

УДК 574.52

СООБЩЕСТВО ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА ЛЕБЯЖЬЕ (г. КАЗАНЬ) В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ

О.Ю. Деревенская

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

Представлены результаты наблюдений за сообществом зоопланктона оз. Лебяжье (г. Казань), выполненных на протяжении шести лет в период с 1991 г. по 2015 г. Под действием антропогенных и природных факторов произошло снижение уровня воды и сокращение площади оз. Лебяжье. С целью сохранения ценного рекреационного объекта был осуществлен комплекс гидротехнических мероприятий. К настоящему времени площадь озера уменьшилась примерно в 13 раз, уровень искусственно поддерживается подачей грунтовых вод, что вызвало увеличение минерализации воды, преобладание сульфат-ионов. Это, в свою очередь, привело к изменениям структуры сообщества зоопланктона. Современными исследованиями зоопланктона оз. Лебяжье выявлено 44 вида зоопланктона, из них коловраток 26 видов (59%), ветвистоусых ракообразных – 14 (32%), веслоногих – 4 (9%). Видовой состав сократился более чем на 20%, появились новые виды, ранее в озере не встречавшиеся. Произошла смена доминирующих видов зоопланктона, уменьшилось их число. Снизились количественные показатели зоопланктона. Если до начала воздействия величины численности и биомассы зоопланктона соответствовали мезотрофно-эвтрофным водоемам, то в настоящее время количественные характеристики зоопланктона соответствуют олиготрофным. По величинам индекса сапробности водоем является β -мезосапробным, умеренно загрязненным, относится к III классу качества вод.

Ключевые слова: зоопланктон, мелководное озеро, биоиндикация, минерализация

Введение

Проблема сохранения городских водоемов в последнее время все чаще привлекает внимание специалистов. В условиях урбанизации и усиливающейся антропогенной нагрузки этот вопрос становится все более актуальным, в том числе и для озер г. Казани и, в частности, для оз. Лебяжье.

Ранее оз. Лебяжье представляло собой систему из четырех водоемов: Большое, Малое, Светлое, и Сухое Лебяжье, соединенных между собой протоками. С 60-х годов XX в. водный баланс озера нарушен вследствие сокращения площади водосбора в связи с ее застройкой. Это привело к тому, что к 90-м годам озера обмелели. С 1995 по 2002 г. уровень воды в озере поддерживался за счет периодической подачи ее из карьера в пос. Юдино. После прекращения искусственного пополнения уровень воды в озере снизился, появился неприятный запах. С 2008 г. сток из оз. Малое Лебяжье в оз. Большое Лебяжье был перекрыт дамбой. Уровень воды в оз. М. Лебяжье поддерживается на постоянной

