

УДК 595:504.455-044.382(470.41)

Оценка восстановления сообществ зоопланктона озер системы Лебяжье после проведения мероприятий по экореконструкции

Деревенская О. Ю., Уразаева Н. А.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет
Казань, Россия
oderevenskaya@mail.ru*

Система озер Лебяжье располагается в городе Казани на особо охраняемой природной территории местного значения «Городской лесопарк Лебяжье», ранее состояла из четырех водоемов (Малое, Большое, Светлое и Сухое Лебяжье). В 1960-х годах площадь водосбора озер сильно сократилась, что привело к снижению уровня воды, сокращению площади озер и их частичному высыханию. Был разработан и осуществлен проект экореконструкции озер, в соответствии с которым котловины озер углублены, выполнена гидроизоляция дна бентонитовыми матами, восстановлен напорный водовод. В октябре 2017 года котловины озер были заполнены водой. Вследствие проведения гидротехнического этапа работ площадь системы озер увеличилась до 36,7 га, то есть в 10,8 раз. Электропроводность воды в озерах составляла около 200 мкСм/см, соответствовала тем значениям, которые были в них ранее. Содержание кислорода на протяжении вегетационных периодов было высоким. В озерах Большое и Светлое Лебяжье его концентрация повышалась до 250 % от нормального насыщения, что было связано с интенсивным «цветением» воды. В зоопланктоне озер системы Лебяжье обитает не менее 86 видов зоопланктона, из них коловраток 37 видов (43 %), ветвистоусых ракообразных – 31 (36 %), веслоногих – 18 (21 %). Численность и биомасса зоопланктона озер остаются низкими, наблюдаются их существенные колебания на протяжении вегетационного периода. Индекс сапробности на протяжении периода исследований характеризовал озера системы Лебяжье как β -мезосапробные. Величины индекса Шеннона соответствовали эвтрофным водоемам.

Ключевые слова: озеро, экореконструкция, восстановление, биоиндикация, зоопланктон,

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время актуальной стала проблема экореконструкции загрязненных или сильно трансформированных в результате антропогенного воздействия водных объектов, наиболее остро эта проблема стоит в крупных городах.

Система озер Лебяжье располагается в городе Казани на особо охраняемой природной территории местного значения «Городской лесопарк Лебяжье». Система озер Лебяжье ранее состояла из четырех водоемов (Малое, Большое, Светлое и Сухое Лебяжье) и долгое время была популярным местом отдыха населения. В 1960-х годах площадь водосбора озера сильно сократилась, что привело к падению уровня воды. Для его поддержания в озеро с 1995 года по 2002 год подавалась вода по трубопроводу из озера Изумрудное. В 2003 году трубопровод был разобран и подача воды прекратилась. С 2008 года уровень воды в озере Малое Лебяжье искусственно поддерживался путем закачивания грунтовых вод из скважин, остальные озера системы полностью исчезли.

Для города Казани горлесопарк «Лебяжье» имеет большое рекреационное значение, здесь расположены спортивная база, дом отдыха, проводятся массовые мероприятия, спортивные соревнования и праздники. В летнее время лесопарк посещает много отдыхающих, в связи с его транспортной доступностью, живописными пейзажами и наличием водного объекта. Поэтому было принято решение о восстановлении системы озер Лебяжье.

В 2016 году ОАО «ТК «Татмелиорация» был разработан проект экореконструкции озер, осуществление которого началось весной 2017 года. Целью проекта было восстановить систему озер, увеличить ее общую площадь с 3,8 га до 36,0 га, что позволило бы улучшить экологическую ситуацию на данной территории. Согласно проекту, восстановлению

подлежали озера Большое Лебязье и Светлое Лебязье. В прежних границах этих озер были проведены дноуглубительные работы, в результате которых глубина увеличивалась до первоначальных значений (до 4-х метров). На дно котловин была произведена укладка гидроизоляционного экрана (бентонитовых матов) (рис. 1). Для водоснабжения озер был восстановлен напорный водовод. В октябре 2017 года котловины озер были заполнены водой из озера Изумрудное. Результаты гидрохимических исследований характеризовали воду озера Изумрудное как нейтральную, с высоким содержанием кислорода, гидрокарбонатно-кальциевым типом, электропроводностью равной 250 мкС/см, низким содержанием соединений биогенных элементов. Таким образом, был успешно осуществлен гидротехнический этап экореконструкции озер. Однако выполненные гидротехнические мероприятия еще не воссоздают экосистему. Восстановление потоков вещества и энергии, свойственных природным экосистемам – это сложный процесс, который может занять длительное время.



Рис. 1. Этапы выполнения работ по экореконструкции озер системы Лебязье
a – углубление дна; *b* – гидроизоляция бентонитовыми матами; *c* – отсыпка слоя песка; *d* – заполнение озер водой.

