

*К.И. Абрамова, Р.П. Токинова**Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, kseniaiv@yandex.ru*

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ФИТОПЛАНКТОНЕ РЕКИ КАЗАНКИ

Представлены результаты исследований видового разнообразия и количественного развития цианобактерий (Cyanobacteria) в фитопланктоне среднего и нижнего течения р. Казанки (Среднее Поволжье) в летний период 2019 г. На основе кластерного анализа выделены участки акватории, различающиеся по численности и биомассе сообщества. Установлена корреляционная связь пространственного распределения цианобактерий и его доминирующего состава с гидрохимическими параметрами среды обитания.

Ключевые слова: цианобактерии; фитопланктон; численность; биомасса; река Казанка.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.21.27>

Введение

Вопросы, связанные с антропогенным эвтрофированием водных экосистем, приводящим к массовому развитию цианобактерий (Cyanobacteria), являются весьма актуальными (McKay et al., 2020; Park et al., 2021). Экологическая пластичность цианобактерий обуславливает их способность значительно увеличивать численность и биомассу, и при определенных условиях становиться основными продуцентами органического вещества в водных экосистемах. В водоемах с замедленным водообменом при повышении температуры воды и высоком содержании биогенных веществ темпы роста потенциально токсичных видов цианобактерий существенно ускоряются (Корнева, 2017). Их массовое развитие, приводящее к «цветению воды», может способствовать возникновению экологических рисков в хозяйственном и рекреационном использовании водных объектов (Namsaraev et al., 2020). Одним из таких примеров является р. Казанка, в устьевой области которой регулярно наблюдается цветение воды (Абрамова, Токинова, 2020).

Казанка – типично равнинная река со смешанным питанием, длиной 140 км, располагается на северо-западе Предкамья (Республика Татарстан), является левым притоком р. Волга (Куйбышевского водохранилища). По гидрохимическому режиму воды верхнего и среднего течений реки относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу; в устьевой области, в связи с поступлением большого объема минерализованных вод из Голубых озер и р. Солонки, воды становятся сульфатно-кальциевыми. На берегах реки расположены города Казань (1300 тыс. чел.) и Арск (20 тыс.

чел.), множество малых населенных пунктов. Исследования цианобактерий р. Казанки ограничены небольшим числом работ (Экологические ..., 2003).

Цель исследования – выявление закономерностей в распределении комплекса доминирующих видов и количественных показателей цианобактерий в планктоне среднего и нижнего течения р. Казанки.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в июне–июле 2019 г. на 20 разрезах в среднем и нижнем течении р. Казанки, отобрано 53 пробы фитопланктона (в каждом разрезе по 1–3 станции, данные по которым усреднялись) (рис. 1). Одновременно выполнен отбор проб воды из поверхностного горизонта на гидрохимический анализ.

Сбор и обработка фитопланктона проведена по общепринятым методикам (Методика изучения..., 1975). Для идентификации видовой принадлежности цианобактерий использовали определители (Определитель..., 1953; Komárek, Anagnostidis, 1998; Komárek, Anagnostidis, 2005; Komárek, 2013).

Для эколого-географической характеристики видов использовали данные С.С. Бариновой (2006). Функциональные группы фитопланктона р. Казанки выделяли согласно С.С. Reynolds (2002) и J. Padisák (2009). К доминирующим отнесены виды, численность и/или биомасса которых составила не менее 10% от общей (Фитопланктон ..., 2003). Характеристика трофического состояния водотока дана по уровню биомассы фитопланктона (Трифонов, 1990) и содержанию

