

**НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО  
ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ  
ТЕХНОГЕННЫМ УГРОЗАМ  
И РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
(ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ-2023)**

**SCIENCE, EDUCATION, PRODUCTION  
FOR COUNTERACTION TECHNOGENIC THREATS  
AND SOLUTION ENVIRONMENTAL PROBLEMS  
(TECHNOSPHERE SAFETY-2023)**

*XX Международная научно-практическая конференция*

*XX International scientific-and-practical conference*

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский университет науки и технологий»  
Местное отделение Российского союза молодых ученых в г. Уфе  
Республики Башкортостан  
Общественный совет при Государственном комитете  
Республики Башкортостан по чрезвычайным ситуациям**

**НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО  
ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ  
ТЕХНОГЕННЫМ УГРОЗАМ  
И РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
(ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ-2023)**

*Материалы  
XX Международной научно-практической конференции*

**Уфа  
РИЦ УУНиТ  
2023**

УДК 502/504+658.382.3  
ББК 20.18+30н  
Н34

*Печатается по решению кафедры безопасности производства  
и промышленной экологии УУНиТ.  
Протокол № 10 от 10.10.2023 г.*

***Редакционная коллегия:***

канд. техн. наук **Э.С. Насырова** (*отв. редактор*);  
канд. географ. наук, доцент **А.Н. Елизарьев**;  
канд. хим. наук, доцент **Н.В. Кострюкова**

**Наука, образование, производство для противодействия техноген-**  
Н34 **ным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная  
безопасность-2023):** материалы XX Международной научно-  
практической конференции Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023. – 500 с.  
ISBN 978-5-7477-5769-1

Сборник научных трудов продолжает традицию публикаций по проблемам обеспечения безопасности и решения экологических проблем. В его статьях рассматриваются как техногенные угрозы, так и экологические опасности. Расширяется тематика исследований, представлены работы, посвященные ESG-трансформации компаний различных секторов экономики в условиях природных и техногенных рисков, в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» – «ESG-модели роста новых экотерриторий». Традиционно он включает работы известных ученых России и Зарубежья.

Материалы сборника предназначены для научных и практических работников в области безопасности, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 502/504+658.382.3  
ББК 20.18+30н

ISBN 978-5-7477-5769-1

© УУНиТ, 2023

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов». М.: Недра, 1998. 317 с.
2. Методические указания по расчету неорганизованных выбросов пыли и вредных газов в атмосферу при ВВ на карьерах горно-химических предприятий», ГНИИ Горнохимической промышленности, 1987 г., согласованными Госкомитетом СССР по гидрометеорологии и охране природной среды от 02.09.1987 г.

© Мнускин Ю.В., Хазипова В.В., Мнускина Ю.В., 2023

*Токинова Р.П., Абрамова К.И., Любарский Д.С., Шурмина Н.В.*

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

*e-mail:* r.token@rambler.ru

### **ОПЫТ БЛАГОУСТРОЙСТВА МАЛОГО ОЗЕРА В ГОРОДСКОЙ ПАРКОВОЙ ЗОНЕ**

*Аннотация.* В сообщении содержится анализ состояния экосистемы оз. Малое Чайковое (г. Казань) в периоды до проведения работ по изъятию донных отложений (январь 2021 г.) и после их завершения (август 2021 г. – август 2022 г.). Отмечены негативные тенденции, проявившиеся в обильном развитии фитопланктона и «цветении воды», где в качестве возбудителей поочередно выступали потенциально токсичные виды цианобактерий *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* и *Anabaenopsis arnoldii*. Для предотвращения развития опасных цветений дноочистительные работы должны сочетаться с дополнительными мерами по деэвтрофикации экосистемы.

*Ключевые слова:* дноочистительные работы, цветение воды, озеро Малое Чайковое, Казань.

