

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФИТО-ОЧИСТНЫХ СИСТЕМ В БОРЬБЕ С "ЦВЕТЕНИЕМ" ВОДЫ В ГОРОДСКОМ ВОДОЕМЕ

¹К.И. Абрамова

¹Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань

На примере работы фито-очистной системы (ФОС) (оз. Нижний Кабан, Республика Татарстан, г. Казань) установлена её эффективность в подавлении "цветения" воды, а также в угнетении развития динофитовых и потенциально токсичных видов синезеленых водорослей. Подтверждено, что рогоз узколистый, аир болотный и водяная лилия выступают эффективными биофильтрами. Сделан вывод о том, что в прудах с макрофитами улучшается качество воды по показателям фитопланктона (снижаются общая численность и биомасса, увеличивается доля зеленых и диатомовых водорослей в общих показателях); подавляются доминирующие виды, вызывающие "цветение" воды; увеличивается прозрачность, снижается уровень трофности (биологической продуктивности) воды; улучшается класс качества воды от "грязных вод" до "чистых", от разряда "предельно грязных" до "очень чистых–вполне чистых"; снижается эффект антропогенного воздействия на воду. Рекомендовано строительство в прибрежных зонах городских водоемов ФОС, совмещающих рекреационную и водоочистительную функции.

Ключевые слова: "цветение" воды, фито-очистная система, динофитовые, синезеленые водоросли, рогоз узколистый, аир болотный, водяная лилия, качество воды, оз. Нижний Кабан

Статья поступила в редакцию 23.04.2025, доработана 01.07.2025, принята к публикации 02.07.2025

Experience in the Use of Constructed Wetlands in Combating "Blooming" of Water in Urban Water Bodies

¹K.I. Abramova

¹Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 420087 Kazan, Russia

Using the example of the phyto-purification system (PPS) (Lake Nizhniy Kaban, Republic of Tatarstan, Kazan), its effectiveness in suppressing water bloom, as well as in inhibiting the development of dinophytes and potentially toxic species of blue-green algae, was established. It was confirmed that cattail, calamus and water lily act as effective biofilters. It is concluded that in ponds with macrophytes, the water quality is improved in terms of phytoplankton (the total number and biomass are decreased, the proportion of green and diatom algae in the overall indicators is increased); dominant species causing water "blooming" are suppressed; transparency is increased, the trophic level (biological productivity) of water is decreased; the water quality class is improved from "dirty water" to "clean", from "extremely dirty" to "very clean — quite clean"; the effect of anthropogenic impact on water is reduced. It is recommended to build PPS in coastal zones of urban reservoirs, combining recreational and water treatment functions.

Keywords: water "blooming", phyto-purification system, dinophytes, blue-green algae, cattail, calamus, water lily, water quality, Lake Nizhniy Kaban

Received 23.04.2025, revised 01.07.2025, accepted for publication 02.07.2025

DOI: 10.18412/1816-0395-2025-9-18-23

В последние десятилетия в условиях потепления климата и антропогенного воздействия, способствующего обогащению городских водоемов биогенными элементами азотом и фосфором, наблюдается увеличение первичной продуктивности автотрофных (способных к фотосинтезу) организмов, приводящее к ухудшению качества воды, "цветению",

структурным изменениям в водных сообществах, нарушению процессов самоочищения и функционирования водных экосистем в целом.

Чрезмерное размножение планктонных микроводорослей ("цветение" воды) является мировой проблемой, признанной на уровне Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). "Цветение" воды, вызванное

увеличением количества синезеленых водорослей (цианобактерий), достигающего критического значения (более 10 мг/л по биомассе), несет опасное последствие. Способность синезеленых водорослей синтезировать и выделять в водную среду токсичные эндометаболиты (цианотоксины) негативно влияет на водные организмы и здоровье человека.