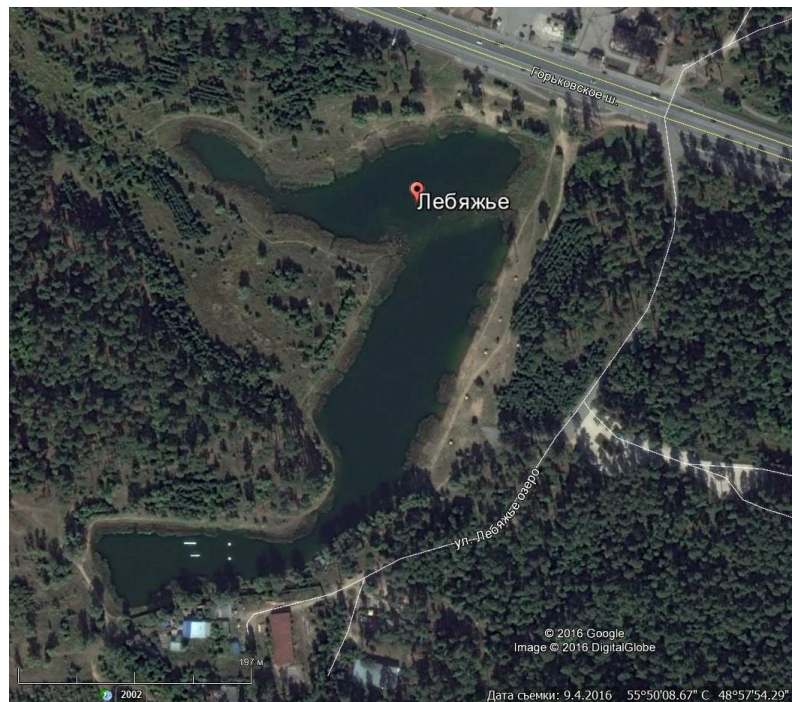


Рис. 1. Космоснимок озера Лебяжье (Google Earth)

отметке благодаря искусственному пополнению грунтовой водой из скважин, расположенных неподалеку, остальные озера системы Лебяжье высохли.

По происхождению озера предположительно дюнные либо суффозинно-карстовые [1, 2]. По данным 70-х годов XX в. озерная система Лебяжье имела длину 2.6 км, ширину 476 м, максимальная глубина была 3.9 м, средняя – 1.1 м. Площадь озер составляла в тот период 42.9 га, объем воды – 586 тыс. м³ [3]. По данным 2015 г. площадь оз. М. Лебяжье составляет 3.38 га, объем водной массы – 31 тыс. м³, максимальная глубина – 2.9 м, средняя глубина – 0.92 м, длина озера 891 м, средняя ширина 34.6 м, максимальная – 147 м (данные лаборатории оптимизации водных экосистем Казанского федерального университета) (рис. 1). Уровень воды в озере непостоянен. Таким образом, площадь озерной системы в целом сократилась почти в 13 раз.

Ранее вода в оз. Лебяжье относилась к гидрокарбонатно-кальциевому типу, была очень мягкой со средней минерализацией. Подача в озеро грунтовых вод привела к увеличению минерализации воды (от 151.5 до 975.2 мг/л). Косвенно о содержании солей можно судить также по величине электропроводности воды. В оз. М. Лебяжье ее величина в разные годы составляла 121–410 мкС/см. В 2015 г. этот показатель составлял 1030–1280 мкС/см, что характеризует минерализацию как повышенную. Содержание сульфатов ранее было порядка 21.8 мг/л, в 2015 г. – 513.7 мг/л, из анионов в 2015 г. преобладали сульфаты.

В то же время озеро является ценным рекреационным объектом, расположено на территории ООПТ местного значения «Горлесопарк Лебяжье». В течение всего года в лесопарке много отдыхающих, проводятся спортивные соревнования, массовые праздники и гуляния. В летнее время озеро также становится

центром притяжения для отдыхающих, которые купаются, принимают воздушные и солнечные ванны, ловят рыбу.

Исследование состояния единственного сохранившегося водоема, который также находится под угрозой высыхания, является актуальным. В комплексе действий по сохранению оз. Лебяжье оценка изменения сообщества зоопланктона является важным и необходимым элементом, так как позволит выбрать наиболее оптимальную стратегию для сохранения и восстановления водоема.

Цель настоящей работы – выявить изменения в структуре сообщества зоопланктона оз. Лебяжье, произошедшие вследствие осуществления гидротехнических мероприятий, оценить экологическое состояние водоема по показателям зоопланктона.

Материалы и методы

Зоопланктон оз. Лебяжье изучался в 1991 г., 1994–1995 гг., 2000 г., 2003 г. и 2015 г. Периодичность отбора проб была различной: в 1991 г. – один раз в середине вегетационного периода, в 1994 г. и 2003 г. – в мае, июне, июле, сентябре или октябре один раз в месяц, в 1995 г., 2000 г. и 2015 г. – с мая по сентябрь или октябрь через каждые 10–14 дней с одной-двух станций в прибрежной зоне с глубиной до 50 см.