*Tokinova R.P., Abramova K.I., Lyubarskiy D.S., Shurmina N.V.*

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation

### **EXPERIENCE OF IMPROVING OF A SMALL LAKE IN A CITY PARK ZONE**

*Abstract.* The report contains an analysis of the state of the ecosystem of the lake Maloye Chaikovo (Kazan) in the periods before the removal of bottom sediments (January 2021) and after their completion (August 2021 – August 2022). Negative tendencies were noted, appeared in the abundant development of phytoplankton and "water bloom", where potentially toxic species of cyanobacteria *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* and *Anabaenopsis arnoldii* acted as pathogens. To prevent the development of dangerous blooms, dredging operations should be combined with additional measures to de-eutrophicate the ecosystem.

*Keywords:* bottom cleaning works, water bloom, Lake Maloye Chaikovo, Kazan.

На территории Казани, крупного города с населением 1.3 млн. чел., находится множество водоёмов, привлекательных в плане различных видов рекреационной деятельности. Некоторые из них являются центральными элементами парковых зон, благоустраиваемых в рамках федерального проекта

«Формирование комфортной городской среды». При этом проводится как формирование рекреационной инфраструктуры вокруг водоёма, так и оздоровительные мероприятия на самом водном объекте. Одной из экологических проблем для озёрных экосистем на урбанизированных территориях является антропогенное эвтрофирование, что проявляется зарастанием водоёмов высшей водной растительностью или изменением прозрачности и цвета воды в связи с массовым развитием планктонных водорослей. Дноочистительные работы являются одним из распространенных способов оздоровления экосистемы водоёмов (Никитин и др., 2015). Они предполагают полную или частичную выемку слоя наносов, аккумулирующих большое количество биогенных элементов, других загрязняющих веществ, и тем самым снижение внутренней фосфорной нагрузки. Однако, несмотря на высокую эффективность, дноочистка может приводить и к неблагоприятным последствиям для гидроэкосистемы, например, к значительному взмучиванию и мобилизации соединений, депонированных в донных отложениях.

В 2021 г. в рамках благоустройства дноочистительные работы были проведены на небольшом бессточном озере Малое Чайковое, расположенном среди высокоэтажных жилых кварталов Ново-Савиновского района г. Казани (географические координаты: N55°50'1", E49°8'20"). Образовалось озеро недавно (приблизительно между 1976 и 1988 гг.) на месте низменного ландшафта первой надпойменной террасы р. Волги, подтопленного залегающими близко к поверхности грунтовыми водами в результате городского строительства. В осенне-зимний период 2012/2013 гг. озеро, находившееся в запустении и зарастающее водно-болотной растительностью, было расчищено. После формирования ложа и береговых контуров, озеро приобрело блюдцеобразную котловину правильной округло-овальной формы с размерами 130×90 м. Территория, прилегающая к озеру, общей площадью 210×120 м, была благоустроена в парковую зону с газонами и пешеходными аллеями, с насаждениями из древесных пород по периметру. Первоначальная площадь зеркала воды, до 2012 г. равная 1.8 га (Каиалов и др., 2017), в ходе засыпки берегов сократилась до 1.05 га (Google Earth Pro, 5.2018). Распределение глубин в озере довольно равномерное, на большей площади они составляют 1.4–1.8 м. (максимальная глубина 2 м). Весной и в начале лета 2021 г. на прилегающей к озеру территории создан оздоровительно-физкультурный комплекс для реабилитации пациентов Городской клинической больницы №7 (в ведении которой находится парк Малое Чайковое озеро). На самом озере проведены работы по изъятию донных отложений с применением малогабаритного земснаряда с погружным насосом. Создана береговая инфраструктура из трех надводных платформ (пирсов) и проведено дополнительное берегоукрепление,

Целью настоящего исследования является оценка воздействия дноочистительных работ на состояние экосистемы оз. М. Чайковое на основе анализа гидрохимических и гидробиологических данных, полученных в периоды до начал (январь и апрель 2021 г.) и после завершения работ (август 2021 г., январь и июнь-август 2022 г.).