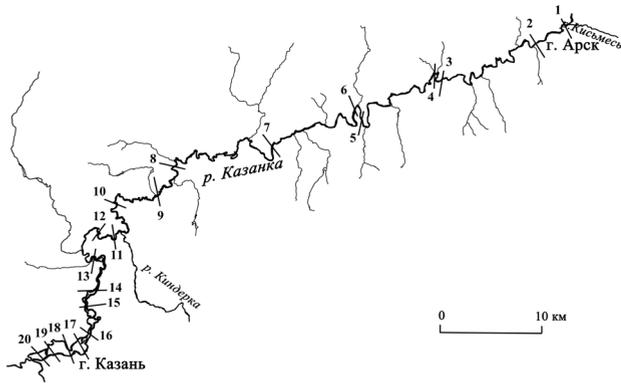


Рис. 1. Карта-схема расположения разрезов (1–20)
Fig. 1. The location of sections (1–20)

общего фосфора в воде (Даценко, 2007). При кластеризации данных использовали метод Варда, в качестве метрики – нормированное евклидово расстояние, выраженное в процентах. Оценка пространственного распределения цианобактерий проведена с применением дискриминантного анализа. Анализ связи биотических (численность и биомасса *Cyanobacteria*, общая численность и биомасса фитопланктона) и абиотических параметров (11 гидрохимических показателей: гидрокарбонаты, сульфаты, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, фосфор общий, мутность, рН, цветность и температура воды) проведен вычислением коэффициента корреляции Спирмена в программе Statistica 10.

Результаты и их обсуждение

В фитопланктоне р. Казанки из *Cyanobacteria* обнаружено 63 вида (15–20% от общего числа видов). По флористическому богатству они занимают третье место после *Chlorophyta* и *Vacillariophyta*. Цианобактерии представлены преимущественно распространенными (космополиты), планктонными и пресноводными видами. По отношению к содержанию органического вещества преобладают виды-индикаторы мезосапробных условий (β -мезосапробы). Сообщество *Cyanobacteria* представлено восемью функциональными группами, среди которых преимущественно обитатели мелководных эвтрофных водоемов, чувствительные к перемешиванию воды: Н1 (виды из родов *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*), К (*Anathece*, *Aphanocapsa*), Lо (*Merismopedia*, *Snowella*, *Woronichinia*), LМ (*Gomphosphaeria*), М (*Microcystis*), МР (*Oscillatoria*), S1 (*Limnothrix*, *Lyngbya*, *Planktolynghya*, *Planktothrix*, *Pseudanabaena*, *Spirulina*) и Z (*Chroococcus*, *Synechococcus*).

Доминирующий комплекс *Cyanobacteria* представлен, в основном, двумя видами (на всех разрезах) – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bor-

net et Flahault (из группы Н1) и/или *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis et Komárek (S1). На разрезах 17–20 к доминирующему составу по численности присоединялись виды из группы Lо: *Merismopedia minima* G. Beck и *Merismopedia tranquilla* (Ehrenberg) Trevisan. Численность остальных 59 видов составила менее 5% от общей.

Распределение доминирующих видов цианобактерий по течению р. Казанки имеет дискретный характер (рис. 2). В устьевой области, расположенной в черте г. Казани, преобладали *Aph. flos-aquae* (доля от численности *Cyanobacteria* 24–83% и 45–96% от биомассы) и виды р. *Merismopedia* (8–40% и 0.1–3%). Выше по течению доминировал *P. agardhii* (45–99% и 23–99%).

Общая численность фитопланктона реки изменялась от 6.2 ± 1.8 до 95.7 ± 12.2 млн. кл./л. Наиболее высокие значения численности отмечены на разрезах 18–20 (от 57.5 ± 7.0 до 95.7 ± 12.2 млн. кл./л) и 1–7 (от 63.4 ± 12.5 до 99.7 ± 19.5 млн. кл./л). Количественные показатели развития летнего фитопланктона достаточно хорошо отражают трофическое состояние водного объекта, при оценке которого используют уровень летних значений биомассы (Трифенова, 1990). Наибольшие значения общей биомассы фитопланктона отмечены на разрезах 18–20 (от 6.66 ± 0.59 до 8.61 ± 1.44 мг/л), что характеризует условия как эвтрофные. Выше по течению (разрезы 1–17) уровень биомассы фитопланктона снижается (от 1.06 ± 0.16 до 4.81 ± 0.84 мг/л) и соответствует мезотрофным условиям.