Пробы отбирали путем процеживания 50 л воды через сеть Апштейна (размер ячеи – 100 мкм). Воду зачерпывали с поверхности (до глубины 0.5 м) ведром. Камеральная обработка включала определение видового состава зоопланктона, расчет численности и биомассы. Идентификация видов проведена при помощи определителей [4–7]. Расчет численности и биомассы зоопланктона выполнен в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [8]. Всего за период исследований было отобрано и обработано более 150 количественных проб зоопланктона.

Степень разнообразия зоопланктона оценивали по индексу Шеннона (H) (по численности и биомассе) [9]. Индекс Симпсона (C) [10] был рассчитан для оценки структуры сообщества, также по величинам численности и биомассы. Индекс сапробности (S) рассчитывали по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека [11].

Статистическая обработка данных выполнена в MS Excel.

Нами было выделено два периода в исследовании оз. Лебяжье: 1991–2003 гг. (минерализация и тип воды в озере соответствовали исходным природным) и 2015 г. (тип и минерализации воды существенно изменились).

Результаты исследований

По результатам ранее проведенных исследований [12–14] в озерах системы Лебяжье обитало 116 видов зоопланктона, из них коловраток – 60 видов (52%), ветвистоусых ракообразных – 34 (29%) и веслоногих ракообразных – 22 (19%) (табл. 1).

В настоящее время из всех озер системы озер осталось только одно – Малое Лебяжье. В этом озере обитало более 102 видов зоопланктона. Такое количество видов обнаружено за весь период наблюдений, не все виды присутствовали постоянно, но при еженедельных наблюдениях (1995 г. и 2000г.) выявлялось

Табл. 1

Число видов зоопланктона (*n*), обитавших в озерах Малое, Большое и Сухое Лебяжье, по результатам ранее проведенных исследований (1991–2003 гг.)

Группы	М. Лебяжье (без 2015 г.)		Б. Лебяжье		С. Лебяжье		Всего	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Rotifera	56	54,9	43	51,8	40	50,6	60	51,7
Cladocera	27	26,5	26	31,3	26	32,9	34	29,3
Copepoda	19	18,6	14	16,9	13	16,5	22	19,0
Всего	102	100	83	100	79	100	116	100

Табл. 2

Число видов зоопланктона (*n*), встреченных в оз. М. Лебяжье при ежедекадных либо ежемесячных исследованиях

Группы	1995		2000		2003		2015	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Rotifera	29	53,7	28	50,9	35	63,6	26	59,1
Cladocera	17	31,5	18	32,7	11	20	14	31,8
Copepoda	8	14,8	9	16,4	9	16,4	4	9,1
Всего	54	100	55	100,0	55	100	44	100,0

до 55 видов (табл. 2). В 2015 г. при аналогичных исследованиях выявлено только 44 вида. Таким образом, состав видов зоопланктона сократился как минимум на 20%. Более всего сократилось число веслоногих ракообразных.

В ходе изменений, происходивших с озерной экосистемой, не только исчезло довольно большое число видов, но и появились виды, ранее в озере не встречавшиеся. Были обнаружены коловратки *Hexarthra mira* (Hudson, 1871), *Lecane (M.) closterocerca*, *Colurella colurus* (Ehrenberg, 1830), *Trichocerca (D.) bidens* (Lucks, 1912), *Polyarthra euryptera* Wierzejski, 1891, *Synchaeta stylata* Wierzejskii, 1893, а также ветвистоусый рачок *Ilyocripytus agilis* Kurz, 1874. Для некоторых из этих видов отмечена способность переносить высокие концентрации солей, представители данных видов встречаются в солоноватоводных и даже морских водах [7] (*H. mira*, *C. colurus*, *S. stylata*), часть видов относится к теплолюбивому комплексу, встречается в южных широтах или в умеренных, но в теплое время года (*H. mira*, *P. euryptera*), в термальных источниках (*L. (M.) closterocerca*, *C. colurus*), а также в заболоченных водах (*H. mira*, *T. (D.) bidens*).

