РФ, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)  
КАК ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Изучен фитопланктон и зоопланктон участка р. Белой в Благовещенском р-не Республики Башкортостан (РФ). Отмечена тенденция увеличения количественных показателей развития фитопланктона и зоопланктона и полная смена комплекса доминирующих видов в направлении повышения уровня антропогенного эвтрофирования. Использование синтаксономического анализа позволило выделить диагностические виды и сообщества, характеризующие повышение уровня эвтрофирования, одним из показателей которого является биомасса.

*Ключевые слова:* фитопланктон, зоопланктон, синтаксономический анализ, эколого-флористическая классификация.

Помимо важной биологической роли, фитопланктон и зоопланктон являются показателями качества вод водных объектов.

Мониторинг водорослей и зоопланктона осуществляется на уровне биоиндикаторов. Характеристиками биоиндикаторов являются: узкий экологический диапазон, быстрое реагирование на изменение окружающей среды, четко определенные таксономические характеристики, надежная идентификация при использовании лабораторного оборудования, широкое географическое распространение [1, 12].

Для различных регионов список видов-индикаторов должен уточняться, поэтому в каждом конкретном случае важно выделять группы диагностических видов [7]. О. П. Окснюк, О. А. Давыдов (2010) установили типичные альгоценозы микрофитобентоса для Днепровских водохранилищ, Южного Буга и Днепровско-Бугского лимана. Нами были выделены индикаторные виды микрофитобентоса в водотоках на территории г. Стерлитамака [6]. В то же время ряд исследователей отмечает, что выделение синтаксономических единиц свободноплавающих сообществ на основе доминирования сопряжено с определенными трудностями [3]. Нами были выделены группы диагностических видов для фитопланктона Павловского водохранилища [8].

Цель работы — выявить комплексы доминирующих видов, численность и биомассу фитопланктона и зоопланктона р. Белой (РФ, Республика Башкортостан), как критерий оценки качества водной среды; проанализировать

© Ф. Б. Шкундина, Д. И. Сахабутдинова, 2015

многолетние изменения фитопланктона р. Белой, начиная с 1985 по 2010—2012 гг.; выявить виды, которые могут быть использованы при мониторинге; провести оценку состояния нижнего течения р. Белой по организмам фито- и зоопланктона.

**Материал и методика исследований.** Исследуемый участок представляет собой залив р. Белой, площадью около 2 км<sup>2</sup>. К заливу примыкает остров овальной формы шириной порядка 500 м. Материалом для работы послужили 144 индивидуальные пробы фитопланктона, отобранные в р. Белой на 5 створах в период 2010—2012 гг.

Отбор и обработку проб фитопланктона осуществляли ежемесячно по общепринятой методике [2]. Подсчет численности осуществляли в камере Нажотта объемом 0,01 см<sup>3</sup>. Биомассу водорослей определяли расчетно-объемным методом. Таксономическую характеристику фитопланктона осуществляли по системе, принятой в электронном ресурсе [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org) [11] в мае 2013 г.

В период 2008—2012 гг. было отобрано 260 проб зоопланктона на 7 станциях. Зоопланктон отбирали сеткой Джедди (газ № 66). Определение и подсчет представителей зоопланктона осуществляли по общепринятой методике [9]. Синтаксономический анализ фитопланктона выполнили традиционным методом фитоценологических таблиц по Браун — Бланке [5].

### Результаты исследований и их обсуждение

За период исследования в фитопланктоне реки Белой был выявлен 191 вид и внутривидовой таксон водорослей (вв.т) и цианопрокариот из 78 родов, 59 семейств, 36 порядков, 11 классов и 8 отделов. Таксономическая структура представлена в таблице 1.

В зоопланктоне на обследованных створах р. Белой в период 2008—2012 гг. обнаружен 21 вид организмов, из них 10 видов Rotatoria, 5 — Cladocera, 5 — представителя Cyclopoida, 1 — Calanoida, а также науплиальные и копеподитные стадии. За 2008—2012 гг. средние значения численности, биомассы и продукции составляли соответственно  $23,7 \pm 1,5$  тыс. экз/м<sup>3</sup>,  $0,45 \pm 1,5$  г/м<sup>3</sup>,  $5,74 \pm 0,3$  г/м<sup>3</sup>. По численности и биомассе преобладали: из коловраток — *Asplanchna priodonta* Gosse ( $468,3 \pm 0,2$  экз/м<sup>3</sup> и  $0,84 \pm 0,5$  г/м<sup>3</sup>), из ветвистоусых ракообразных — *Bosmina longirostris* O. F. Müller ( $291,52 \pm 1,1$  экз/м<sup>3</sup> и  $8,74 \pm 1,4$  г/м<sup>3</sup>), из веслоногих ракообразных — *Metacyclops gracilis* O. F. Müller (соответственно  $205,87 \pm 0,6$  экз/м<sup>3</sup> и  $31,49 \pm 0,1$  г/м<sup>3</sup>).

