

УДК 574.583

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ ФИТОПЛАНКТОНА КАЗАНСКОГО ЗАЛИВА

Абрамова К. И., Токинова Р. П.

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,
Казань, Россия*

E-mail: kseniaiv@yandex.ru

В статье приводятся данные о составе доминирующих видов фитопланктона Казанского залива Куйбышевского водохранилища в 2017 г., сезонной сукцессии основных ассоциаций альгофлоры с использованием функциональной (FG) и морфологической (MBFG) классификаций пресноводных планктонных водорослей. Согласно наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон залива представлен 10 функциональными группами, среди которых преобладают семь (B, D, H1, L₀, S1, X3, Y), и 4 морфологическими группами (II, III, V, VI). В период с мая по октябрь сообщество фитопланктона представлено группами видов, преимущественно свойственных мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с низкой прозрачностью (мутной водой), устойчивых к перемешиванию толщи воды.

Ключевые слова: фитопланктон, морфофункциональные группы, Казанский залив.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время зарубежными исследователями разработаны две классификации таксонов фитопланктона. Первая основана на функциональных признаках (FG) [1, 2]; вторая – на морфологических (MBFG) [3, 4]. Обе классификации представляют собой важный инструмент для мониторинга и управления водными экосистемами [5], изучения влияния экологических условий на альгофлору [6]. Модель, основанная на морфологических признаках, может быть использована в качестве дополнения к функциональной модели [7]. Использование морфофункциональной классификации значительно упрощает изучение сезонных изменений фитопланктона [8–10], позволяет получить дополнительную информацию о функционировании экосистемы в целом [2].

Фитопланктон Казанского залива Куйбышевского водохранилища исследовался ранее [11–14], выделение морфофункциональных групп фитопланктона залива проведено нами впервые. Задача данной работы – выявить морфофункциональные группы фитопланктона Казанского залива и закономерности их распределения в сезонной динамике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи проанализированы таксономический состав, численность и биомасса фитопланктона Казанского залива – устьевого участка

численность или биомасса которых составила не менее 10 % от общей. Вид отнесен к ведущему, если степень его доминирования варьировала в диапазоне 11–40 %, а степень встречаемости составляла 40–70 % [18]. Функциональные группы фитопланктона выделены по [1, 2], морфологические – по [3, 4]. Гидрохимические данные, использованные в исследовании, предоставлены сотрудниками лаборатории эколого-аналитических измерений и мониторинга окружающей среды ИПЭН АН РТ. Достоверность данных определена статистическими методами в компьютерной программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений в составе фитопланктона Казанского залива обнаружено 209 таксонов рангом ниже рода. По видовому богатству выделялись отделы Chlorophyta (34 % от общего видового разнообразия) и Bacillariophyta (29 %); менее разнообразны Cyanophyta (16 %); Chrysophyta, Cryptophyta и Euglenophyta (6 %); Dinophyta и Xantophyta (менее 2 %).

В период исследований по средней относительной численности в апреле преобладали золотистые (Chrysophyta) и диатомовые (Bacillariophyta), с апреля по июнь – диатомовые, с июля по октябрь – синезеленые (Cyanophyta); по биомассе с апреля по июнь и в октябре доминировали диатомовые, с июля по сентябрь – синезеленые. Расцвет криптофитовых (Cryptophyta) отмечен в июле, динофитовых (Dinophyta) – в августе.

Комплекс доминирующих видов представлен 18 таксонами, из которых 6 – представители диатомовых (*Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cleve & Möller, *Stephanodiscus huntzschii* Grun., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr.); 4 – золотистых (*Chromulina parvula* Conrad, *Chromulina tenera* Skuja, *Chromulina rosanoffii* (Woron.) Büts., *Dinobryon divergens* Imhof); по 3 таксона представлены синезеленые (*Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et. Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb.) и криптофитовые (*Chroomonas acuta* Uterm., *Cryptomonas erosa* Ehr., *Cryptomonas ovata* Ehr.); по 1 – динофитовые (*Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh) и зеленые (*Chlamydomonas proboscigera* Korsch.).