Распределение количественных показателей *Cyanobacteria* по течению реки имело неравномерный характер (рис. 3). Численность варьировала в пределах 0.8–93.7 млн. кл./л (доля *Cyanobacteria* от общей численности фитопланктона составила 6–96%), биомасса – от 0.05 до 8.61 мг/л

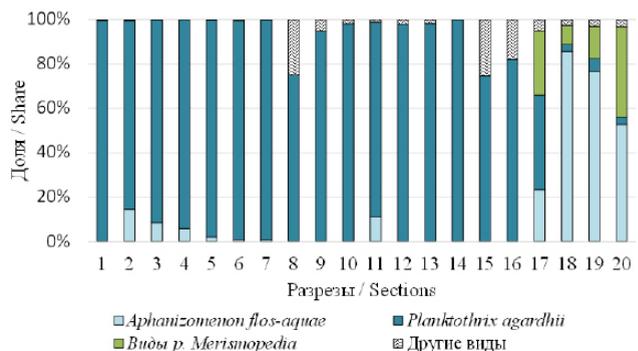


Рис. 2. Изменение доминирования видов цианобактерий (в % от общей численности *Cyanobacteria*) по течению р. Казанки

Fig. 2. The change in the dominance of *Cyanobacteria* species (in % of the total number of *Cyanobacteria*) along the Kazanka river

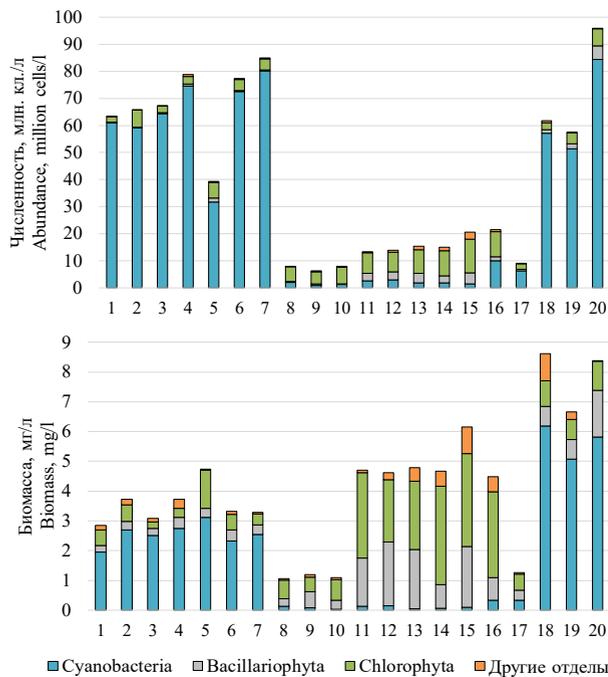


Рис. 3. Количественные показатели цианобактерий в фитопланктоне р. Казанки (по оси абсцисс указаны номера разрезов)
 Fig. 3. Quantitative indicators of Cyanobacteria in the phytoplankton of the Kazanka river (section numbers are indicated along the abscissa axis)

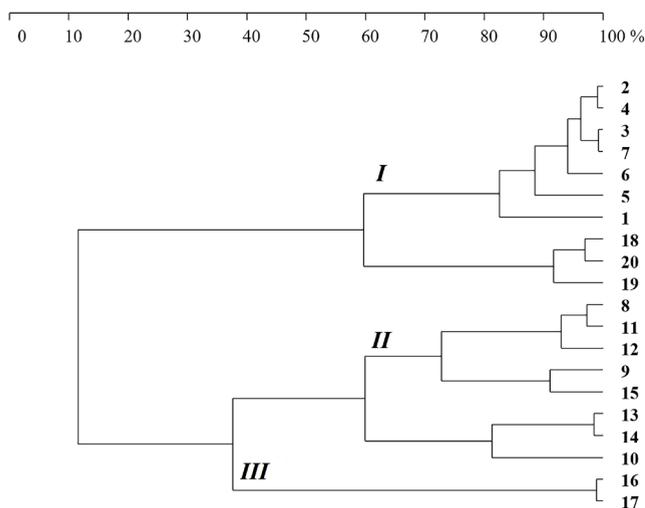


Рис. 4. Дендрограмма сходства разрезов по численности и биомассе цианобактерий
 Fig. 4. Dendrogram of similarity of sections in the number and biomass of Cyanobacteria