В результате проведения гидротехнических мероприятий изменился и состав доминирующих видов. Так, в 2015 г. по численности наиболее часто доминировали *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller, 1785), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851). 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, кроме того, 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). Обычно доминирующий комплекс образовывали 3–4 вида зоопланктона.

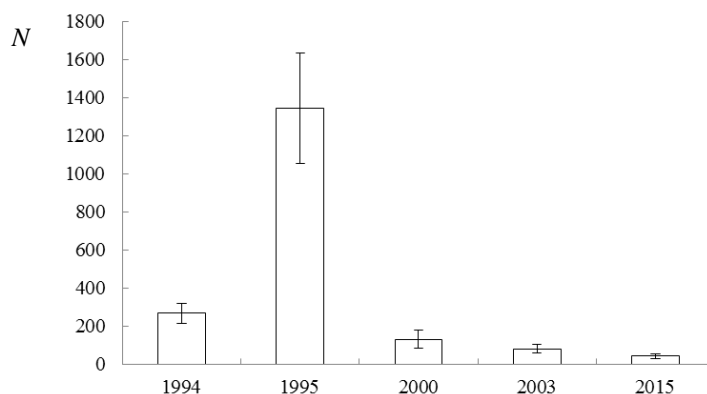


Рис. 2. Численность (N , тыс. экз./м³) зоопланктона оз. М. Лебяжье

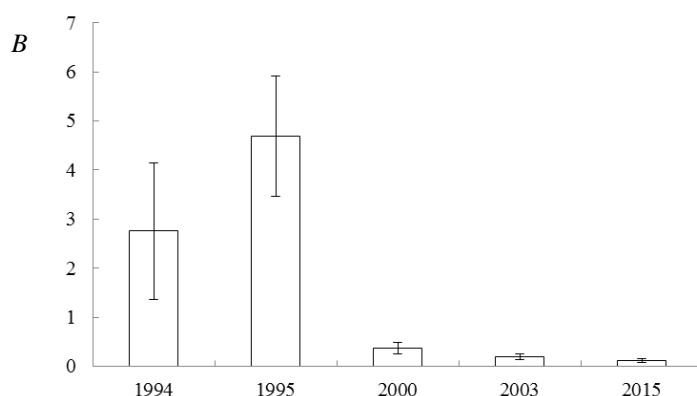


Рис. 3. Биомасса (B , г/м³) зоопланктона оз. М. Лебяжье

Таким образом, вследствие всех преобразований, произошедших с экосистемой озера, изменился состав доминирующих видов зоопланктона и их число снизилось.

Важными характеристиками планктонного сообщества являются численность и биомасса. Исследования показывают снижение количественных показателей зоопланктона. Ранее (в 1994–1995 гг.) сообщество зоопланктона оз. М. Лебяжье характеризовалось достаточно высокими значениями численности и биомассы (рис. 2, 3).

По величине биомассы, в соответствии с классификацией С.П. Китаева (1984) [15], водоем в 1994 г. относился к β -мезотрофным, а в 1995 г. – к α -эвтрофным, что обычно характерно для природных водоемов нашего региона. В 2015 г. значения численности составляли лишь 42.68 ± 13.14 тыс. экз./м³ и были самыми низкими за весь период исследований (табл. 3). Из групп зоопланктона преобладали коловратки. Биомасса зоопланктона составляла 0.11 ± 0.03 г/м³. По величине биомассы водоем является α -олиготрофным. При этом средняя индивидуальная масса организмов составляла 0.003 ± 0.0004 мг, что соответствует высокотрофным водоемам [16]. Низкие средние значения индивидуальных масс отмечены почти в течение всего периода наблюдений и связаны с преобладанием в сообществе коловраток и мелких хидорид, имеющих небольшую массу.