Согласно функциональной классификации (FG) пресноводного фитопланктона и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов (*P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*, *S. ulna*, *Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*), сообщество фитопланктона Казанского залива можно отнести к В, D, S1, H1, X3 (по численности) или D, S1, L₀, Y (по биомассе) (табл. 1). Группу В представляют виды, живущие в мезотрофных водоемах, предпочитающие мелководные зоны, чувствительные к изменению содержания кремния в воде и к сезонной стратификации; группу D – виды, в основном встречающиеся в мелководных зонах, устойчивые к низким условиям освещения (обитают в мутных водоемах), к перемешиванию; группу S1 – виды, толерантные к дефициту света (в основном мутные воды), предпочитающие мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы; группу H1 – эвтрофные виды, толерантные к низкому содержанию азота, устойчивые к перемешиванию,

предпочитающие мелководье; X3 – олиготрофные виды; Y – виды, для которых характерен широкий диапазон местообитаний, где низок пресс выедания, и которые предпочитают мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы с низкой прозрачностью; L₀ – виды, предпочитающие мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы.

Таблица 1
Средняя относительная численность (над чертой) и биомасса (под чертой)
доминирующих видов по станциям в сезонной динамике, %

	Таксон	FG	MB FG	ст.1	ст.2	ст.3	ст.4	ст. 5–6	ст. 7–8
апр.	<i>Chr. parvula</i>	X3	II	$\frac{3.0}{0.1}$	–	$\frac{10.6}{0.6}$	$\frac{9.0}{0.5}$	$\frac{7.8}{0.2}$	$\frac{11.6}{0.2}$
	<i>Chr. tenera</i>	X3	II	$\frac{4.8}{0.2}$	–	$\frac{13.5}{1.3}$	$\frac{27.0}{2.8}$	$\frac{3.3}{0.1}$	$\frac{16.3}{0.6}$
	<i>Chr. rosanoffii</i>	X3	II	$\frac{4.2}{0.6}$	–	$\frac{19.5}{8.1}$	$\frac{13.5}{6.1}$	$\frac{5.2}{0.9}$	$\frac{13.9}{2.0}$
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	$\frac{7.7}{1.8}$	–	$\frac{14.9}{9.7}$	$\frac{10.5}{7.4}$	$\frac{42.5}{11.5}$	$\frac{7.0}{1.6}$
	<i>N. palea</i>	MP	VI	$\frac{34.5}{8.4}$	–	$\frac{2.8}{1.9}$	$\frac{2.0}{1.5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
май	<i>Chroom. acuta</i>	X2	V	$\frac{2.1}{1.6}$	$\frac{1.3}{1.2}$	$\frac{9.4}{7.6}$	$\frac{5.4}{3.7}$	$\frac{7.1}{2.3}$	$\frac{4.3}{2.2}$
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	$\frac{2.5}{10.2}$	$\frac{2.2}{11.4}$	$\frac{1.9}{8.4}$	$\frac{2.6}{9.4}$	$\frac{3.0}{7.5}$	$\frac{3.9}{10.2}$
	<i>C. comta</i>	B	VI	$\frac{12.6}{16.7}$	$\frac{12.0}{20.1}$	$\frac{9.2}{13.0}$	$\frac{8.9}{10.6}$	$\frac{8.0}{6.4}$	$\frac{5.5}{4.7}$
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	$\frac{3.3}{13.4}$	$\frac{6.8}{34.7}$	$\frac{6.5}{28.5}$	$\frac{13.4}{48.6}$	$\frac{21.5}{53.1}$	$\frac{23.2}{60.5}$
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	$\frac{59.6}{7.7}$	$\frac{66.1}{10.7}$	$\frac{42.7}{5.9}$	$\frac{51.3}{5.9}$	$\frac{38.6}{4.3}$	$\frac{43.8}{3.6}$
ИЮНЬ	<i>P. agardhii</i>	S1	III	$\frac{9.1}{0.3}$	$\frac{6.5}{0.2}$	$\frac{13.4}{0.5}$	$\frac{7.4}{0.3}$	$\frac{8.7}{0.2}$	$\frac{7.6}{0.3}$
	<i>D. divergens</i>	E	II	$\frac{0.2}{0.1}$	$\frac{1.3}{0.4}$	$\frac{4.1}{1.3}$	$\frac{25.5}{7.7}$	$\frac{6.1}{1.4}$	$\frac{7.2}{2.3}$
	<i>Cr. erosa,</i> <i>Cr. ovata</i>	Y	V	$\frac{0.1}{0.8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0.5}{3.7}$	$\frac{4.4}{28.7}$	$\frac{11.6}{55.7}$	$\frac{1.6}{11.5}$
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	$\frac{35.0}{70.6}$	$\frac{29.1}{64.8}$	$\frac{28.6}{61.1}$	$\frac{17.3}{34.5}$	$\frac{13.0}{19.2}$	$\frac{19.2}{41.2}$
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	$\frac{13.2}{0.8}$	$\frac{10.3}{0.7}$	$\frac{5.2}{0.4}$	$\frac{7.0}{0.4}$	$\frac{3.2}{0.2}$	$\frac{4.3}{0.3}$