Хорошими индикаторами изменений, происходящих с экосистемами, являются сообщества зоопланктона. Индексы, основанные на структурных показателях зоопланктона можно использовать как для контроля процесса эвтрофирования (Крючкова, 1987; Галковская, 1995; Андроникова, 1996) и загрязнения (Иванова, 1976; Кутикова, 1976 и др.), так и восстановления экосистем, после проведенных мероприятий по их экореконструкции (Деревенская, Мингазова, 1998; Мингазова, Деревенская, 1998).

Цель работы – оценить восстановление сообществ зоопланктона в озерах системы Лебязье после проведения мероприятий по экореконструкции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2015–2019 годах были проведены исследования озер системы Лебяжье (в 2015–2017 годах изучали только озеро Малое Лебяжье), включавшие измерения физико-химических показателей воды и отбор проб зоопланктона с периодичностью 1 раз в 12–14 дней на протяжении вегетационного периода (с мая по сентябрь) с трех станций. Содержание растворенного кислорода и температуру воды измеряли при помощи кислородомера «Марк 302 э», электропроводность – кондуктометром Hanna, pH воды – pH-метром Hanna. Точки отбора проб на озерах системы Лебяжье показаны на рисунке 2.

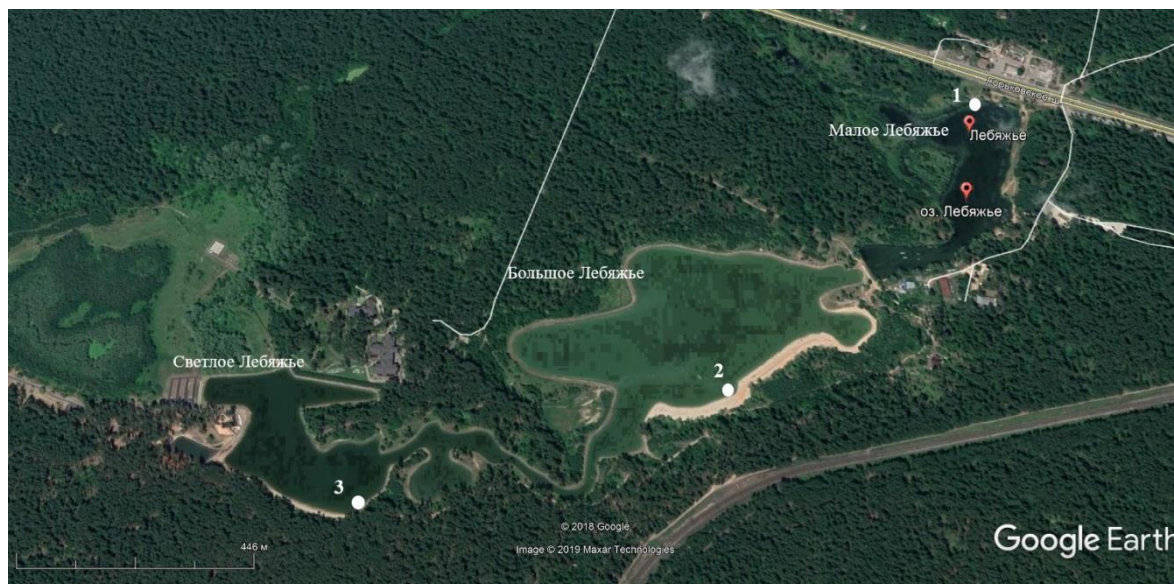


Рис. 2. Точки отбора проб из озер системы Лебяжье в 2018–2019 годах

Пробы зоопланктона отбирали методом водозачерпывания и одновременного отделения планктона от воды с помощью сети Апштейна. Воду из озер зачерпывали ведром на расстоянии 3–5 м от берега, процеживали через сеть Апштейна (размер ячеек – 100 мкм) в объеме 50 л, пробы фиксировались раствором формалина. Видовой состав зоопланктона выявляли при помощи определителей (Кутикова, 1970; Иванова и др., 1994; Алексеев и др., 1995, 2010). Численность и биомассу находили по стандартным гидробиологическим методикам (Методические рекомендации..., 1982). Всего за период с 2015 года по 2019 год было отобрано и обработано 111 количественных проб зоопланктона.

Уровень загрязнения озер органическими веществами находили по индексу сапробности (S) Пантле и Букка в модификации Сладечека (Sladěček, 1973). Особенности структуры сообществ зоопланктона – по индексам видового разнообразия Шеннона (H) (Shannon, Weaver, 1949) и доминирования Симпсона (C) (Whittaker, 1965), рассчитанным по численности и биомассе зоопланктона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфометрические показатели озер системы Лебяжье. Озера системы Лебяжье имеют междунное, либо суффозинно-карстовое происхождение (Очерки..., 1957; Тайсин, 2006). Результаты исследований, выполненных в разное время, показывают изменение площадей озер, их сокращение (рис. 3). По данным 1970-х годов суммарная площадь озер составляла 42,9 га, объем воды – 586 тыс. м³ (Озера..., 1976). В 2015 году площадь озера Малое Лебяжье, единственного, оставшегося из всей системы, составляла 3,38 га, объем водной массы – 31 тыс. м³ (табл. 1). Таким образом, к моменту начала работ по экореставрации, площадь озерной системы в целом сократилась почти в 13 раз (Деревенская, 2017).