Массовое развитие синезеленых водорослей косвенно указывает на увеличение концентрации цианотоксинов в воде. Однако в России не ведется программа обязательного мониторинга количественных показателей синезеленых водорослей и цианотоксинов в водоемах, являющихся источником водоснабжения и выполняющих рекреационную функцию. Отсутствуют нормативы допустимого уровня содержания цианотоксинов в питьевой воде и водоемах рекреационных зон, за исключением установленного СанПиН [1] значения предельно допустимой концентрации (ПДК) по микроцистину-LR (0,001 мг/л) в воде питьевой системы централизованного и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

В регуляции развития водорослей, в том числе синезеленых, важную роль выполняет воздушно-водная растительность (макрофиты). Поглощая и аккумулируя биогенные элементы, обладающая альггицидной активностью водная растительность выступает естественным биофильтром для водоемов, помогающим снизить уровень "цветения" воды, повысить самоочищающуюся способность водного объекта. Важным методом в регуляции функционирования высокоэвтрофных водоемов, перенасыщенных биогенными элементами и подверженных неконтролируемому росту водорослей, является фиторемедиация. Это альтернативная новая технология для восполнения макрофитов в водоемах, очистки водоемов от загрязняющих вод.

Использование фито-очистных систем (далее ФОС) официально признано в числе доступных технологий, улучшающих качество воды. Технология очистки водных экосистем от загрязнений с использованием гидромакрофитов рас-



Рис. 1. Фито-очистная система на озере Нижний Кабан

Fig. 1. Constructed wetland on the Lake Nizhny Kaban

пространена практически во всех странах мира, однако строительство подобных систем в России весьма ограничено [2]. Применение инженерных систем с водными растениями позволяет не только контролировать эвтрофикацию загрязненных водоемов [3], но и способствует деградации токсичных веществ.

Особую актуальность приобретает строительство ФОС в городских водоемах ввиду сочетания экологических, экономических и социальных факторов. Подобные системы становятся важным элементом устойчивого развития городов, выполняющим природно-эстетические, рекреационные, экологические функции. Строительство ФОС — это не только ответ на экологические вызовы, но и инструмент создания "умных" городов будущего. Их внедрение соответствует глобальным трендам на декарбонизацию, циркулярную экономику и улучшение качества жизни.

Пример таких городов, где построен ряд фито-очистных систем, — Казань (Республика Татарстан). В рамках Программы развития общественных пространств республики (<http://park.tatar.ru>) проведена реконструкция набережной озера Нижний Кабан. Осуществлены мероприятия по

озеленению прибрежной территории, устройству прогулочных зон и велодорожек, созданию каскада прудов ФОС (рис. 1).

В качестве растений-фильтраторов высажены свободноплавающая водная растительность и растения, укореняющиеся в грунте под водой, с вегетативными органами, выступающими над поверхностью воды [4]. Видовой состав водных растений соответствовал требованиям ФОС. Это высокопродуктивные, фитомелиоративные и экспансивные макрофиты, выполняющие фильтрационную, поглотительную, накопительную, окислительную и детоксикационную функции [5]. Кроме того, выбранные растения имеют декоративные характеристики и рекомендованы для оформления прибрежной зоны городских водоемов.

Цель настоящей работы — оценка эффективности применения ФОС в борьбе с "цветением" воды (на примере оз. Нижний Кабан).

Объекты и методы исследования

Озеро Нижний Кабан входит в систему озер Кабан и располагается в центральной части г. Казани. Водоем испытывает серьезную антропогенную нагрузку. По опублико-



Рис. 2. Схема расположения прудов фито-очистной системы. Точками указаны места отбора проб в озере Нижний Кабан (К) и в прудах (4, 7, 8)

Fig 2. Scheme of ponds location in the constructed wetland. Dots indicate sampling locations in Lake Nizhny Kaban (K) and in ponds (4, 7, 8)

ванным данным, биомасса летнего фитопланктона в озере достигает уровня высокоэвтрофии с доминированием сине-зеленых и динофитовых водорослей. Ежегодно здесь фиксируется "цветение" воды, сопровождающееся изменением ее цвета, снижением прозрачности и увеличением мутности, а по гидрохимическим показате-

лям вода относится к "экстремально загрязненным" с превышением концентрации нитритов, сульфатов, меди, цинка и фенолов [6, 7].

Оценка работы ФОС выполнялась с использованием показателей фитопланктона, поскольку согласно методическим указаниям Руководящего документа [8] фитопланктону

принадлежит ведущая роль в индикации изменения качества воды водных объектов, выявлении уровня и типа загрязненности, оценке антропогенного воздействия. Учитывая, что высокоэвтрофные водоемы ежегодно подвержены "цветению" воды, важный этап контроля эффективности работы ФОС на таких водоемах — мониторинг фитопланктона, позволяющий во временной динамике вносить коррективы в их эксплуатацию, разрабатывать рекомендации для строительства высокоэффективных ФОС.