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ ФИТОПЛАНКТОНА ...

Продолжение таблицы 1

	Таксон	FG	MBFG	ст.1	ст.2	ст.3	ст.4	ст. 5–6	ст. 7–8
июль	<i>Aph. flos-aquae</i>	H1	III	<u>20.1</u> 4.4	<u>29.9</u> 9.5	<u>73.0</u> 50.7	<u>79.7</u> 80.6	<u>65.8</u> 57.2	<u>53.0</u> 41.3
	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>13.7</u> 0.8	<u>22.3</u> 1.8	<u>19.4</u> 3.5	<u>17.3</u> 4.5	<u>29.4</u> 6.5	<u>35.3</u> 7.0
	<i>Chroom. acuta</i>	X2	V	<u>20.4</u> 12.4	<u>9.8</u> 8.6	<u>1.2</u> 2.3	<u>0.1</u> 0.3	<u>0.1</u> 0.3	<u>1.1</u> 2.1
	<i>Cr. erosa</i> , <i>Cr. ovata</i>	Y	V	<u>4.6</u> 49.3	<u>1.9</u> 29.6	<u>0.8</u> 26.5	<u>0.1</u> 4.4	<u>0.5</u> 22.1	<u>0.8</u> 29.2
	<i>Ch. proboscigera</i>	X2	V	<u>7.0</u> 12.3	<u>9.7</u> 24.7	<u>0.2</u> 1.2	<u>0</u> 0	<u>0.1</u> 0.9	<u>0.1</u> 0.5
авг.	<i>An. flos-aquae</i>	H1	III	<u>0.2</u> 0.3	<u>0</u> 0	<u>1.9</u> 2.7	<u>3.0</u> 1.0	<u>8.1</u> 6.6	<u>8.1</u> 6.9
	<i>Aph. flos-aquae</i>	H1	III	<u>3.1</u> 4.9	<u>3.9</u> 5.9	<u>7.2</u> 13.0	<u>14.0</u> 6.0	<u>3.9</u> 3.7	<u>6.3</u> 8.2
	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>81.1</u> 32.6	<u>82.8</u> 32.3	<u>82.7</u> 38.8	<u>68.3</u> 7.6	<u>79.5</u> 25.2	<u>76.5</u> 31.5
	<i>Cer. hirundinella</i>	L _o	V	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0.6</u> 74.2	<u>0.2</u> 35.6	<u>0.1</u> 24.5
сент.	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>64.3</u> 18.2	<u>82.4</u> 34.4	<u>75.0</u> 23.1	<u>85.2</u> 36.9	<u>94.1</u> 49.3	<u>96.1</u> 48.1
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	<u>1.1</u> 14.3	<u>1.3</u> 27.6	<u>1.0</u> 14.2	<u>0.1</u> 1.5	<u>0.1</u> 0.3	<u>0</u> 0
	<i>Cer. hirundinella</i>	L _o	V	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0.02</u> 7.2	<u>0.1</u> 33.7
окт.	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>20.8</u> 2.4	<u>7.0</u> 0.8	<u>0</u> 0	<u>62.2</u> 8.0	<u>76.9</u> 18.6	<u>86.5</u> 26.6
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	<u>1.5</u> 7.7	<u>4.2</u> 21.1	<u>7.8</u> 23.1	<u>0.7</u> 4.1	<u>0.4</u> 4.9	<u>0.2</u> 3.5
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	<u>4.7</u> 10.3	<u>6.3</u> 10.6	<u>9.1</u> 11.0	<u>6.2</u> 15.4	<u>0.6</u> 2.3	<u>0.1</u> 0.2
	<i>S. ulna</i>	D	VI	<u>3.3</u> 13.8	<u>3.9</u> 13.2	<u>7.4</u> 17.4	<u>5.9</u> 28.0	<u>4.3</u> 35.0	<u>1.8</u> 20.3