**Химический состав воды.** Вода озера имеет относительно повышенный уровень минерализации, 0.5–1 г/л. По составу основных ионов её можно отнести к сульфатно-гидрокарбонатному классу кальциевой группы. В подлёдный период до проведения оздоровительных мероприятий (27.01.2021 г.) в поверхностном слое отмечено присутствие высоких концентраций сульфидов и сероводорода 6.85 мг/л (рН 7.3), кислород аналитическими методами не выявлялся. Через год (28.01.2022 г.), после проведения дноочистки, отмечено снижение сульфидов и сероводорода до 0.53 мг/л (рН 7.6) и зафиксировано присутствие небольших концентраций кислорода – 1.05 мгО/л. Изменения в содержании основных биогенных элементов выражались в увеличении концентрации минеральных соединений азота, с 1.02 до 1.90 мгN/л и фосфатов – с 0.038 до 0.296 мгP/л. Известно, что критическая концентрация фосфора, при которой нарушается сбалансированность экосистемы, для мелководных озёр составляет 0.1 мг/л. В случае с оз. М. Чайковое наблюдается заметное превышение этого показателя. Основываясь на полученных данных, мы провели оценку *трофического статуса* озера. По содержанию общего фосфора и минерального азота, согласно классификации Волленвейдера (Неверова-Дзюпак, Цветкова, 2020), состояние экосистемы озера до проведения очистных работ соответствует эвтрофному уровню, в период после их проведения – гиперэвтрофному.

**Макрофиты.** Возрастание уровня трофности озерной экосистемы и рост концентрации биогенов в воде, по-видимому, связаны с их высвобождением (прежде всего фосфора) из донных отложений при нарушении их целостности и взмучивании. Возможно также, этому могла способствовать гибель и последующее разложение остатков водных растений. До проведения работ (зима и весна 2021 г.), дно озера было покрыто погруженной на дно вегетирующей растительностью, представленной практически монодоминантной культурой роголистника *Ceratophyllum demersum*. Площадь зарастания роголистником, по приблизительным подсчетам, достигала 90%, что позволяло характеризовать озеро как сильно заросший макрофитами водоём. В ходе расчистки дна, значительная часть водной растительности была удалена вместе с донными отложениями. При этом, согласно намеченным планам, около 10% площади дна оставлено нетронутым для последующего формирования здесь островка воздушно-водной растительности (рогоз, тростник). Целенаправленное формирование растительного покрова озера из различных экологических групп растений позволило бы использовать их санирующие свойства для поглощения из воды избытка биогенных элементов и подавления вредоносного «цветения» воды. Однако, реализация этого этапа работ была отложена. Вместе с тем, снижение прозрачности воды из-за поднятой со дна взвеси в период дноочистки и, сразу за этим, бурного роста планктонных водорослей, оказало негативное влияние на состояние оставленной части погруженных макрофитов и привело к прекращению их роста. В следующем году роголистник в озере обнаружить не удалось.

**Фитопланктон.** Количественное развитие фитопланктона сразу после проведения работ (26.08.2021 г.) характеризуется высокой общей численностью 103.48 млн.кл./л и биомассой 15.57 мг/л ( $T_{\text{воды}}$  21.4°C). Массовое развитие

цианобактерий (94% численности, 44% биомассы) и зеленых водорослей (47% биомассы) вызвало в озере «цветение воды» и снижение прозрачности воды до 25–40 см. Доминирующий комплекс в этот период был представлен тремя видами: *Pseudanabaena limnetica*, *Anabaenopsis arnoldii* (Cyanobacteria) и *Carteria multifilis* (Chlorophyta).

В летние месяцы следующего за благоустройством года (июнь-август 2022 г.), динамика количественного развития фитопланктона оставалась также на уровне высоких значений (рис. 1). Уже с возобновлением наблюдений (07.06.2022 г.) в озере отмечено «цветение воды», при этом численность и биомасса фитопланктона достигли значений 20.60 млн.кл./л и 7.44 мг/л, соответственно. Начиная с середины июля, фитопланктон характеризуется еще более интенсивным ростом, достигая своего летнего пика численности, 165.48 млн.кл./л. После заметного спада в середине августа (13.08.2022 г.) фитопланктон к концу месяца вновь показывает рост (максимум биомассы – 9.25 мг/л). Прозрачность воды при этом весь летний сезон остается низкой и не превышает 20–25 см. Активный рост фитопланктона в июле-августе, по-видимому, обусловлен погодными условиями, установившейся в этот период жаркой погодой (нормы среднемесячной температуры воздуха превышены на 1.5–4°C). Температура воды в озере в этот период значительно повысилась и составила 24–28°C.