(1–82% от общей биомассы). Наиболее высокие значения численности и биомассы цианобактерий отмечены в черте г. Казань (разрезы 18–20), а также в районе г. Арск и ниже его по течению примерно на 30 км (разрезы 1–7). Следует отметить, что при приблизительно равной численности цианобактерий, уровень их биомассы у Казани выше, чем вблизи Арска. Это связано с раз-

личием длины клеток доминирующих видов при равной их ширине (4–6 мкм) – у *Aph. flos-aquae* длина составляет 5–8 мкм, *P. agardhii* – 2.5–4 мкм (Определитель ..., 1953).

Распределение количественных показателей сообщества условно разделилось на три кластера (рис. 4). В I кластер объединились разрезы 1–7 и 18–20 с высокими значениями численности и биомассы цианобактерий (56.8–93.7 млн. кл./л и 2.6–6.1 мг/л), во II кластер (разрезы 8–15) – с относительно низкими показателями (1.3–2.9 млн. кл./л и 0.05–0.15 мг/л). В III кластер вошли разрезы 16 и 17 с промежуточными количественными значениями (8.7–9.9 млн. кл./л и 0.33–0.53 мг/л).

По результатам дискриминантного анализа установлено, что выделенные участки акватории достоверно различаются по уровню развития в них цианобактерий ($p < 0.05$). Следует отметить, что по значению квадрата расстояния Махаланобиса наиболее близки разрезы 8–15, объединившиеся во II кластер.

Воды р. Казанки в черте г. Казани (разрезы 18–20) по сравнению с другими участками ее течения были относительно прогреты (19.8–20.1 °C против 15.0–19.6 °C), имели более высокие показатели цветности (20.8 против 9.4–14.4°), низкие значения мутности (1.4 против 5.6–8.4 ЕМФ), более щелочную реакцию среды (8.3 против 7.8–7.9 ед.). Концентрации гидрокарбонат-ионов в среднем и нижнем течении Казанки варьировали в пределах 245–300 мг/л, сульфатов – 215–708 мг/л. Высокое природное содержание сульфат-ионов в водах реки обусловлено разгрузкой в нее подземных вод с территории Вятского Увала, а также притоком в ее нижнем течении солоноватых вод р. Солонки и Голубых озер (Экология..., 2005).

По содержанию общего фосфора трофический статус нижнего и среднего течения р. Казанки соответствовал эвтрофному типу. Более высокое содержание минеральных форм азота и фосфора отмечено в среднем течении реки (разрезы 1–15). Содержание нитратов здесь составило 4.3–5.3 мг/л против 0.01 мг/л на разрезах 18–20, общего фосфора – 0.07–0.10 мг/л против 0.03 мг/л.

В таблице представлены корреляционные связи биотических и абиотических параметров речных вод.

Установлено, что численность и биомасса доминирующих видов и сообщества в целом отрицательно коррелируют ($p < 0.05$) с содержанием в воде гидрокарбонатов, сульфатов, нитритов и аммония, положительно – с температурой и цветностью воды.