Примечание: FG – функциональная группа, MBFG – морфологическая группа, апр. – апрель, авг. – август, сент. – сентябрь, окт. – октябрь.

Согласно морфологической классификации (MBFG) пресноводного фитопланктона и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон по численности представлен II, III и VI группами (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), по биомассе – III, V и VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*,

P. agardhii, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*). Группу II представляют организмы небольших размеров (золотистые); III – нитчатые формы (синезеленые), устойчивые к низким условиям освещения, высоким уровням трофии; V – одноклеточные жгутиковые формы средних и крупных размеров (эвгленовые, криптофитовые, динофитовые), устойчивые к снижению содержания питательных веществ, к дефициту света; VI – организмы с кремнистыми экзоскелетами (диатомовые), предпочитающие низкие температуры, толерантные к широкому диапазону трофического статуса водоема.

На основании вышеизложенного можно заключить, что сообщество фитопланктона Казанского залива формируют обитатели мелководных, мезотрофных, эвтрофных и высокоэвтрофных водоемов, преимущественно чувствительные к перемешиванию водной толщи и устойчивые к дефициту света.

Пик развития потенциально токсичных видов из синезеленых (*Aph. flos-aquae* и *P. agardhii*) зарегистрирован в июле и в августе. Наибольшее развитие *Aph. flos-aquae* достигало в июле (17.2 ± 1.9 – 203.9 ± 18.7 млн кл./л и 2.0 ± 0.4 – 24.8 ± 2.2 мг/л) с максимальными значениями в районе 3-й транспортной дамбы и в районе моста Миллениум. В августе *P. agardhii* вытеснил *Aph. flos-aquae* и преобладал по численности в альгофлоре (82.0 ± 6.3 – 139.8 ± 13.7 млн кл./л и 2.5 ± 0.3 – 4.4 ± 0.9 мг/л) с максимальными значениями в районе 3-й транспортной дамбы. Преобладание *P. agardhii*, вероятно, связано с увеличением антропогенной нагрузки, в частности содержания фосфора в воде. По данным гидрохимии в июле содержание Рфосф (фосфор фосфатов) составило 0.014 ± 0.001 мг/л и фосфатов – 0.037 ± 0.002 мг/л; в августе на порядок выше – 0.029 ± 0.004 мг/л и 0.088 ± 0.012 мг/л, соответственно. Способность представителей синезеленых вытеснять друг друга в результате изменения содержания биогенных элементов, органических веществ в воде отмечается другими исследователями [19–21].

Диатомовые из рода *Stephanodiscus* (*St. huntzschii*, *St. minutulus*) наибольшего развития достигали в конце весны и в начале лета. В мае развивались мелкоразмерные формы класса Centrophyceae с преобладанием *St. minutulus* (5.6 ± 1.1 – 26.0 ± 2.0 млн кл./л и 0.3 ± 0.01 – 1.5 ± 0.2 мг/л) с наиболее высокими значениями на акватории залива от ул. Гаврилова до моста Миллениум. С увеличением температуры воды свыше 10°C обилие мелкоразмерных форм уменьшалось, в начале июня начиналось интенсивное развитие более крупных форм с преобладанием *St. huntzschii* (1.6 ± 0.2 – 13.0 ± 1.4 млн кл./л и 29.0 ± 2.6 – 24.0 ± 3.1 мг/л) с высокими значениями на участке от ул. Гаврилова до 3-й транспортной дамбы. В октябре с понижением температуры воды увеличился вклад диатомовых в общую биомассу фитопланктона, *S. ulna* (0.14 ± 0.01 – 1.0 ± 0.1 млн кл./л и 0.16 ± 0.01 – 1.17 ± 0.2 мг/л) и центрических форм.