В июне 2018 г. на северо-восточном берегу оз. Нижний Кабан был введен в эксплуатацию каскад прудов ФОС, состоящий из восьми небольших по площади (26–127 м²) секций, взаимодействующих между собой (рис. 2).

Последовательная подача воды из одного пруда в другой осуществляется посредством перелива и фильтрации через верхнюю часть габионов. Конструктивной особенностью ФОС служит наличие в преде-



Рис. 3. Фитоценозы, сформированные в прудах:

1 – эйхорния отличная; 2 – камыш озерный; 3 – дербенник иволистный; 4 – рогоз узколистный; 5 – ирис ложноаировый; 6 – манник большой; 7 – аир болотный; 8 – водяная лилия

Fig. 3. Phytocoenoses formed in ponds by planting:

1 – *Eichhornia crassipes*; 2 – *Schoenoplectus lacustris*; 3 – *Lythrum salicaria*; 4 – *Typha angustifolia*; 5 – *Iris pseudacorus*; 6 – *Glyceria maxima*; 7 – *Acorus calamus*; 8 – *Nymphaea* sp.

Показатели обилия фитопланктона, прозрачности воды, качества воды по месту отбора проб (по данным за август и сентябрь)**Indicators of phytoplankton abundance, water transparency, water quality at the sampling site (based on data from August and September)**

Место	Показатель	Год		
		2018	2021	2022
Озеро	Численность, млн кл./л	17,66±8,63	12,39±4,43	226,16±124,14
	Биомасса, мг/л	19,64±8,25	71,90±34,04	17,3±7,34
	Прозрачность, м	–	0,3–0,5	0,3–0,5
	Класс качества воды	4 – загрязненная	5 – грязная	4 – загрязненная
	Разряд качества воды	4б – сильно загрязненная	5а – весьма грязная	4б – сильно загрязненная
	Уровень трофности	Высокоэвтрофный	Высокоэвтрофный	Высокоэвтрофный
	Уровень антропогенного эвтрофирования	Высокий		
Пруд Рогоз	Численность, млн кл./л	10,42±5,68	0,28±0,14	80,74±9,02
	Биомасса, мг/л	18,53±10,24	1,67±0,83	3,88±0,85
	Прозрачность, м	–	0,3 (до дна)	0,3 (до дна)
	Класс качества воды	4 – загрязненная	3 – удовлетворит. чистоты	3 – удовлетворит. чистоты
	Разряд качества воды	4б – сильно загрязненная	3а – достаточно чистая	3б – слабо загрязненная
	Уровень трофности	Высокоэвтрофный	Мезотрофный	Мезотрофный
	Уровень антропогенного эвтрофирования	Средний		
Пруд Аир	Численность, млн кл./л	7,77±4,62	0,15±0,08	58,21±0,37
	Биомасса, мг/л	13,65±9,74	0,79±0,77	2,04±0,07
	Прозрачность, м	–	0,3 (до дна)	0,3 (до дна)
	Класс качества воды	4 – загрязненная	2 – чистая	3 – удовлетворит. чистоты
	Разряд качества воды	4б – сильно загрязненная	2б – вполне чистая	3б – слабо загрязненная
	Уровень трофности	Высокоэвтрофный	Олиготрофный	Мезотрофный
	Уровень антропогенного эвтрофирования	Низкий		
Пруд Лилия	Численность, млн кл./л	–	–	16,74±9,83
	Биомасса, мг/л	–	–	0,64±0,36
	Прозрачность, м	–	–	0,7–0,8 (до дна)
	Класс качества воды	–	–	2 – чистая
	Разряд качества воды	–	–	2а – очень чистая 2б – вполне чистая
	Уровень трофности	–	–	Олиготрофный

Примечание. – данные отсутствуют.

лах каскада двух гидравлических потоков [4]. Система относится к поверхностному типу с открытой водной поверхностью, где к четвертому году работы ФОС в прудах сформировались фитоценозы из водных макрофитов, проективное покрытие которых достигало более 90 % (рис. 3).