Оценка экологического состояния среднего течения р. Белой по зоопланктону позволило отнести его к  $\alpha$ - и  $\beta$ -мезосапробным зонам (табл. 2).

В 2002—2004 гг. средние показатели численности и биомассы водорослей в р. Белой в районе г. Уфы составили 2370 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 2,622 г/м<sup>3</sup> [10]. В 2010—2012 гг. эти показатели достигли 19 168 кл/дм<sup>3</sup> и 14,660 г/м<sup>3</sup>. По нашим данным, участок р. Белой в Благовещенском р-не Республики Башкортостан относился по биомассе 2010—2012 гг. к эвтрофному типу.

### 1. Таксономическая структура автотрофного планктона нижнего течения р. Белой

Отделы	Классы	Порядки	Семейства	Роды	Виды и ввт. (% во флоре)	Пропорции флоры (р/с : р/к : в/с)
Ochrophyta	1	13	23	38	123 (64,3)	1,6 : 3,2 : 5,3
Cyanobacteria	1	5	12	14	28 (14,6)	1,1 : 2 : 2,3
Chlorophyta	3	8	13	13	22 (11,5)	1 : 1,6 : 1,6
Euglenozoa	1	2	3	3	6 (3,1)	1 : 2 : 2
Myxozoa	2	5	5	5	5 (2,6)	1 : 1 : 1
Chrysophyta	1	1	1	3	5 (2,6)	3 : 1,6 : 5
Xanthophyta	1	1	1	1	1 (0,5)	1 : 1 : 1
Cryptophyta	1	1	1	1	1 (0,5)	1 : 1 : 1
Всего:	11	36	59	78	191	1,3 : 1,6 : 2,4

Примечание. р/с — среднее количество родов в семействе; р/к — родовой коэффициент; в/с — среднее количество видов в семействе.

### 2. Оценка состояния участка р. Белой в период 2010—2012 гг. по зоопланктону

Индексы	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Шеннона — Уивера ( $H_N$ )	3,93 ± 0,2	3,46 ± 1,1	3,97 ± 0,6
Трофность водоема ( $E$ )	0,26 ± 0,1	0,24 ± 1,0	1,02 ± 1,1
Пантле — Букк ( $S$ )	1,53 ± 2,0	1,09 ± 1,4	1,58 ± 0,2

Фитопланктон р. Белой ранее подробно изучался на обследованном участке Ф. Б. Шкундиной [9] в 1985 и 1986 гг. и Ф. Б. Шкундиной, Р. Р. Турьяновой [10] в районе г. Уфы — в 2002—2004 гг. Сравнительная характеристика этих данных с результатами наших исследований представлена в таблице 3.

Наибольшее значение численности и биомассы водорослей на обследованном участке р. Белой отмечались в июле 2010 г. Доминирование Ochrophyta наблюдается в течение всего периода исследования, что связано с вегетацией диатомовых водорослей. Также наблюдается небольшой подъем численности Cyanobacteria и Chlorophyta в июне — июле.

Установлено, что первые четыре ранговых места занимали *Cymatopleura elliptica* var. *discoidea* W. Smith, *Synechocystis aquatilis* Sauvageau, *Melosira varians* C. Agardh, *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing (табл. 4), что показывает полную смену доминантов по сравнению с 1985—1986 гг.

Анализ разногодичной динамики показывает, что в 2011 г. наблюдалось снижение почти в 2 раза численности и биомассы фитопланктона, а в 2010 г. представители Cryptophyta отсутствовали.

## 3. Средние значения численности и биомассы фитопланктона в 1985—2012 гг.

Период исследований	Численность, кл/дм <sup>3</sup>	Биомасса, г/м <sup>3</sup>
1985 г.	8444	10,81
1986 г.	3625	2,33
2002—2004 гг.	2370	2,622
2010 г.	33 023	28,19
2011 г.	7286	5,39
2012 г.	17 196	10,4

Ранговые распределения численности доминирующих видов в июле — августе представлены в таблице 4. Присвоим первым четырем доминирующим видам ранги от 4 (вид, имеющий наибольшую численность) до 1 [9].