Активный рост видов группы MBFG V (*Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*) с миксотрофным типом питания отмечен в июле и в августе, в период увеличения ХПК (химического потребления кислорода) в воде до 61.6 мг O_2 /л. В июле – виды рода *Cryptomonas* (0.2 ± 0.02 – 3.9 ± 0.5 млн кл./л и 1.3 ± 0.02 – 23.4 ± 3.1 мг/л) с максимальными значениями в районе ул. Гаврилова, в августе – *Cer. hirundinella* (0.02 ± 0.01 – 0.7 ± 0.1 млн кл./л и 0.7 ± 0.07 – 25.6 ± 1.7 мг/л) в районе моста Миллениум, соответственно.

Сезонная смена доминирующих комплексов определялась диатомовыми водорослями, к которым летом присоединились синезеленые, криптофитовые и динофитовые. Весной (апрель, май) диатомовые составили больше 55 % от средней общей численности и больше 65 % биомассы фитопланктона, развивались золотистые водоросли. Согласно морфофункциональной классификации (FG и MBFG) комплексы относились к группам В, D, X3 и II, VI. Летом (июнь, июль, август) относительный вклад диатомей в общую численность и биомассу фитопланктона снизился, за счет активного развития синезеленых, криптофитовых и динофитовых. В заливе развивался комплекс видов, относящихся к FG D, S1, H1, Y, Lo и MBFG III, V, VI. Осенью (сентябрь, октябрь) с понижением температуры воды, содержания ХПК до 13.8 мгО₂/л численность и биомасса видов FG Y, Lo, H1 и MBFG V значительно снизились, диатомовые из FG D и MBFG VI входили в число доминирующих видов совместно с синезелеными FG S1 и MBFG III (табл. 2).

Таблица 2

Сезонные сукцессии доминирующих видов, морфологических и функциональных групп фитопланктона Казанского залива

	Весна	Лето	Осень
Виды	<i>S. minutulus</i> , <i>S. hantzschii</i>	<i>S. hantzschii</i> , <i>P. agardhii</i> , <i>Aph. flos-aquae</i> , <i>Cr. erosa</i> , <i>Cr. ovata</i> , <i>C. hirundinella</i>	<i>S. ulna</i> , <i>P. agardhii</i>
FG	B, D, X3	D, H1, Lo, S1, Y	D, S1
MBFG	II, VI	III, V, VI	III, VI

Примечание: FG – функциональная группа, MBFG – морфологическая группа.

Таким образом, согласно морфологической (MBFG) и функциональной (FG) классификациям пресноводных планктонных водорослей, фитопланктон Казанского залива в 2017 г. представлен функциональными группами В, D, E, H1, Lo, MP, S1, X2, X3, Y, среди которых преобладают семь типов: В, D, H1, Lo, S1, X3, Y; и четыре морфологическими группами: II, III, V, VI.

Ход сезонной сукцессии фитопланктона определяется последовательной сменой функциональных групп В, D, X3 (весна) → D, H1, Lo, S1, Y (лето) → D, S1 (осень) и морфологических групп II, VI → III, V, VI → III, VI. В период открытой воды сообщество фитопланктона представлено группами видов, свойственных мелководным, олиго-мезотрофным водоемам с низкой прозрачностью; в летний период – мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с мутной водой и с низким содержанием азота; в осенний период – мелководным, эвтрофным водоемам, с низкой прозрачностью, устойчивым к перемешиванию толщи воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием морфофункциональной классификации пресноводного фитопланктона определены морфофункциональные группы фитопланктона Казанского залива в 2017 г. Согласно функциональной классификации (FG) и

наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов (*P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*, *S. ulna*, *Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*), сообщество фитопланктона Казанского залива можно отнести к В, D, S1, H1, X3 (по численности) или D, S1, Lo, Y (по биомассе). Согласно морфологической классификации (MBFG) и на ибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон по численности представлен II, III и VI группами (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), по биомассе – III, V и VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *P. agardhii*, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*).

Ход сезонной сукцессии фитопланктона определяется последовательной сменой функциональных групп В, D, X3 → D, H1, Lo, S1, Y → D, S1 и морфологических групп II, VI → III, V, VI → III, VI. В период с мая по октябрь сообщество фитопланктона представлено группами видов, преимущественно свойственных мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с низкой прозрачностью (мутной водой), преимущественно устойчивым к перемешиванию толщи воды.