Эффективность работы ФОС определяли путем сравнительного анализа фитопланктона в отобранных пробах на озере и в прудах с рогозом узколистным, аиром болотным и водяной лилией. Исследования проводили с июля по октябрь на протяжении трех лет (2018, 2021 и 2022 гг.). Сбор и обработка фитопланктона проведены по общепринятым методикам [9] и требованиям ГОСТ [10]. Для оценки

загрязненности, уровня антропогенного эвтрофирования применяли показатели, рекомендованные методическими указаниями [8]. К доминирующим отнесены виды, составляющие ≥ 10 % от общей численности и/или биомассы. Характеристика трофического состояния акватории представлена по уровню биомассы [11]. Класс качества воды дан по классификации качества поверхностных вод суши [12] и классификатору качества вод Росгидромета [13]. Измерение прозрачности воды проведено при помощи диска Секки.

Результаты и обсуждение

Массовое развитие водорослей — источник биологического загрязнения и косвенный показатель ухудшения общего

санитарного состояния водоема со всеми вытекающими отрицательными гигиеническими и эпидемиологическими последствиями [14]. Увеличение общей биомассы фитопланктона, превышающей 10 мг/л, нарушает процессы самоочищения и саморегуляции, запуская процесс "цветения" [15]. Согласно экологической классификации качества поверхностных вод суши в водоемах с биомассой фитопланктона, превышающей 5,1 мг/л, вода соответствует 4-му классу качества "загрязненные"; более 50 мг/л — 5-му классу, "грязные" [12]. В период "цветения" в условиях эвтрофирования наблюдается доминирование одного или нескольких наиболее приспособленных видов водорослей.

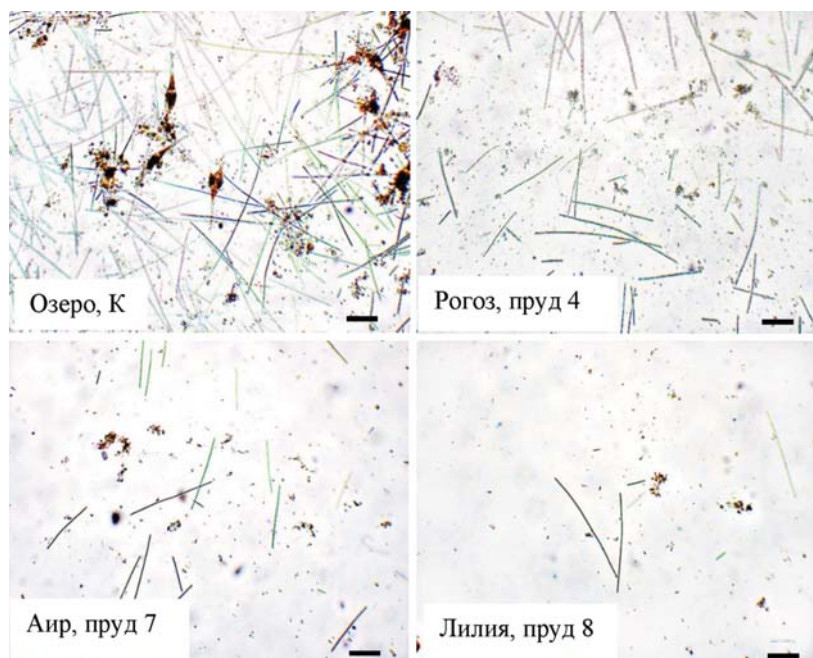


Рис. 4. Обилие фитопланктона в озере (К) и фито-очистной системе с макрофитами 4, 7 и 8 (см. рис. 2) по данным 20.08.2022 г. Масштаб: 25 µm
Fig. 4. Phytoplankton abundance in the lake (K) and constructed wetland with macrophytes 4, 7 and 8 (see fig. 2) as measured on 20.08.2022. Scale: 25 µm

Прибрежная акватория оз. Нижний Кабан функционирует в условиях высокой антропогенной нагрузки. Наблюдается "цветение" воды потенциально токсичными видами синезеленых *Planktothrix agardhii* и *Aphanizomenon flos-aquae* и крупноразмерным видом динофитовых водорослей *Ceratium hirundinella*. Количественные показатели фитопланктона соответствуют высокоэвтрофным условиям (см. таблицу). Класс качества воды по биомассе соответствует 5-му классу — "грязная", разряд — "предельно-грязная". По прозрачности (0,3 м) воды соответствует 4-му классу качества воды — "загрязненная". Экосистема озера находится на уровне высокого антропогенного эвтрофирования.