Анализ видового состава зоопланктона показал, что в заливе р. Белой в 2010—2012 гг. обнаружено 10  $\beta$ -мезосапробных, 5 —  $\alpha$ -сапробных, 4 —  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробных видов беспозвоночных. Индекс сапробности по Пантле и Букк по зоопланктону в 2010 г. составлял 1,53, в 2011 г. — 1,09, в 2012 г. — 1,58.

Для выделения индикаторных видов выполнили синтаксономический анализ автотрофного планктона и зоопланктона традиционным методом фитоценологических таблиц по Браун — Бланке [5]. Для зоопланктона метод не показал индикаторных видов (табл. 5).

Средние значения индексов сапробности по численности и биомассе фитопланктона характеризовали реку как  $\beta$ -мезосапробную зону. В результате половодья в 2011—2012 гг. наблюдалось резкое ухудшение качества воды в апреле. На 4-м створе 30 апреля 2011 г. отмечены максимальные значения индекса сапробности (4,72), что соответствует  $\rho$ -сапробной зоне. Развивались *Oscillatoria subtilissima* Kützing ex De Toni, *Chlorella vulgaris* Beyenck [Beijerinck]. Улучшение качества воды наблюдается в зимний период. Значения индекса сапробности по биомассе зимой варьировали меньше, чем таковые по численности.

В 2010 г. в ходе обработки проб были выделены две группы автотрофного планктона. Первая группа — сквозные виды, распространенные на всех изученных створах, в 2010 г. к ним относились 12 видов. Это, например, *C. vulgaris*, которая относилась к сквозным видам в Павловском водохранилище [8]. В эту же группу с низкими значениями численности вошла *Euglena viridis* (O. F. Müller) Ehrenberg, которая по классификации [12] относится к видам с индексом сапробности 6, а также *Oscillatoria tenuis* C. Agardh, которая имеет индекс сапробности 4 и встречается в прудах и мелких водоемах.

Во вторую группу вошли виды, характерные для разных створов реки, но не во все сроки. Эта группа представлена Ochrophyta и Chlorophyta. В ходе анализа было выделено одно сообщество автотрофного планктона с диагностическими видами *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst — *Caloneis*

**4. Ранговые распределения численности доминирующих видов фитопланктона на участке р. Белой (2133,0—2132,3 км) у правого берега в Благовещенском р-не Республики Башкортостан в июле — августе**

Виды	1985 г. [9]	1986 г. [9]	2010 г.	2011 г.	2012 г.
<i>Stephanodiscus hantzscii</i> Grunow	4	3	НД	НД	НД
<i>Microcystis pulverea</i> Wood	2	1	НД	НД	НД
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	3	НД	НД	НД	НД
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	1	4	НД	НД	НД
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	НД	2	НД	НД	НД
<i>C. elliptica</i> var. <i>discoidea</i>	НД	НД	1	4	4
<i>S. aquatilis</i>	НД	НД	2	2	1
<i>A. ovalis</i>	НД	НД	4	1	3
<i>M. varians</i>	НД	НД	3	3	2

Примечание. НД — вид не доминирует.

**5. Результаты обработки списков зоопланктона с использованием традиционного метода фитоценологических таблиц по Браун — Бланке летом 2012 г.**

Сквозные виды	Станция 1			Станция 2			Станция 3			Станция 4		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>A. priodonta</i>	4	2	1	9	16	8	5	3	9	1	12	7
<i>M. gracilis</i>	3	52	1	4	14	10	7	24	25	4	12	8
<i>B. longirostris</i>	11	6	1	0	0	2	2	1	0	1	1	8
Биомасса, г/м <sup>3</sup>	920	666	293	13	451	427	766	164	214	360	1173	1733

Примечание. I — июнь; II — июль; III — август.

*amphisbaena* (Bory de Saint Vincent) Cleve, а диагностический вид *Cymatopleura solea* (Brébisson) W. Smith был характерен только для створа № 1 и относился к о-сапробам.

В 2011 г. в ходе обработки проб также было выделено две группы автотрофного планктона. Первая группа — сквозные виды, к ним относились 18 видов. Наибольшей численности достигали *S. aquatilis*, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg, *Microcystis viridis* (A. Braun) Lemmermann, *O. tenuis*.