Температура воды является важнейшим фактором в формировании количественных показате-

Таблица. Коэффициенты корреляции Спирмена абиотических параметров с численностью (*N*, млн. кл./л), биомассой (*B*, мг/л) цианобактерий и фитопланктона в целом ($p < 0.05$)
Table. Spearman correlation coefficients of abiotic parameters with the number (*N*, million cells/l), biomass (*B*, mg/l) of cyanobacteria and phytoplankton in total ($p < 0.05$)

Параметры Parameters	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		<i>Planktothrix agardhii</i>		Цианобактерии Cyanobacteria		Общая Total	
	N	B	N	B	N	B	N	B
Гидрокарбонаты, мг/л Bicarbonates, mg/l	-0.56	-0.56	-0.58	-0.58	-0.67	-0.62	-0.76	–
Сульфаты, мг/л Sulfates, mg/l	–	–	-0.61	-0.65	-0.40	–	-0.50	0.46
Температура воды, °C Water temperature, °C	0.69	0.69	–	0.77	0.57	0.76	–	0.71
Цветность, ° Chroma, °	0.54	0.53	–	0.69	0.54	0.70	0.60	0.62
Мутность, ЕМФ Turbidity, EMF	–	–	–	–	–	–	–	-0.81
pH, ед. pH pH, unit pH	–	–	–	–	–	–	–	0.76
Аммоний ион, мг/л Ammonium ion, mg/l	-0.54	-0.54	–	–	–	-0.55	–	-0.68
Нитриты, мг/л Nitrites, mg/l	-0.58	-0.58	–	–	-0.55	-0.70	-0.61	–
Нитраты, мг/л Nitrates, mg/l	–	–	–	–	–	–	–	-0.77
Фосфаты, мг/л Phosphates, mg/l	–	–	–	–	–	–	–	-0.70
Фосфор общий, мг/л Total phosphorus, mg/l	–	–	–	–	–	–	–	-0.84

Примечание / Note: прочерк – отсутствие достоверной корреляционной связи / dashes – the absence of a reliable correlation.

телей цианобактерий. При ее повышении усиливается темп роста количественных показателей *Cyanobacteria*, что обуславливает увеличение цветности воды. В черте г. Казань отмечаются более высокие показатели цветности воды, что связано с активным накоплением биомассы *Aph. flos-aquae*. Статистическая связь количественных показателей цианобактерий с сульфатами позволяет предположить также влияние сульфатных высокоминерализованных вод р. Солонки и Голубых озер, поступающих в нижнее течение реки (разрезы 12–13), на обилие *Cyanobacteria*.

Выявленные различия в корреляционной связи доминирующих видов с гидрохимическими параметрами, по-видимому, связаны с анатомо-физиологическими особенностями клеток, толерантностью и/или чувствительностью видов к определенным факторам окружающей среды. Безгетероцистные нитчатые *P. agardhii* преобладали в более прохладной и мутной воде, с высоким содержанием биогенных элементов, *Aph. flos-aquae* – на хорошо прогреваемой акватории с относительно низким содержанием биогенных

элементов. Отрицательная связь цианобактерий с гидрокарбонатами указывает на их использование в качестве питания, как источника углерода (Бородина, 2003).

Отмечено, что в фитопланктоне реки преимущественно встречается локальное доминирование *Aph. flos-aquae* или *P. agardhii*. Определяющими факторами распространения одного из видов является чувствительность и толерантность к определенным физико-химическим параметрам среды обитания. Подобное явление отмечается и в других реках, подверженных эвтрофированию (McKay et al., 2020; Čado et al., 2020). В черте г. Казань в хорошо прогретых, относительно прозрачной, слабощелочных водах в сообществе фитопланктона преобладает *Aph. flos-aquae*, относящийся к функциональной группе H1, к которой относятся виды, чувствительные к недостатку освещенности и толерантные к низкому содержанию азота. Выше по течению температура воды в р. Казанке понижается, реакция среды приближается к нейтральным значениям, вода становится более мутной, здесь доминирует *P. agardhii*, отно-

сящийся к функциональной группе S1, к которой относятся виды мелководных эвтрофных и высокоэвтрофных водоемов, толерантные к дефициту света (толерантные к мутным водам).