Проведенные исследования показали, что по мере прохождения озерной воды по ФОС качество воды улучшается. Пруды с фитocenозами оказывают влияние на гидробиологическую составляющую воды, вызывая заметную перестройку структурной организации фитопланктона. Изменяются состав и количественные показатели. Подавляется "цветение"

воды за счет снижения обилия динофитовых и потенциально токсичных синезеленых водорослей. Увеличивается роль зеленых, диатомовых и золотистых водорослей в сложении количественных показателей (рис. 4). Рогоз узколистный, аир болотный и водяная лилия зарекомендовали себя эффективными биофильтрами. В прудах с макрофитами улучшается качество воды по показателям фитопланктона (снижаются общая численность и биомасса, увеличивается прозрачность до дна). Высокий трофический статус воды снижается до олиготрофии. Улучшается класс качества воды: от "грязных вод" до "чистых", от разряда "предельно грязных" до "очень чистых—вполне чистых". Снижается уровень антропогенного эвтрофирования (см. таблицу). Следует отметить, что эффективность работы наблюдается на четвертый-пятый год работы ФОС, в период сформировавшихся фитocenозов макрофитов.

Формирование неблагоприятных условий для развития фитопланктона в прудах ФОС обусловлено результатом комплексного воздей-

ствия экологических факторов (конкуренция за свет и питательные вещества, аллелопатическое воздействие, изменение физико-химических условий водной среды), приводящее к регуляции функционирования водных экосистем, процессов самоочищения, снижению уровня трофности и "цветения" воды.

Заключение

Для оценки работы фито-очистной системы в высокоэвтрофном городском оз. Нижний Кабан использованы показатели развития фитопланктонного сообщества как критерий мониторинга антропогенного эвтрофирования. ФОС с фитocenозами рогоза узколистного, аира болотного и водяной лилии зарекомендовала себя как эффективный биофильтр, способствующий снижению уровня трофии, повышению прозрачности и качества воды, угнетению "цветения" воды динофитовыми и синезелеными водорослями. Эффективность работы наблюдается в период сформировавшихся фитocenозов макрофитов, на четвертый-пятый год работы ФОС. Отмечается подавление возбудителей "цветения" воды, *Ceratium hirundinella*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Planktothrix agardhii*. Увеличивается роль диатомовых и зеленых водорослей в количественных показателях фитопланктона. Повышается прозрачность воды. Уровень трофности снижается до мезотрофии-олиготрофии. Изменяется класс качества с "грязных—загрязненных вод" на "чистую", разряд с "предельно грязной воды" — на "очень чистую—вполне чистую". Снижается уровень антропогенного воздействия на воду.

Строительство в прибрежных зонах городских водоемов ФОС, совмещающих рекреационную и водоочистительную функции, играет важную роль в решении комплексной проблемы загрязнения и "цветения" воды.

Литература

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 990 с.
2. Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фито-системы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем. Перспектива XXI. 2015. 2. С. 46–55.
3. Ansari Abid Ali, Sarvajeet Singh Gill, Ritu Gill, Guy R. Lanza, Lee Newman. Phytoremediation. Management of Environmental Contaminants. Vol. 2. New York, Springer, 2015. 366 p. DOI 10.1007/978-3-319-10969-5.
4. Токинова Р.П., Любарский Д.С., Абрамова К.И., Иванов Д.В. Оценка эффективности очистки воды в фито-системе на озере Нижний Кабан (г. Казань) по итогам двух первых лет эксплуатации. Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 4. С. 25–33.
5. Khanbabayeva O.E., Kalashnikov D.V., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A., Bamatov I.M. The study of phytoremediation ability and the decorative value of perennial herbaceous plants for landscaping the coastal zones of water bodies in Moscow. AIP Conference Proceedings. 2021. P. 1–7. DOI: 10.1063/5.0076226.
6. Мустафина Л.К., Иванов Д.В., Шурмина Н.В., Богданова О.А. Оценка качества воды озера Нижний Кабан. Сборник трудов X конгресса "Чистая вода. Казань". Казань, НП РЦОК ЖКХ РТ, 2019. С. 154–156.
7. Абрамова К.И., Любарский Д.С., Токинова Р.П. Фитопланктон озера Нижний Кабан (г. Казань) в районе расположения фито-очистной системы. Тр. 8-й Всеросс. науч. конф. "Проблемы экологии Волжского бассейна". Вып. 6. Нижний Новгород, 21–22 ноября 2023. С. 1–5.
8. РД 52.24.564-96. Методические указания. Метод оценки загрязненности пресноводных экосистем по показателям развития фитопланктонных сообществ.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М., Наука, 1975. 240 с.
10. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. 39 с.
11. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л., 1990. 184 с.
12. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
13. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши.
14. РД 52.24.620-200. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем.
15. Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., Гидрометеиздат, 1977. 229 с.