Рис. 3. Изменение площади водного зеркала озер системы Лебяжье

Таблица 1

Изменение площадей озер системы Лебяжье

Озеро	Годы, площадь зеркала (га)			
	1993	2002	2015	2018
Малое Лебяжье	5,6	8,2	3,4	8,7
Большое Лебяжье	20,9	16,2	Высохло	18,7
Светлое Лебяжье	2,5	2,4	Высохло	9,3
Сухое Лебяжье	18,5	Заросло	Высохло	Не восстанавливалось
Система в целом	47,5	41,3	3,4	36,7

Примечание к таблице. В таблице использованы фондовые материалы Лаборатории оптимизации водных экосистем Казанского федерального университета.

Вследствие проведения гидротехнического этапа работ площадь системы озер увеличилась до 36,7 га, то есть в 10,8 раз (по сравнению с 2015 годом).

Физико-химические показатели воды озер системы Лебяжье. Ранее (до 2008 года) вода в озерах системы Лебяжье относилась к гидрокарбонатно-кальциевому типу, была «очень мягкая», со «средней» минерализацией. Состав воды был типичен для большинства озер Среднего Поволжья. Подача в озеро Малое Лебяжье грунтовых вод (в 2008–2017 годах) привела к увеличению минерализации воды (с 151,5 мг/л до 975,2 мг/л). Косвенно о содержании солей можно судить также по величине электропроводности воды. Если раньше ее величина в озере Малое Лебяжье составляла 121–410 мкС/см, то в 2015–2017 годах этот показатель составлял 1030–1280 мкС/см, что характеризует минерализацию как «повышенную». Содержание сульфатов ранее составляло 21,8 мг/л, в 2015 году – 513,7 мг/л, из анионов в 2015 году преобладали сульфаты (Деревенская, 2017). Таким образом, вследствие поступления в озеро Малое Лебяжье слабоминерализованных грунтовых вод (с электропроводностью около 1200 мкС/см) произошло изменение типа воды, в воде преобладали сульфаты, существенно увеличилась минерализация.

В 2018–2019 годах ситуация кардинально изменилась. Электропроводность воды в озерах Большое и Светлое Лебяжье составляла около 200 мкСм/см, то есть соответствовала тем значениям, которые были в них ранее. В озере Малое Лебяжье значения этого показателя также постепенно снизились до 200 мкСм/см. Содержание кислорода на протяжении вегетационных периодов было высоким. Причем в озере Малое Лебяжье значения были примерно на одном уровне, а в озерах Большое и Светлое повышались до 250 % от нормального насыщения, что было связано с интенсивным «цветением» воды. В озерах Большое и Светлое вспышки «цветения» воды отмечались неоднократно, сопровождались перенасыщением воды кислородом и повышением рН.

Современные исследования показывают, что при одинаковых условиях внешней среды, например, при одинаковом количестве доступных для автотрофов биогенных веществ, в озере может преобладать как фитопланктон, так и фитобентос (высшие водные растения). При высоком содержании биогенных элементов фитопланктон может быстро достигать огромных биомасс и вызывать «цветение» воды в водоеме, тем самым препятствуя развитию фитобентоса, в этом случае в мелководных водоемах формируется режим «мутной воды». Противоположным этому режиму является режим «прозрачной» воды, при котором прозрачность воды высокая и близка к глубине водоема, что создает благоприятные условия для развития донных автотрофов, которые и становятся основными продуцентами (Алимов и др., 2013).

Во вновь созданных озерах Большое и Светлое Лебяжье автотрофный компонент представлен исключительно фитопланктоном, высшая водная растительность полностью отсутствует. Поэтому биогенные элементы, содержащиеся в воде, потребляются исключительно фитопланктоном, что вызывает «цветение» воды. К примеру, в озере Малое Лебяжье «цветения» воды не возникает благодаря высокой площади зарастания и высокой прозрачности воды. Следовательно, для сдерживания роста фитопланктона в озерах Большое и Светлое Лебяжье необходимо создать биоплато из растений, как элемент биотехнической реабилитации озер. Это будет способствовать созданию и поддержанию режима «прозрачной» воды. В предшествующие годы в этих озерах системы была довольно высокая степень зарастания высшими водными растениями и «цветения» не наблюдалось.

Зоопланктон. Как показали результаты ранее проведенных исследований (Деревенская, 2003а, 2003б; Деревенская, Никитин, 2004; Деревенская, 2017), в озерах системы Лебяжье обитало 116 видов зоопланктона, из них коловраток – 60 видов (52 %), ветвистоусых ракообразных – 34 (29 %) и веслоногих ракообразных – 22 (19 %). В 2015–2017 годах, когда существовало только озеро Малое Лебяжье, в нем обитало 65 видов зоопланктона (табл. 2). Таким образом, в период существования только одного из озер системы, состав видов зоопланктона сократился как минимум на 35 % (Деревенская, 2017). Исследования 2018–2019 годов выявили 86 видов зоопланктона, из них коловраток 37 видов (43 %), ветвистоусых ракообразных – 31 (36 %), веслоногих – 18 (21 %).