По данным предшествующих исследований в фитопланктоне устьевой области реки для вегетационного периода 1995–2001 гг. был обычен синезелено-зеленый комплекс видов, в котором преобладающим из цианобактерий являлся *Aph. flos-aquae* (Экологические ..., 2003). Сравнение с полученными нами результатами указывает на возросшую в последние десятилетия роль цианобактерий в зонах с высоким уровнем урбанизации, таких как города Арск (среднее течение реки) и Казань (устьевая область, доминирование *Aph. flos-aquae* и *P. agardhii* с локальным присоединением видов р. *Merismopedia*). При этом отмечается массовое появление в этих зонах нитчатой безгетероцистной цианобактерии *P. agardhii*, развитие которой связывают с нарастающим уровнем антропогенного эвтрофирования (Кривина, 2018).

Заключение

В фитопланктоне среднего и нижнего течения р. Казанки обнаружено 63 вида Cyanobacteria, представленных преимущественно распространенными, планктонными и пресноводными видами, видами-индикаторами мезосапробных условий, обитателями мелководных эвтрофных водоемов, чувствительных к перемешиванию воды. Доминирующий комплекс видов представлен нитчатыми формами – *Aphanizomenon flos-aquae* и *Planktothrix agardhii* и колониальными – *Merismopedia minima* и *M. tranquilla*.

Распределение доминирующего состава и количественных показателей цианобактерий в среднем и нижнем течении р. Казанки отличается неравномерностью. В пределах исследованной акватории выделено три участка с различными значениями численности и биомассы цианобактерий: высокими (56.8–93.7 млн. кл./л и 2.6–6.1 мг/л), средними (8.7–9.9 млн. кл./л и 0.33–0.53 мг/л) и низкими (1.3–2.9 млн. кл./л и 0.05–0.15 мг/л). Наибольшие значения численности и биомассы Cyanobacteria отмечаются на речных участках, подверженных влиянию урбанизации: городах Казань (устьевая область реки) и Арск (среднее течение).

Пространственное распределение цианобактерий и доминирующего комплекса видов в р. Казанке регулируется рядом природных и антропогенных факторов, наиболее важными из которых являются: температура воды, содержание в ней биогенных элементов (нитритов, аммония), а

также основных ионов (гидрокарбонатов, сульфатов).

На урбанизированных территориях, в условиях замедленного водообмена массовое развитие цианобактерий, способствующее возникновению экологических рисков в хозяйственном и рекреационном использовании водных объектов, является проблемой экосистемного уровня.

Список литературы

1. Абрамова К.И., Токинова Р.П. Межгодовая динамика летнего фитопланктона в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020. Т. 29, №3. С. 89–94. doi: 10.24411/2073-1035-2020-10336.
2. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Изд-во Pilies Studio, 2006. 498 с.
3. Бородин А.В. Ростовые характеристики цианобактерий *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. при использовании различных источников неорганического углерода в питательных средах // Ботанические исследования в азиатской России / Материалы XI съезда РБО. Барнаул: Изд-во АзБука, 2003. Т. 1. С. 84–87.
4. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.
5. Корнева Л.Г. Фитопланктон Волги: последствия изменения климата и эвтрофирования // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения / Материалы междунаучно-практич. конф. Казань: Изд-во РПК Волга, 2017. С. 133–138.
6. Кривина Е.С. Трансформация фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий в условиях изменения антропогенной нагрузки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2018. 19 с.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.
8. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли / Под ред. М.М. Голлербах, Е.К. Косинской, В.И. Полянского. М.: Советская наука, 1953. 651 с.
9. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
10. Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки / Под ред. И.С. Трифоновой. СПб: Наука, 2003. 232 с.
11. Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан (на примере Мешы, Казанки и Свяги) / Под ред. В.А. Яковлева. Казань: Фэн, 2003. 289 с.
12. Экология города Казани. Казань: Фэн, 2005. 576 с.
13. Čado S., Durkovic A., Novakovic B., Stojanovich Z., Zaric D. Phytoplankton of the Bukulja Reservoir // Water Research and Management. 2020. Vol. 10, №3–4. P. 13–28.
14. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Spectrum Akademischer Verlag, 1998. Bd. 19/1. 548 p.
15. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München: Elsevier GmbH, 2005. Bd. 19/2. 759 p.
16. Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Springer, 2013. Bd. 19/3. 1130 p.