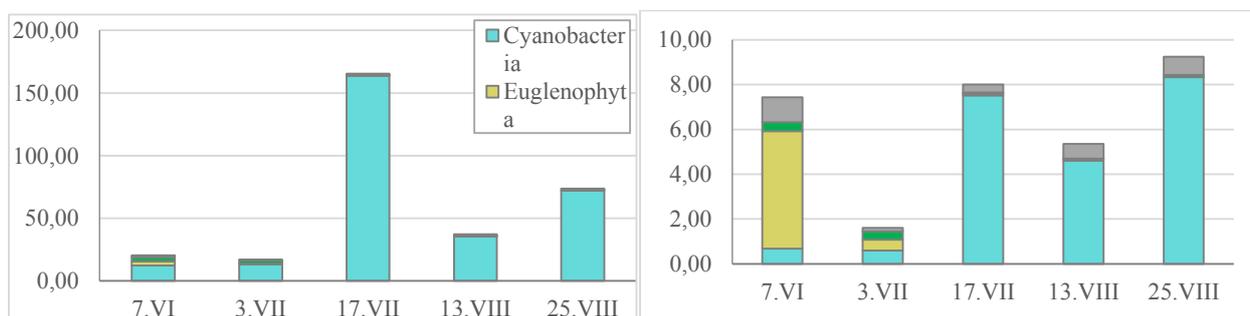


Рис. 1. Динамика общей численности (слева, млн.кл./л) и биомассы (справа, мг/л) основных отделов фитопланктона в оз. Малое Чайковое в 2022 г.

Развитие в фитопланктоне цианобактерий – представителей разных функциональных кодонов: М-типа (*P. agardhii*), безгетероцистных форм S1-типа (*P. limnetica*) и гетероцистных форм Н1-типа (*A. arnoldii*) обуславливается различными факторами, среди которых наиболее важными являются содержание в воде азота и фосфора, их соотношение и температура воды. *P. limnetica*, как правило, активно развивается в мелководных, полимиктических, низкопрозрачных, высокоэвтрофных водоёмах с высоким отношением азота к фосфору. Смена доминирования на формы Н1-типа может указывать на возникающий в экосистеме недостаток доступного азота. Наблюдаемый интенсивный рост *A. arnoldii*, очевидно, обусловлен его способностью развиваться в азотодефицитных экосистемах и компенсировать его временный дефицит за счет азотфиксации. Отметим, что «цветение воды», вызванное этой цианобактерией – весьма редкое явление для региона Среднего Поволжья. Высокая температура воды и повышенная минерализация, а также высокая

концентрация фосфатов и снижение содержания в воде азотных соединений могли способствовать обильному развитию *A. arnoldii* в оз. М. Чайковское.

В процессе жизнедеятельности цианобактерии образуют целый ряд биологически активных веществ, цианотоксинов, способных оказывать токсический эффект на организмы животных и человека (Поляк и др., 2022). По данным мировой статистики, примерно в 60% случаев «цветения» воды происходит развитие токсичных цианобактерий и в воде присутствуют несколько форм цианотоксинов. Наиболее распространенными из них в