Вышеуказанное число видов обнаруживалось за весь период наблюдений, но не все виды присутствуют в озере постоянно (или выявляются традиционными методами сбора). Ежедекадные исследования показали, что в озере Малое Лебяжье в 1995, 2000, 2003 годах встречалось 54–55 видов, в 2015–2017 годах – 43–44 вида, в 2018–2019 годах – 52 и 61 вид. В озере Большое Лебяжье исходное число видов, выявляемых в ходе ежедекадных исследований, составляло 58, а в 2018 и в 2019 годах – 50 и 43 вида соответственно. Этот же показатель в озере Светлое Лебяжье составлял 43 и 50 видов в 1995 году и 2000 году соответственно, 48 и 44 в 2018 году и 2019 году. После проведения оздоровительных мероприятий, наблюдается рост видового богатства.

Таким образом, после проведенных гидротехнических мероприятий в озерах формируются сообщества зоопланктона с относительно высоким видовым богатством, сопоставимым по числу видов с тем, что было раньше.

На протяжении периода исследований изменился состав доминирующих видов зоопланктона. Так, в 2015–2017 годах в озере Малое Лебяжье по численности наиболее часто

Таблица 2

Число видов зоопланктона в озерах системы Лебяжье в разные периоды времени

Группы	Малое Лебяжье (1991, 1994, 1995, 2000, 2003)	Малое Лебяжье (2015–2017)	Малое Лебяжье (2018–2019)	Большое Лебяжье (1991, 1994, 1995, 2000)	Большое Лебяжье (2018–2019)	Светлое Лебяжье (1991, 1994, 1995, 2000)	Светлое Лебяжье (2018–2019)
Rotifera	56	34	30	43	28	40	26
Cladocera	27	21	31	26	19	26	21
Copepoda	19	10	12	14	14	13	15
Всего	102	65	73	83	61	79	62

доминировали *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776, *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller, 1785), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925. Состав доминирующего комплекса в разные периоды образовывали от 2 до 4 видов зоопланктона. Надо отметить, что вышеперечисленные виды и до начала воздействия периодически входили в число доминирующих или субдоминирующих, но кроме них часто доминировали коловратки рода *Brachionus*, *Keratella quadrata* (Muller, 1786), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), а также ветвистоусые ракообразные *Diaphanosoma orghidani* Negrea, 1982 и *Bosmina (B.) longirostris* (O. F. Muller, 1785) (Деревенская, 2017). В 2018–2019 годах состав доминирующих видов изменился, помимо *A. priodonta* и *K. cochlearis* в состав доминирующих видов входили и ракообразные *B. longirostris*, *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Mesocyclops leucarti* (Claus, 1857). По биомассе в 2015–2017 годах и 2018 году доминировали одни и те же виды: *A. priodonta*, *T. oithonoides*, *C. sphaericus*.

В озерах Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье в 2018 году наблюдалась частая смена преобладающих по численности видов при доминировании комплекса из 1–3 видов. В озере Большое Лебяжье в 2018 году по биомассе наиболее часто доминировали *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) и *Daphnia (Daphnia) longispina* O. F. Muller, 1785, в 2019 году по численности доминировали *F. longiseta*, *K. cochlearis*, *E. gracilis*, по биомассе – *E. gracilis*. В озере Светлое Лебяжье в 2019 году также как и в 2018 году наблюдалась частая смена доминирующих видов по численности. По биомассе в 2018 году в этом озере доминировала *Daphnia (Daphnia) galeata* G. O. Sars, 1864, в 2019 году – *E. gracilis*.

Важной характеристикой планктонного сообщества являются величины численности и биомассы. В 1994–1995 годах зоопланктон озера Малое Лебяжье характеризовался довольно высокими значениями численности и биомассы. По биомассе, в соответствии с классификацией С. П. Китаева (1984), водоем относился к β -мезотрофным или α -эвтрофным, что, обычно характерно для природных водоемов нашего региона (Деревенская, 2017). В 2015–2017 годах (рис. 4) численность и биомасса зоопланктона были чрезвычайно низкими. Индивидуальная масса организмов составляла в среднем $0,003 \pm 0,0004$ мг, что соответствует высокотрофным водоемам (Крючкова, 1987). В 2018–2019 годах численность увеличилась в 2–3 раза. Однако, для сообщества стали характерны периодические увеличения численности одного из видов зоопланктона, вызывающие рост числа пиков на протяжении вегетационного периода (рис. 4). Средняя индивидуальная масса зоопланктона увеличилась до $0,0049 \pm 0,0005$ мг.