Во вторую группу вошли виды, характерные для разных створов реки, но не во все сроки. Для них характерны представители отдела Cyanobacteria, Chlorophyta и Ochrophyta. В ходе анализа было выделено одно сообщество автотрофного планктона с диагностическими видами *Oscillatoria brevis* Kützingex Gomont — *Neidium productum* (W. Smith) Cleve, характерными для створов 1 и 2. Диагностический вид *Rhizosolenia longiseta* O. Zacharias харак-

терен для створа 1. Этот вид является  $\chi$ - $\alpha$ -сапробом (индекс сапробности — 1,0). *O. brevis* —  $\beta$ - $\rho$ -сапроб (индекс сапробности — 3,0), *N. productum* —  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,0).

Распределение зоопланктона было несколько иным. В летних пробах 2011 г. не обнаружено сквозных видов (т. е. видов, которые встречаются на всех станциях и во все сроки). По численности преобладали *A. priodonta* —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,55), *M. gracilis* —  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,5). *Karetella quadrata* O. F. Müller —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,55), была характерна для ст. 1 и 2, но единично встречалась и на ст. 4 и 6. *Acanthocyclops vernalis* Norman & Scott —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,85) встречался в основном на ст. 4, *Brachionus quadridentatus* [Hermann] — также  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 2,0) — встречалась на ст. 1 и 7.

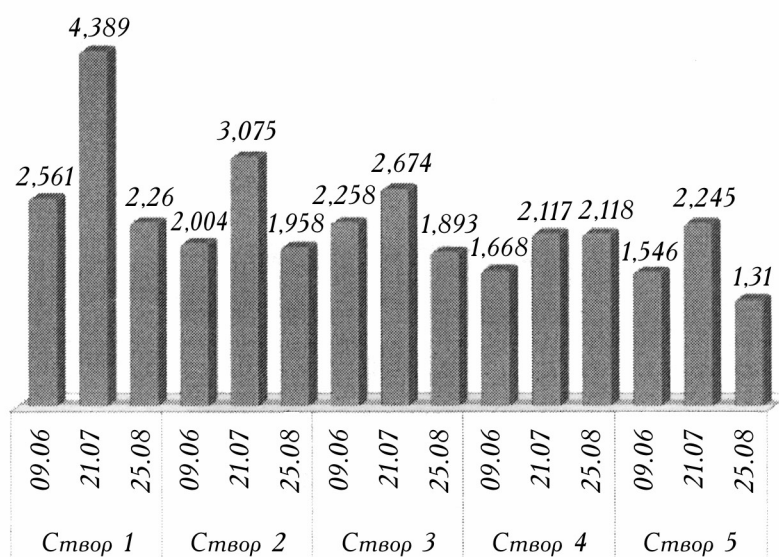
В фитопланктоне 2012 г. были выделены две группы автотрофного планктона. Первая группа — сквозные виды, к ним относились 9 видов: *E. viridis*, *S. aquatilis*, *Diatoma vulgare* Bory de Saint-Vincent, *Gomphonema lanceolatum* C. Agardh, *O. tenuis*, *Glenodinium pulvisculum* (Ehrenberg) F. Stein, *M. pulverea*, *Phormidium favosum* (Bory) Gomont, *Navicula pupula* Kützing.

Во вторую группу вошли виды, характерные для разных створов реки, но не во все сроки. Для этой группы, в основном, характерны представители отдела Chlorophyta и Ochrophyta. Многочисленны были водоросли Ochrophyta: *Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Cymbella ventricosa* Kützing, *Epithemia sorex* Kützing, *M. varians*, *Pinnularia nobilis* var. *obesa* Skvortzov. Представители отдела Chlorophyta: *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) K. Möbius —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 2,0), *Pediastrum tetras* (Ehrenberg) Ralfs —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,8).

Было выделено также одно сообщество автотрофного планктона с диагностическими видами *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs — *Navicula gracilis* Lauby. Это сообщество характерно только для створа 1 (2 вида). *M. granulata* —  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 2,7). *Nitzschia bavarica* Hustedt характерна для створов 1 и 3, но единично встречалась на створе 5. *N. bavarica* — типичный олигосапроб (индекс сапробности — 0,4).

Пик биомассы в 2012 г., так же как и летом 2011 г., приходится на июль (рисунок). В створах 1 и 2 отмечается повышение показателей органического загрязнения (индекса сапробности), а также повышение уровня эвтрофирования, которое заметно снижается на створе 5.

В летних пробах зоопланктона в 2012 г., в отличие от 2011 г., было обнаружено два сквозных вида: *A. preodonta* —  $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,55), *M. gracilis* —  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,5). Единственным диагностическим видом был представитель класса Cladocera — *V. longirostris* —  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапроб (индекс сапробности — 1,5).



Биомасса автотрофного планктона летом 2012 г. (г/м<sup>3</sup>).