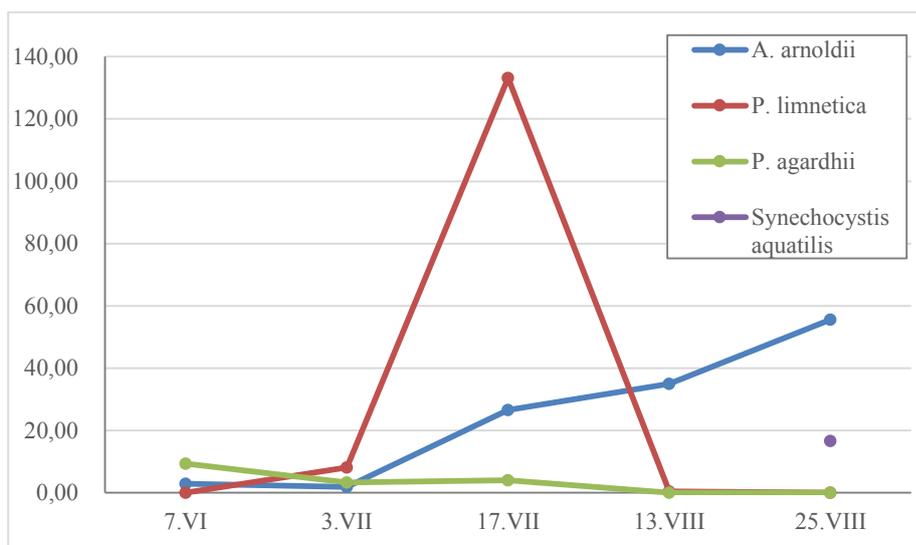


Рис. 2. Динамика численности видов-возбудителей цветения воды в оз. Малое Чайковское в 2022 г.

пресных водах являются микроцистины, часть из которых обладает выраженным гепатотропным действием на животных. Обнаруженные в оз. М. Чайковское виды цианобактерий, вызывающие «цветение воды», способны продуцировать несколько вариантов микроцистинов, в том числе и те, которые способны приводить к возникновению токсических свойств озёрной воды. Всемирная организация здравоохранения ввела рекомендуемые ориентировочные величины плотности цианопрокариотных клеток для вод, используемых в рекреационных целях: относительно низкая вероятность неблагоприятных последствий для здоровья (до 20 млн. кл./л) и умеренная вероятность (до 100 млн. кл./л) (Guidelines..., 2003). Как можно видеть, в оз. М. Чайковское этот показатель значительно превышает нормы безопасного уровня и указывает на риски рекреационного использования водоёма. Отметим при этом, что 25 августа 2022 г. на озере была зафиксирована массовая гибель рыб (вдоль берега насчитывалось около десятка погибших карасей) и водоплавающих птиц (4 утки-кряквы), причины которой остались не ясными.

Таким образом, в динамике экологического состояния оз. М. Чайковское, после работ по его благоустройству в 2021 г., отмечены негативные тенденции. Мероприятия по изъятию донных отложений и высшей водной растительности спровоцировали сдвиг в его экосистеме и проявление эвтрофирования по планктонному типу. Весь летний период последующего года в озере отмечалось

«цветение воды», где в качестве доминантов планктонных комплексов поочередно выступали потенциально токсичные виды цианобактерий *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* и *Anabaenopsis arnoldii*. Для предотвращения развития опасных цветений при проведении работ по оздоровлению озерных экосистем необходим комплексный подход. Дноочистительные работы должны сочетаться с дополнительными мерами по деэвтрофикации экосистемы: высадкой водных растений на достаточной площади (10–30%), принудительным перемешиванием и оксигенацией водной толщи, соблюдением особого режима на водосборной территории и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камалов Р.И., Дыганова Р.Я., Апкин Р.Н., Дылевский В.Е., Шипков В.Н. Инженерные решения по экологической реабилитации малых озер г. Казани // Сб. трудов VIII конгр. «Чистая вода. Казань». Казань: ООО «Новое знание», 2017. С. 130-133.
2. Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
3. Никитин О.В., Латыпова В.З., Поздняков Ш.Р. Экотехнологии восстановления водоемов: учебное пособие. Казань: Казанский университет, 2015. 144 с.
4. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И., Поляк М.С. Цианобактерии и их метаболиты. СПб: Нестор-История, 2022. 328 с.
5. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and fresh waters. Geneva: World Health Organization, 2003. 219 p.

© Токинова Р.П., Абрамова К.И., Любарский Д.С., Шурмина Н.В., 2023