В озере Большое Лебяжье, также как и в озере Малое Лебяжье наиболее высокие количественные показатели были в 1995 году (рис. 5). В 2018–2019 годах средняя за вегетационный период численность составляла $104,4 \pm 29,1$ и $110,6 \pm 58,4$ тыс. экз./м³ соответственно, биомасса – $0,66 \pm 0,18$ и $0,26 \pm 0,06$ г/м³ соответственно. Из таксономических

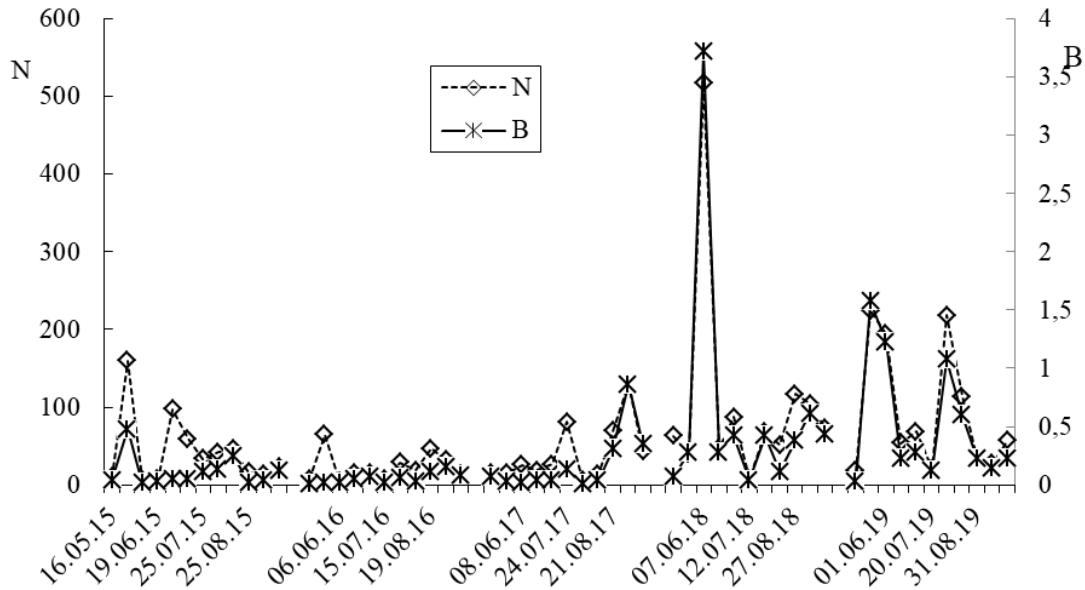


Рис. 4. Динамика численности (N, тыс. экз./м³) и биомассы (B, г/м³) зоопланктона озера Малое Лебяжье

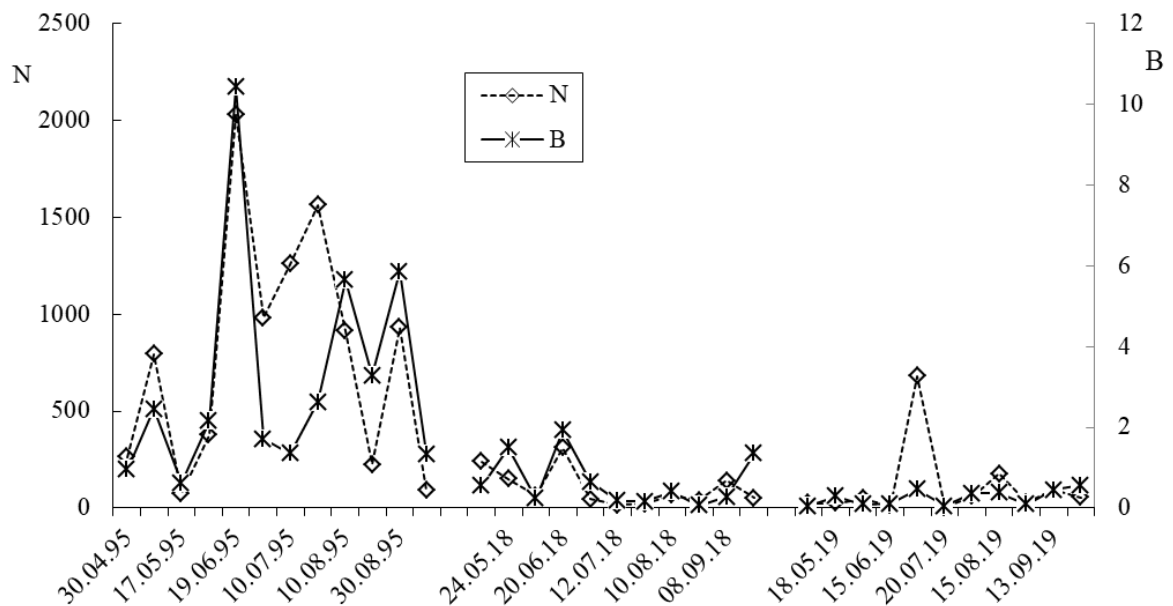


Рис. 5. Динамика численности (N, тыс. экз./м³) и биомассы (B, г/м³) зоопланктона озера Большое Лебяжье

групп зоопланктона по численности преобладали коловратки и веслоногие ракообразные, по биомассе – веслоногие ракообразные. Средняя индивидуальная масса зоопланктона составляла $0,0081 \pm 0,002$ мг и $0,0056 \pm 0,001$ мг в 2018 году и 2019 году соответственно.