Исследования в данном направлении будут продолжены для оценки динамики и пространственного распределения ассоциаций фитопланктона Казанского залива, изучения влияния экологических условий, антропогенной нагрузки на альгоценоз в динамике.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность научному сотруднику лаборатории гидробиологии ИПЭН АН РТ Берднику С. В. за помощь, оказанную при отборе и первичной обработке проб фитопланктона.

Список литературы

1. Reynolds C. S. Towards classification of the freshwater phytoplankton / Reynolds C. S., Huszar V., Kruk K., Naselli-Flores L., Melo S. // J. Plankton Res. – 2002. – Vol. 24. – P. 417–428.
2. Padisak J. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates / J. Padisak, L. O. Crossetti, L. Nasselli-Flores // Hydrobiologia. – 2009. – No 621. – P. 1–19.
3. Kruk C. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton / Kruk C., Huszar V. L. M., Peeters E. T. H. M., Bonilla S., Costa L., Lüring M., Reynolds C. S., Scheffer M. // Freshwater Biology. – 2010. – Vol. 55. – P. 614–627.
4. Kruk C. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups / Kruk C., Segura A. M. // Hydrobiologia. – 2012. – Vol. 698. – P. 191–202.
5. Crossetti L. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a Shallow Urban Tropical Eutrophic Reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years / Crossetti L., Bicudo C. // Hydrobiologia. – 2008. – Vol. 614, Is. 1 – P. 91–105.
6. Bortolini J. C. Phytoplankton functional and morphological groups as indicators of environmental variability in a lateral channel of the Upper Parana River floodplain / Bortolini J. C., Rodrigues L. C., Jati S., Train S. // Acta Limnologica Brasiliensia. – 2014. – Vol. 26, No 1. – P. 98–108.
7. Kruk C. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups / Kruk C., Peeters E. T. H. M., Van Nes E. H., Huszar V. L. M., Costa L. S., Scheffer M. // Limnology and Oceanography. – 2011. – Vol. 56 (1). – P. 110–118.

8. Weithoff G. The intermediate disturbance hypothesis – species diversity or functional diversity? / Weithoff G., Walz N., Gaedke U. // *Journal of Plankton Research*. – 2001. – Vol. 23. – P. 1147–1155.
9. Kruk C. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement / Kruk C., Mazzeo N., Lacerot G., Reynolds C. S. // *Journal of Plankton Research*. – 2002. – Vol. 24. – P. 901–912.
10. Naselli-Flores L. Equilibrium/steady-state concept in phytoplankton ecology / Naselli-Flores L., Padisák J., Dokulil M., Chorus I. // *Hydrobiologia*. – 2003. – Vol. 502. – P. 395–403.
11. Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан (на примере Меши, Казанки и Свяги). – Казань: «ФЭН» АН РТ, 2003. – 289 с.
12. Бариева Ф. Ф. Водные экосистемы г. Казани и их гидробиоценозы. Фитопланктон городских водоемов и водотоков / Бариева Ф. Ф., Халиуллина Л. Ю., Мингазова Н. М. // *Экология города Казани*. – 2005. – С. 236–248.
13. Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России. – М.: Росгидромет, 2013. – 151 с.
14. Мингазова Н. М. Мониторинг состояния реки Казанка в городе Казани и разработка компенсационных мероприятий / Мингазова Н. М., Деревенская О. Ю., Мухачев С. Г., Набеева Э. Г., Палагушкина О. В., Унковская Е. Н., Зарипова Н. Р. // *Экология урбанизированных территорий*. – 2013. – № 2. – С. 121–126.
15. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
16. Karlson B. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. / Karlson B., Cusak S., Bresnan E. // *IOC Manuals and Guides*. – Paris, UNESCO, 2010. – 110 p.
17. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. / Царенко П. М. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
18. Корнева Л. Г. Опыт использования морфофункциональной классификации пресноводных водорослей для оценки динамики и пространственного распределения ассоциаций фитопланктона Рыбинского водохранилища / Корнева Л. Г., Соловьева В. В. // *Ярославский педагогический вестник*. – 2012. – Т. III, № 3. – С. 110–114.
19. Ланге Е. К. Фитопланктонный комплекс Российской части Куршского залива (2001-2007 гг.) / Ланге Е. К. // *Известия КГТУ*. – 2013. – №28. – С. 87–94.
20. Ляшенко О. А. Развитие *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) в водоемах бассейна верхней Волги / Ляшенко О. А. // *Ботанический журнал*. – 2001. – Т. 56, № 7. – С. 61–65.
21. Sakamoto M. Self-regulation of cyanobacterial blooms in a eutrophic lake / Sakamoto M., Okino T. // *Verh. Int. Verein. Limnol.* – 2000. – Vol. 27. – P. 1243–1249.