Табл. 3

Средние значения численности (N , тыс. экз/м³) и биомассы (B , г/м³) зоопланктона оз. М. Лебязье

Группы	Rotifera		Cladocera		Copepoda		Всего	
	N	B	N	B	N	B	N	B
1994 $n = 3$	84.48 ± 40.25	0.15 ± 0.08	46.48 ± 34.40	1.29 ± 0.79	136.71 ± 48.29	1.3 ± 0.74	267.67 ± 53.76	2.75 ± 1.39
1995 $n = 14$	605.53 ± 169.14	0.5 ± 0.11	481.0 ± 194.56	2.83 ± 0.99	257.04 ± 47.00	1.36 ± 0.32	1343.58 ± 289.9	4.68 ± 1.23
2000 $n = 11$	95.37 ± 40.51	0.10 ± 0.03	15.08 ± 5.52	0.15 ± 0.07	20.73 ± 7.37	0.11 ± 0.05	131.19 ± 47.0	0.37 ± 0.11
2003 $n = 5$	22.24 ± 4.54	0.03 ± 0.01	12.11 ± 5.20	0.06 ± 0.02	46.89 ± 20.22	0.11 ± 0.03	81.25 ± 21.62	0.19 ± 0.05
2015 $n = 12$	22.71 ± 9.75	0.05 ± 0.03	3.71 ± 0.94	0.01 ± 0.00	16.26 ± 4.29	0.05 ± 0.01	42.68 ± 13.1	0.11 ± 0.03

Табл. 4

Значения индексов сапробности (S), Шеннона (H) и Симпсона (C), рассчитанные по численности и биомассы зоопланктона

Ин- дексы	26.07.1991	1994	1995	1996	2000	2003	2015
	$n = 1$	$n = 3$	$n = 20$	$n = 4$	$n = 11$	$n = 5$	$n = 12$
S	2.03	1.79 ± 0.07	1.78 ± 0.05	1.62 ± 0.10	1.7 ± 0.06	1.6 ± 0.07	1.6 ± 0.03
H_N	2.79	2.47 ± 0.24	1.99 ± 0.21	1.71 ± 0.54	2.34 ± 0.26	2.47 ± 0.13	2.64 ± 0.19
H_B	2.42	2.04 ± 0.33	1.63 ± 0.18	1.64 ± 0.52	2.08 ± 0.16	2.51 ± 0.19	1.79 ± 0.16
C_N	0.83	0.75 ± 0.03	0.59 ± 0.05	0.52 ± 0.17	0.67 ± 0.06	0.7 ± 0.03	0.74 ± 0.05
C_B	0.74	0.65 ± 0.07	0.51 ± 0.05	0.5 ± 0.16	0.66 ± 0.05	0.73 ± 0.04	0.56 ± 0.04

Таким образом, за период наблюдений произошло существенное снижение количественных показателей зоопланктона. Если до начала проведения гидротехнических мероприятий оз. Лебязье по этим показателям относилось к мезотрофно-эвтрофным водоемам, то в настоящее время количественные характеристики зоопланктона соответствуют олиготрофным.

Индекс сапробности (S), характеризующий уровень загрязнения органическими веществами, соответствует β -мезосапробной зоне, умеренно загрязненным водам – III классу качества вод. На протяжении периода исследований наблюдается незначительное снижение индекса до 1.6 ± 0.07 в 2003 г. и 2015 г. (табл. 4).

Индекс видового разнообразия Шеннона характеризует выравненность структуры сообщества. Значения индекса относительно высокие и в 2015 г. составляли 2.64 ± 0.19 . Это одно из наиболее высоких значений за весь период наблюдений. Значения индекса говорят об относительной выравненности сообщества, то есть виды представлены примерно одинаковым числом особей, хотя и небольшим их количеством. Об отсутствии концентрации доминирования говорят и значения индекса Симпсона (0.74 ± 0.05 в 2015 г.). По величине индекса Шеннона, в соответствии с классификацией И.Н. Андрониковой (1996) [17], водоем соответствует олиготрофным. Аналогичные индексы, рассчитанные по биомассе зоопланктона, существенно ниже (табл. 4). Это объясняется разницей в массах особей различных видов зоопланктона, присутствие более крупных организмов снижает выровненность по этому показателю, а соответственно и значения индексов.