В озере Светлое Лебяжье в 2018 году численность зоопланктона составляла $104,9 \pm 41,2$ тыс. экз./м³ при биомассе $1,57 \pm 1,31$ г/м³. Однако, на протяжении всего вегетационного периода количественные показатели зоопланктона были довольно низкими, за исключением одной

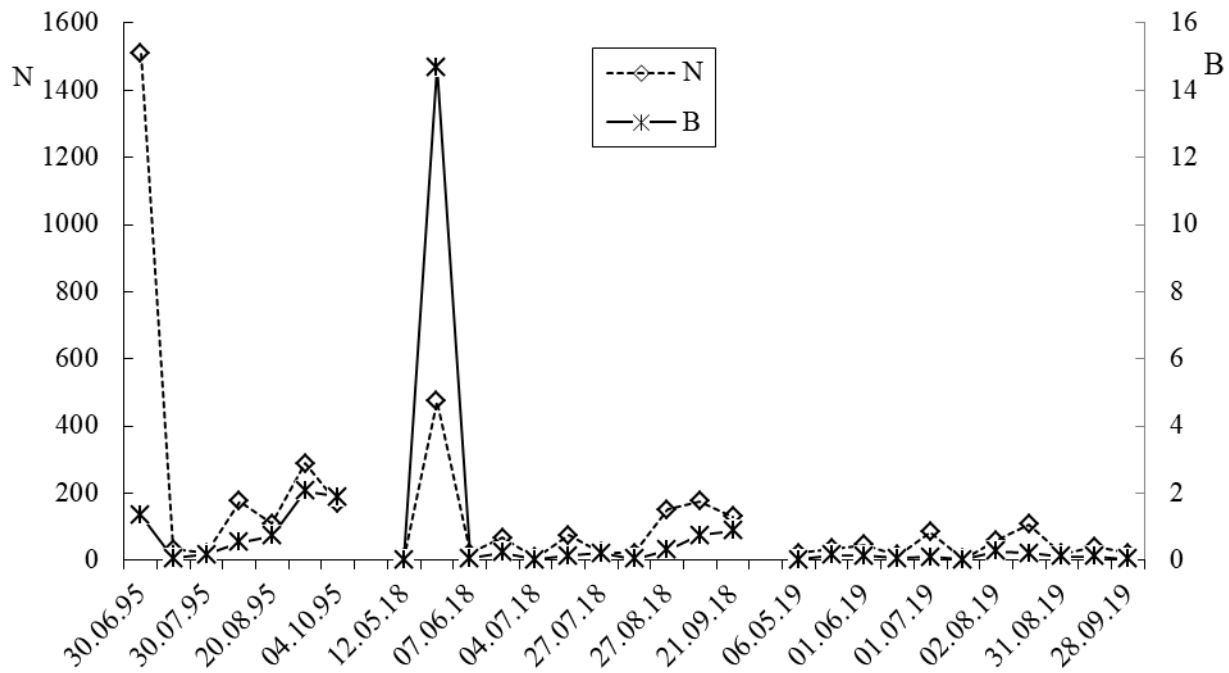


Рис. 6. Динамика численности (N, тыс. экз./м³) и биомассы (B, г/м³) зоопланктона озера Светлое Лебяжье

даты – 24 мая, когда наблюдалось массовое развитие *Bosmina (E.) ct. coregoni* Baird, 1857. Численность этих рачков составляла 453,1 тыс. экз./м³, а биомасса – 14,3 г/м³ (рис. 6). В 2019 году средняя численность зоопланктона составляла 41,8±9,55 тыс. экз./м³, а биомасса – 0,12±0,02 г/м³. Из таксономических групп зоопланктона преобладали веслоногие ракообразные.

Таким образом, численность и биомасса зоопланктона озер остаются низкими. Сдерживают развитие зоопланктона «цветение» воды, изменение рН воды до щелочной. На протяжении вегетационного периода отмечается несколько пиков численности и биомассы зоопланктона, что не характерно для природных водоемов.

Индекс сапробности (S) на протяжении периода исследований характеризовал озера системы Лебяжье как β-мезосапробные (III класс качества вод (табл. 3–4).

Индекс видового разнообразия Шеннона характеризует выравненность структуры сообщества. В озере Малое Лебяжье значения этого индекса, рассчитанные по численности (Hn), были относительно высокими на протяжении всего периода исследований, наибольшие значения отмечались в 2019 году, составляли 2,78±0,19, что характеризует сообщество как относительно выравненное. Значения индекса, рассчитанные по биомассе (Hb) существенно ниже, что связано с большой разницей в индивидуальных весах разных видов зоопланктона. По величине индекса Шеннона, в соответствии с классификацией И. Н. Андрониковой (Андроникова, 1996), водоем соответствует мезотрофным–эвтрофным. Об отсутствии концентрации доминирования говорят и значения индекса Симпсона, рассчитанные по численности (Cn), доминирующий комплекс образует достаточно большое число видов (за исключением 1995 г.). Значения индекса, рассчитанные по биомассе (Cb) ниже, что связано с разницей в индивидуальной массе преобладающих видов зоопланктона.