MORPHOFUNCTIONAL GROUPS OF PHYTOPLANKTON OF THE KAZAN BAY

Abramova K. I., Tokinova R. P.

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia
E-mail: kseniaiv@yandex.ru

The article presents data on the composition of dominant species of phytoplankton in the Kazan Bay in 2017. The morphofunctional classification of freshwater phytoplankton shows the seasonal succession of the main algal flora associations. The isolation of morphofunctional groups of phytoplankton of the Kazan Bay was investigated for the first time in our work.

During the period of the studies on the average relative abundance, Chrysophyta in April, Bacillariophyta from April to June, Cyanophyta from July to October prevailed; biomass was the highest from April to June and in October for diatoms, from July to

September for blue-green algae. The heyday of Cryptophyta was recorded in July, for Dinophyta in August. According to the functional classification (FG) of freshwater phytoplankton and the largest average relative abundance and biomass of dominant species (*Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Stephanodiscus huntzschii*, *St. minutulus*, *Synedra ulna*, *Chromulina tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cryptomonas erosa*, *Cr. ovata*, *Ceratium hirundinella*), the community of the phytoplankton of the Kazan Bay can be classified as B, D, S1, H1, X3 (quantity) or D, S1, L₀, Y (biomass). Group B represents species of mesotrophic waters, which prefer shallow water zones sensitive to changes in silicon content in water and to seasonal stratification. Group D – species, mainly found in shallow water areas, resistant to low-light conditions (live in muddy water bodies), to agitation. Group S1 – tolerant to light deficiency (mainly turbid waters) species, which prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies. Group H1 – tolerant to low nitrogen content eutrophic species, resistant to mixing, prefer shallow water. X3 – oligotrophic species; Y – species characterized by a wide range of habitats, where the ejection press is low, prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies with low transparency; L₀ – species that prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies.

According to the morphological classification (MBFG) of freshwater phytoplankton and the largest average relative abundance and biomass of the dominant species of phytoplankton in size, they represented by groups II, III and VI (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), biomass III, V and VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *P. agardhii*, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*). Group II represented by organisms of small size (Chrysophyta); III – filamentous forms (Cyanophyta), resistant to low-light conditions, high levels of trophism; V – unicellular flagellate forms of medium and large sizes (Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta), resistant to reduced nutrient content, to light deficiency; VI – organisms with siliceous exoskeletons (Bacillariophyta), which prefer low temperatures, tolerant to a wide range of trophic status of the reservoir.

Seasonal change of dominant complexes was determined by diatom algae. In spring (April, May), diatoms accounted for more than 55 % of the average total abundance and more than 65 % of the biomass of phytoplankton, Chrysophyta developed. According to the morphofunctional classification (FG and MBFG), the complexes belonged to groups B, D, X3 and II, VI. In summer (June, July, August), the relative contribution of diatoms to the total abundance and biomass of phytoplankton decreased, due to the active development of Cyanophyta, Cryptophyta and Dinophyta. A complex of species related to FG D, S1, H1, Y, L₀ and MBFG III, V, VI developed in the water. In autumn (September, October), with the water temperature lowering, the average organic matter content rose down to 13.8 (mgO₂/l), the abundance and biomass of the species FG Y, L₀, H1 and MBFG V decreased significantly, diatoms from FG D and MBFG VI were among the dominant species together with blue-green algae FG S1 and MBFG III.