17. McKay R.M., Frenken T., Diep N., Cody W., Crevecoeur S., Dove A., Drouillard K., Ortiz X., Wintermute J., Zastepa A. Bloom announcement: An early autumn cyanobacterial bloom co-dominated by *Aphanizomenon flos-aquae* and *Planktothrix agardhii* in an agriculturally-influenced Great Lakes tributary (Thames River, Ontario, Canada) // Data in Brief. 2020. Vol. 30. P. 1–6. doi: 10.1016/j.dib.2020.105585.

18. Namsaraev Z., Melnikova A., Komova A., Ivanov V., Rudenko A., Ivanov E. Algal Bloom Occurrence and Effects in Russia // Water. 2020. 12(1). 285. P. 1–14. doi:10.3390/w12010285.

19. Padisák J., Crossetti L.O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Hydrobiologia. 2009. 621. P. 1–19.

20. Park H.-K., Lee H.-J., Heo J., Yun J.-H., Kim Y.-J., Kim H.-M., Hong D.-G., Lee In-J. Deciphering the key factors determining spatio-temporal heterogeneity of cyanobacterial bloom dynamics in the Nakdong River with consecutive large weirs // Science of the total environment. 2021. STOTEN–143079. P. 1–14. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143079.

21. Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of plankton research. 2002. Vol. 24, iss. 5. P. 417–428. doi.org/10.1093/plankt/24.5.417.

References

1. Abramova K.I., Tokinova R.P. Mezhdogovaya dinamika letnego fitoplanktona v ust'evoy oblasti reki Kazanki (g. Kazan') [Interannual dynamics of summer phytoplankton in the mouth region of the Kazanka River (Kazan)] // Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii [Samara Luka: problems of regional and global ecology]. 2020. Vol. 29, No 3. P. 89–94. doi: 10.24411/2073-1035-2020-10336.

2. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhayushchej sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 p.

3. Borodina A.V. Rostovye harakteristiki cianobakterij *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. pri ispol'zovanii razlichnyh istochnikov neorganicheskogo ugleroda v pitatel'nyh sredah [Growth characteristics of cyanobacteria *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. when using various sources of inorganic carbon in nutrient media] // Botanicheskie issledovaniya v aziatskoj Rossii [Botanical research in Asian Russia] / Materialy XI s'ezda RBO. Barnaul: AzBuka, 2003. Vol. 1. P. 84–87.

4. Dacenko Yu.S. Evtrofirovaniye vodohranilishch. Hidrologo-gidrohimicheskie aspekty [Eutrophication of reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects]. Moscow: GEOS, 2007. 252 p.

5. Korneva L.G. Fitoplankton Volgi: posledstviya izmeneniya klimata i evtrofirovaniya [Volga phytoplankton: consequences of climate change and eutrophication] // Global'noe rasprostraneniye processov antropogennogo evtrofirovaniya vodnyh ob'ektov: prblemy i puti resheniya [Global spread of anthropogenic eutrophication of water bodies: problems and solutions] / Materialy mezhd. nauchno-praktich. konf. Kazan': RPK Volga, 2017. P. 133–138.

6. Krivina E.S. Transformaciya fitoplanktona malyx vodoemov urbanizirovannyx territorij v usloviyax izmeneniya antropogennoj nagruzki [Transformation of phytoplankton of small reservoirs of urbanized territories in conditions of changing anthropogenic load]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) Togliatti, 2018. 19 p.

7. Metodika izucheniya biogeocenzov vnutrennih vodoemov [Methods of studying biogeocenoses of inland reservoirs] / Pod

red. F.D. Morduhaj-Boltovskogo. Moscow: Nauka, 1975. 240 p.

8. Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR. Vyp. 2. Sinezelenye vodorosli [The determinant of freshwater algae of the USSR. Vol. 2. Blue-green algae] / ed. M. M. Gollerbah, E. K. Kosinskij, V.I. Polyanskyi. Moscow: Sovetskaya nauka, 1953. 651 p.