В озерах Большое и Светлое Лебяжье значения индекса Шеннона были ниже, чем в озере Малое Лебяжье. Особенно низкими значения индексов Шеннона и Симпсона были в 2018 году, когда еще только происходило формирование сообщества, постепенно складывающегося из набора случайных видов (табл. 3). В 2019 году значения биотических индексов увеличились. Величины индекса Шеннона соответствовали эвтрофным водоемам.

Таблица 3

Значения индексов сапробности (S), Шеннона (H) и Симпсона (C), рассчитанные по величинам численности и биомассы зоопланктона озера Малое Лебяжье в разные годы

Индексы	1995	2015	2016	2017	2018	2019
S	1,79±0,05	1,6±0,03	1,61±0,049	1,7±0,035	1,62±0,06	1,53±0,03
H _n	1,99±0,21	2,65±0,19	2,65±0,15	2,4±0,16	2,40±0,27	2,78±0,19
H _b	1,63±0,19	2,12±0,3	2,2±0,23	1,89±0,19	1,99±0,21	2,60±0,15
C _n	0,59±0,06	0,74±0,05	0,77±0,03	0,71±0,036	0,67±0,07	0,77±0,04
C _b	0,51±0,06	0,5±0,06	0,65±0,05	0,59±0,05	0,63±0,07	0,75±0,03

Таблица 4

Значения индексов сапробности (S), Шеннона (H) и Симпсона (C), рассчитанные по величинам численности и биомассы зоопланктона озер Большое и Светлое Лебяжье в разные годы

Индексы	Большое Лебяжье			Светлое Лебяжье		
	1995	2018	2019	1995	2018	2019
S	1,82±0,04	1,53±0,05	1,54±0,06	1,74±0,06	1,44±0,05	1,59±0,04
H _n	2,37±0,16	1,83±0,17	2,37±0,25	2,55±0,16	1,74±0,26	2,42±0,23
H _b	2,07±0,12	1,61±0,22	1,56±0,22	2,11±0,13	1,69±0,26	2,00±0,23
C _n	0,67±0,04	0,58±0,06	0,70±0,07	0,73±0,03	0,54±0,08	0,71±0,06
C _b	0,60±0,04	0,54±0,06	0,50±0,08	0,65±0,04	0,56±0,08	0,63±0,07

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие осуществления гидротехнического этапа работ по экореставрации озер системы Лебяжье были успешно воссозданы и заполнены водой близкой по составу к той, которая была в этих озерах ранее, котловины озер Большое и Светлое Лебяжье. Площадь системы озер увеличилась с 3,4 га до 36,7 га, то есть в 10,8 раз. В озере Малое Лебяжье снизилась минерализация воды (по сравнению с 2015–2017 годами). В первые годы существования озер Светлое и, особенно, Большое Лебяжье, в них наблюдались вспышки «цветения» воды фитопланктоном, следствием которых было повышение рН воды до 10 ед., перенасыщение воды кислородом (до 250 %).

В современный период в системе озер Лебяжье обитает не менее 86 видов зоопланктона, из них коловраток 37 видов (43 %), ветвистоусых ракообразных – 31 (36 %), веслоногих – 18 (21 %). Преобладают по числу видов коловратки. Таким образом, в озерах образовались сообщества зоопланктона с относительно высоким видовым богатством, что указывает на успешное их заселение зоопланктоном.

Численность и биомасса зоопланктона озер остаются низкими, наблюдаются их существенные колебания на протяжении вегетационного периода. «Цветение» воды фитопланктоном и сопровождающие его изменения физико-химических показателей воды, может оказывать угнетающее действие на зоопланктон. Все вместе говорит о неустойчивости формирующегося сообщества.

Индекс сапробности на протяжении периода исследований характеризовал озера системы Лебяжье как β-мезосапробные. Класс качества вод – III. Величины индекса Шеннона соответствовали эвтрофным водоемам.

Благодарности. Авторы выражают признательность зав. каф. Природообустройства и водопользования Казанского федерального университета, профессору, д. б. н. Н. М. Мингазовой за оказание консультативной помощи при проведении исследований.