The course of seasonal succession of phytoplankton was determined by the successive change in the functional groups B, D, X3 → D, H1, L₀, S1, Y → D, S1 and morphological groups II, VI → III, V, VI → III, VI. During open water, the phytoplankton community was represented by groups of species of shallow, oligo-

mesotrophic water bodies with low transparency; in the summer period – species of shallow, mesotrophic-hypertrophic reservoirs with turbid water and low nitrogen content; in the autumn period – species of shallow, eutrophic reservoirs, with low transparency, resistant to mixing of the water column.

Keywords: phytoplankton, morphofunctional groups, Kazan Bay.

References

1. Reynolds C. S., Huszar V., Kruk K., Naselli-Flores L., Melo S. Towards classification of the freshwater phytoplankton, *J. Plankton Res.*, **24**, 417 (2002).
2. Padišak J. L., Crossetti O., Nasselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates, *Hydrobiologia*, **621**, 1 (2009).
3. Kruk C., Huszar V. L. M., Peeters E. T. H. M., Bonilla S., Costa L., Lüring M., Reynolds C. S., Scheffer M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton, *Freshwater Biology*, **55**, 614 (2010).
4. Kruk C., Segura A. M. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups, *Hydrobiologia*, **698**, 191 (2012).
5. Crossetti L., Bicudo C. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed changes in a Shallow Urban Tropical Eutrophic Reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years, *Hydrobiologia*, **614**, **1**, 91 (2008).
6. Bortolini J. C., Rodrigues L. C., Jati S., Train S. Phytoplankton, Functional and morphological groups in the Upper Parana River floodplain, *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**, **1**, 98 (2014).
7. Kruk C., Peeters E. T. H. M., Van Nes E. H., Huszar V. L. M., Costa L. S., Scheffer M. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups, *Limnology and Oceanography*, **56** (1), 110 (2011).
8. Weithoff G., Walz N., Gaedke U. The disturbance hypothesis – species diversity or functional diversity? *Journal of Plankton Research*, **23**, 1147 (2001).
9. Kruk C., Mazzeo N., Lacerot G., Reynolds C. S. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement, *Journal of Plankton Research*, **24**, 901 (2002).
10. Naselli-Flores L., Padišak J., Dokulil M., Chorus I. Equilibrium / steady-state concept in phytoplankton ecology, *Hydrobiologia*, **502**, 395 (2003).
11. *Ecological problems of small rivers of the Republic of Tatarstan* (by the example of Meshi, Kazanka and Sviyaga), 289 p. (2003).
12. Barieva F. F., Khaliullina L. Yu., Mingazova N. M. Water ecosystems in Kazan and their hydrobiocenoses. Phytoplankton of urban water bodies and watercourses, *Ecology of the city of Kazan*, 236 (2005).
13. *Yearbook of the state of ecosystems of surface waters of Russia*, 151 p. (Moscow, 2013).
14. Mingazova N. M., Derevenskaya O. Yu., Mukhachev S. G., Nabeeva E. G., Palagushkina O. V., Unkovskaya E. N., Zariyova N. R. Monitoring of the state of the Kazan River in the city of Kazan and development of compensation measures, *Ecology of urbanized territories*, **2**, 121 (2013).
15. *The method of studying biogeocoenoses of inland water bodies*, 240 p. (Moscow, 1975).
16. Karlson B., Cusak C., Bresnan E. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis, *IOC Manuals and Guides*, 110 p. (Paris, 2010).
17. Tsarenko P. M. *A brief determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR*, 208 p. (Kiev, 1990).
18. Korneva L. G., Solovyova V. V. Experience in the use of morphofunctional classification of freshwater algae to assess the dynamics and spatial distribution of associations of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir, *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, **III**, **3**, 110 (2012).
19. Lange E. K. Phytoplankton complex of the Russian part of the Curonian Lagoon (2001–2007), *Izvestia KSTU*, **28**, 87 (2013).
20. Lyashenko O. A Development of *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) in reservoirs of the Upper Volga basin, *Botanical Journal*, **56**, **7**, 61 (2001).
21. Sakamoto M., Okino T. Self-regulation of cyanobacterial blooms in a eutrophic lake, *Verh. Int. Verein. Limnol.*, **27**, 1243 (2000).