### Заключение

Таким образом показано, что с 1985 г. по 2012 г. произошли полная смена доминирующих видов и увеличение количественных показателей развития фитопланктона, что указывает на повышение уровня антропогенного эвтрофирования. Использование синтаксономического анализа фитопланктона позволило выделить две группы. Первая группа — сквозные виды, распространенные на всех изученных створах; вторая группа — диагностические виды, характерные для разных створов реки, но не во все сроки. Диагностические виды были характерны для створов, где наблюдался подъем показателей биомассы и увеличение индексов сапробности.

В период с 2010 по 2012 гг. выявлено три сообщества, характеризующие повышение уровня эвтрофирования: в 2010 г. — *Gyrosigma acuminatum* — *Caloneis amphibaena*, в 2011 г. — *Oscillatoria brevis* — *Neidium productum*, в 2012 г. — *Melosira granulata* — *Navicula gracilis*. В зоопланктоне не установлены индикаторные виды.

Индекс сапробности по Пантле — Букк по зоопланктону изменялся от 1,53 до 1,09, что позволило отнести обследованный участок р. Белой к  $\alpha$ - и  $\beta$ -мезосапробным зонам. Средние значения индексов сапробности по численности и биомассе фитопланктона характеризовали  $\beta$ -мезосапробную зону, при резком ухудшении качества воды в результате половодья в апреле 2011—2012 гг.

\*\*

Узагальнено літературні і оригінальні матеріали по фітопланктону середньої течії р. Білої (Республіка Башкортостан, РФ). Показано тенденцію збільшення евтрофування з 1985 по 2012 р. У період з 2010 по 2012 р. виявлено три угруповання, що



характеризуют підвищення рівня евтрофування, за показником біомаси: у 2010 р. — *Gyrosigma acuminatum* — *Caloneis amphibaena*, у 2011 р. — *Oscillatoria brevis* — *Neidium productum*, у 2012 р. — *Melosira granulata* — *Navicula gracilis*. Для зоопланктону метод фітоценологічних таблиць за Браун — Бланке не показав індикаторних видів.

\*\*

*Both literature and original data on the phytoplankton of river Belay (Republic of Bashkortostan, Russia) were generalized in the paper. It has been found that phytoplankton of the studied water bodies has been indicated a trend of increasing eutrophication from 1985 to 2012. Communities in 2010 — Gyrosigma acuminatum — Caloneis amphibaena, in 2011 Oscillatoria brevis — Neidium productum, in 2012 — Melosira granulata — Navicula gracilis showed increased levels of eutrophication, which is a measure of biomass.*

\*\*

1. Баринова С.С., Мегвегева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. — Тель-Авив, 2006. — 498 с.
2. Вассер С.П., Конгратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Водоросли: Справочник. — Киев: Наук. думка, 1989. — 608 с.
3. Дубына Д.В. Классификация свободноплавающей растительности в водоемах Украины // Укр. ботан. журн. — 1986. — Т. 43, № 5. — С. 1—15.
4. Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. — С. 73—87.
5. Миркин Б.М. Современное состояние и тенденции развития классификации растительности методом Браун-Бланке // Итоги науки и техники. Ботаника. Т. 9. — М.: ВИНТИ, 1989. — 126 с.
6. Никитина О.А., Шкунгина Ф.Б. Выделение индикаторных видов автотрофного бентоса водотоков г. Стерлитамака (Россия) // Альгология. — 2009. — Т. 19, № 4. — С. 412—422.
7. Оксюк О.П., Давыдов О.А. Альгоценозы микрофитобентоса водохранилищ Днепра и Днепро-Бугской устьевой области // Гидробиол. журн. — 2010. — Т. 46, № 2. — С. 48—70.
8. Полева А. О., Шкунгина Ф. Б. Антропогенная динамика сообществ планктонных водорослей и цианопрокариот Павловского водохранилища // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2012. — Т. 14, № 1(5). — С. 1348—1351.
9. Шкунгина Ф.Б. Фитопланктон рек СНГ. — Уфа: Изд-во Башкир. ун-та, 1993. — 219 с.
10. Шкунгина Ф.Б., Турьянова Р.Р. Фитопланктон водоемов г. Уфы (Башкортостан, Россия) // Альгология. — 2009. — Т. 19, № 1. — С. 66—76.
11. Guiry M.D., Guiry G.M. Algaebase. World-wide electronic publication // National University of Ireland, Galway. — 2011. — Электронный ресурс: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy>.
12. Bellinger E. G., David C.S. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. — Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. — P. 34—49.

Башкирский государственный университет, Уфа, РФ      Поступила 29.10.14