Список литературы

- Алексеев В. Р., Василенко С. В., Глаголев С. М., Добрынина Т. И., Коровчинский Н. М., Котов А. А., Курашов Е. А., Орлова-Беньковская М. Я., Ривьер И. К., Смирнов Н. Н., Старобогатов Я. И., Степанова Л. А., Фильчаков В. А. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. – СПб. : Зоологический институт РАН, 1995. – 628 с.
- Алексеев В. Р., Глаголев С. М., Добрынина Т. И., Котов А. А., Кутикова Л. А., Мазей Ю. А., Малявин С. А., Наумова Е. Ю., Синев А. Ю., Смирнов Н. Н., Степанова Л. А., Стойко Т. Г., Сухих Н. М., Телеш И. В., Фефилова Е. Б., Фильчаков В. А. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 495 с.
- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. Москва: Наука, 2013. – 339 с.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. – СПб. : Наука, 1996. – 189 с.
- Галковская Г. А. Междисциплинарные отношения и проблемы устойчивости планктонных сообществ // Гидробиологический журнал. – 1995. – Т. 31, № 4. – С. 3–10.
- Деревенская О. Ю. Мониторинг экологического состояния озер системы Лебяжье по показателям зоопланктона // Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. – 2003a – 2. – С. 18–21.
- Деревенская О. Ю. Характеристика сообществ зоопланктона водных объектов г. Казани // Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. – 2003b – 4. – С. 16–19.
- Деревенская О. Ю. Сообщество зоопланктона озера Лебяжье (г. Казань) в изменяющихся условиях // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. – 2017. – Т. 159, кн. 1. – С. 108–121.
- Деревенская О. Ю., Мингазова Н. М. Сообщества зоопланктона озер при их загрязнении и восстановлении // Гидробиологический журнал. – 1998. – Т. 34, № 4. – С. 50–55.
- Деревенская О. Ю., Никитин О. В. Показатели зоопланктона в биоиндикации состояния озер Средний Кабан и Малое Лебяжье // Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. – 2004. – 2. – С. 10–14.
- Иванова Л. В., Степаньянц С. Д., Рогозин А. Г., Кутикова Л. А., Цалолихин С. Я., Спиридонов С. Э., Финогенова Н. П., Полякова Е. А., Гонтарь В. И., Туманов Д. В. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. – СПб. : Зоологический институт РАН, 1994. – 396 с.
- Иванова М. Б. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения степени загрязнения рек // Методы биологического анализа пресных вод. – Л.: Зоологический институт АН СССР, 1976. – С. 68–80.
- Крючкова Н. М. Структура сообщества зоопланктона в водоемах разного типа // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л.: Наука, 1987. – С. 184–198.
- Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). – Л.: Наука, 1970. – 744 с.
- Кутикова Л. А. Коловратки речного планктона как показатели качества воды // Методы биологического анализа пресных вод. – Л.: Зоологический институт АН СССР, 1976. – С. 80–90.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.: Зоологический институт АН СССР – ГосНИОРХ, 1982. – 33 с.
- Мингазова Н. М., Деревенская О. Ю. Концепция и методология восстановления малых озер // Гидробиологический журнал. – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 22–31.
- Озера Среднего Поволжья. – Л.: Изд-во «Наука», 1976. – 236 с.
- Очерки по географии Татарии. – Казань: Таткнигоиздат, 1957. – 357 с.
- Тайсин А. С. Озера Приказанского района их современные природные и антропогенные изменения. – Казань: Изд-во ТГГПУ, 2006. – 167 с.
- Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. – Urbana, Univ. Illinois Press, 1949. – 117 p.
- Sladeček V. System of water quality from biological point of view. Egetnisie der Limnologie. – 1973. – 7. – 218 p.
- Whittaker R. H. Dominance and diversity in land plant communities // Science. – 1965. – 147, 3655. – P. 250–260.

Derevenskaya O. Y., Urazaeva N. A. Assessment of the recovery of zooplankton communities in the Lebyazhye lakes after eco-rehabilitation measures // Ekosistemy. 2020. Iss. 23. P. 48–58.

Lakes of the Lebyazhye system are located in the city of Kazan in the protected area “City Forest Park Lebyazhye”. Previously, the system of lakes consisted of four reservoirs (Small, Big, Light and Dry Lebyazhye). In 1960s, the catchment area of lakes was greatly reduced and it led to a decrease in water level, reduction of lakes area and their partial drying out. A project of lake eco-rehabilitation was designed and implemented, according to which the lake basins were deepened, the bottoms were waterproofed with bentonite mats, and the pressure water pipeline was restored. In October 2017, the lake basins were filled with water. Due to the hydrotechnical stage of work, the area of the lake system increased 10.8 times and covered 36.7 hectares. Now, the electrical conductivity of water in the lakes is about 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponding to the values that lakes water has had before. During the vegetation season the oxygen content is high. In Lakes Bolshoye and Svetlye Lebyazhye, its concentration increases to 250 % of normal saturation, which is associated with intensive “blooming” of water. The Lebyazhye lakes system is home to at least 86 zooplankton species, including 37 rotifers (43 %), 31 branched crustaceans (36 %), and 18 copepods (21 %). The abundance and biomass of the zooplankton of the lakes remain low; their significant fluctuations are observed during the vegetation season. The lakes of the Lebyazhye system are characterized as β -mesosaprobic according to the saprobity index. The values of the Shannon index corresponded to eutrophic water bodies.

Key words: zooplankton, lake, eco-rehabilitation, bioindication, restoration.

Поступила в редакцию 14.05.20