References

1. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya. 990 s.
2. Shchegol'kova N.M., Dias V., Kriksunov E.A., Rybka K.Yu. Fito-sistemy dlya ochistki stochnykh vod: sovremennoe reshenie ekologicheskikh problem. Perspektiva XXI. 2015. 2. S. 46–55.
3. Ansari Abid Ali, Sarvajeet Singh Gill, Ritu Gill, Guy R. Lanza, Lee Newman. Phytoremediation. Management of Environmental Contaminants. Vol. 2. New York, Springer, 2015. 366 p. DOI 10.1007/978-3-319-10969-5.
4. Tokinova R.P., Lyubarskii D.S., Abramova K.I., Ivanov D.V. Otsenka effektivnosti ochistki vody v fito-sisteme na ozere Nizhnii Kaban (g. Kazan') po itogam dvukh pervykh let ekspluatatsii. Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii. 2021. № 4. S. 25–33.
5. Khanbabayeva O.E., Kalashnikov D.V., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A., Bamatov I.M. The study of phytoremediation ability and the decorative value of perennial herbaceous plants for landscaping the coastal zones of water bodies in Moscow. AIP Conference Proceedings. 2021. P. 1–7. DOI: 10.1063/5.0076226.
6. Mustafina L.K., Ivanov D.V., Shurmina N.V., Bogdanova O.A. Otsenka kachestva vody ozera Nizhnii Kaban. Sbornik trudov X kongressa "Chistaya voda. Kazan'". Kazan', NP RTsOK ZhKKh RT, 2019. S. 154–156.
7. Abramova K.I., Lyubarskii D.S., Tokinova R.P. Fitoplankton ozera Nizhnii Kaban (g. Kazan') v raione raspolozheniya fito-ochistnoi sistemy. Tr. 8-i Vseross. nauch. konf. "Problemy ekologii Volzhskogo basseina". Vyp. 6. Nizhnii Novgorod, 21–22 noyabrya 2023. S. 1–5.
8. RD 52.24.564-96. Metodicheskie ukazaniya. Metod otsenki zagryaznennosti presnovodnykh ekosistem po pokazatelyam razvitiya fitoplanktonnykh soobshchestv.
9. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov. Pod red. F.D. Mordukhai-Boltovskogo. M., Nauka, 1975. 240 s.
10. GOST R 59024-2020. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. 39 s.
11. Trifonova I.S. Ekologiya i suktsessiya ozernogo fitoplanktona. L., 1990. 184 s.
12. Oksiyuk O.P., Zhukinskii V.N., Braginskii L.P., Linnik P.N., Kuz'menko M.I., Klenus V.G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi. Gidrobiologicheskii zhurnal. 1993. T. 29. № 4. S. 62–76.
13. RD 52.24.309-2016. Organizatsiya i provedenie rezhimnykh nablyudenii za zagryazneniem poverkhnostnykh vod sushi.
14. RD 52.24.620-200. Metodicheskie ukazaniya. Okhrana prirody. Gidrosfera. Organizatsiya i funktsionirovanie podsistemy monitoringa antropogennogo evtrofirovaniya presnovodnykh ekosistem.
15. Nauchnye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam. L., Gidrometeoizdat, 1977. 229 s.

К.И. Абрамова – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, e-mail: kseniaiv@yandex.ru

K.I. Abramova – Cand. Sci. (Biol.), Senior Research Fellow, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, e-mail: kseniaiv@yandex.ru