9. Trifonova I.S. Ekologiya i sukcessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad: Nauka, 1990. 184 p.

10. Fitoplankton Nizhnej Volgi. Vodohranilishcha i nizov'e reki [Reservoirs and the lower reaches of the river] / ed. I.S. Trifonova. Saint-Petersburg: Nauka, 2003. 232 p.

11. Ekologicheskie problemy malyh rek Respubliki Tatarstan (na primere Meshi, Kazanki i Sviyagi) [Ecological problems of small rivers of the Republic of Tatarstan (on the example of Mesha, Kazanka and Sviyaga)] / ed. V.A. Yakovlev. Kazan': Fen, 2003. 289 p.

12. Ekologiya goroda Kazani [Ecology of the city of Kazan]. Kazan': Fen, 2005. 576 p.

13. Čado S., Durkovic A., Novakovic B., Stojanovich Z., Zarić D. Phytoplankton of the Bukulja Reservoir // Water research and management. 2020. Vol. 10. No 3–4. P. 13–28.

14. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Spectrum Akademischer Verlag, 1999. Bd. 19/1. 548 p.

15. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München: Elsevier GmbH, 2005. Bd. 19/2. 759 p.

16. Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Springer, 2013. Bd. 19/3. 1130 p.

17. McKay R. M., Frenken T., Diep N. Cody W., Crevecoeur S., Dove A., Drouillard K., Ortiz X., Wintermute J., Zastepa A. Bloom announcement: An early autumn cyanobacterial bloom co-dominated by *Aphanizomenon flos-aquae* and *Planktothrix agardhii* in an agriculturally-influenced Great Lakes tributary (Thames River, Ontario, Canada) // Data in Brief. 2020. Vol. 30. P. 1–6. doi: 10.1016/j.dib.2020.105585.

18. Namsaraev Z., Melnikova A., Komova A., Ivanov V., Rudenko A., Ivanov E. Algal Bloom Occurrence and Effects in Russia // Water. 2020. 12(1). 285. P. 1–14. doi:10.3390/w12010285.

19. Padisák J., Crossetti L.O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Hydrobiologia. 2009. 621. P. 1–19.

20. Park H.-K., Lee H.-J., Heo J., Yun J.-H., Kim Y.-J., Kim H.-M., Hong D.-G., Lee In-J. Deciphering the key factors determining spatio-temporal heterogeneity of cyanobacterial bloom dynamics in the Nakdong River with consecutive large weirs // Science of the total environment. 2021. STOTEN–143079. P. 1–14. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143079.

21. Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of plankton research. 2002. Vol. 24, iss. 5. P. 417–428. doi.org/10.1093/plankt/24.5.417.

Abramova K.I., Tokinova R.P. **Spatial distribution of Cyanobacteria in the phytoplankton of the Kazanka river.**

The results of studies of the species diversity and

quantitative development of Cyanobacteria in the plankton of the middle and lower reaches of the Kazanka river (Middle Volga region) in the summer of 2019 are presented. Based on cluster analysis, three sections of the water area were identified, differing in the number and biomass of the community. A correlation has been established between the spatial distribution of Cyanobacteria and its dominant composition with the hydrochemical parameters of the habitat.

Keywords: Cyanobacteria; phytoplankton; abundance; biomass; Kazanka River.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 07.12.2022

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 22.12.2022

Принята к публикации / Accepted for publication: 28.12.2022

Информация об авторах

Абрамова Ксения Ивановна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: kseniaiv@yandex.ru.

Токинова Римма Петровна, кандидат биологических наук, зав. лабораторией, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: r.tokin@rambler.ru.

Information about the authors

Ksenia I. Abramova, Ph.D. in Biology, Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: kseniaiv@yandex.ru.

Rimma P. Tokinova, Ph.D. in Biology, Head of Laboratory, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: r.tokin@rambler.ru.