Обсуждение результатов

Антропогенное воздействие различных видов изменяет основные характеристики всех компонентов водной экосистемы. В соответствии с законом действия факторов А. Тинемана (1926) [18] состав сообщества по видам и численности особей в них определяется тем фактором, который оказывается в пессимуме для данного сообщества. Чем больше отклонения условий существования от оптимума в пределах биотопа, тем беднее видами становится заселяющий его биоценоз и тем относительно больше особей имеет каждый присутствующий вид [19].

Сообщества зоопланктона, как это было установлено многочисленными, ранее проведенными исследованиями, служат довольно хорошими индикаторами

изменений, происходящих с водными экосистемами. Во многих источниках описаны изменения структуры сообществ зоопланктона в процессе эвтрофирования водных экосистем [16, 17, 20]. Структура зоопланктона изменяется под воздействием загрязняющих веществ. Этот процесс также описан в литературе ([21, 22] и др.). И, наконец, зоопланктон служит хорошим индикатором при восстановлении водных экосистем [23, 24]. Значительно менее исследованы изменения структурных показателей зоопланктона при таких видах антропогенного воздействия, которые вызывают изменение гидрологического режима водоемов и приводят к смене минерализации и типа воды. Именно такими были последствия антропогенного воздействия на оз. Лебяжье. За период наших исследований (с 1991 г.) произошло существенное сокращение площади водоема (в 13 раз), изменился гидрологический режим, увеличилась минерализация воды, изменился состав главных ионов.

Видовой состав зоопланктона озер является довольно постоянным и может не изменяться на протяжении многих десятилетий и даже столетия. В то же время при определенном рода воздействиях некоторые виды исчезают, другие же появляются [17, 20, 25]. По мере эвтрофирования озер постепенно происходят структурные изменения, которые выражаются не столько в смене видового состава, сколько в замене доминирующих видов и росте их численности [25]. Видимым отражением действия загрязнителей являются изменения видового состава, численности и биомассы планктона, вплоть до полного разрушения структуры сообществ [21, 26, 27].

Проведенные исследования показали, что изменение структуры зоопланктона при гидротехнических мероприятиях на оз. Лебяжье имеет свои особенности. Комплекс воздействий на экосистему оз. Лебяжье привел к существенному сокращению видового состава зоопланктона. Число видов уменьшилось на 20–60%. Наиболее сильно снизилось число веслоногих ракообразных. Изменение видового состава является следствием как значительного уменьшения площади водоема, числа биотопов и снижения разнообразия условий для обитания зоопланктона, так и изменения минерализации воды в водоеме. Последний фактор является одним из важнейших, определяющих возможность существования многих пресноводных организмов. В настоящее время для поддержания уровня воды в оз. Лебяжье осуществляется подача грунтовых вод, имеющих повышенную минерализацию (электропроводность подаваемых грунтовых вод составляет 1400 мкС/см) по сравнению природной водой оз. Лебяжье. Она имеет также другой состав растворенных ионов. Для зоопланктона изменились важнейшие характеристики среды обитания, что не могло не привести к сокращению числа видов и к изменению видового состава. Произошла смена доминирующих видов зоопланктона и уменьшилось их число. Об изменившихся для зоопланктона условиях обитания позволяет говорить и анализ экологических предпочтений вновь появившихся в сообществе видов (часть видов способна жить в солоноватых и морских водах).

Из-за небольшой средней глубины (0,92 м) озеро хорошо прогревается в летнее время, что благоприятствует появлению теплолюбивых видов планктона. В озере довольно большие площади занимают макрофиты (элодея, роголистник, рдесты), это способствует накоплению органических веществ, протеканию

процессов заболачивания. С этим связано появление видов зоопланктона, предпочитающих обитать в зарослях макрофитов и в заболоченных водоемах.

За период наблюдений произошло существенное снижение количественных показателей зоопланктона. Если до начала воздействия значения численности и биомассы зоопланктона соответствовали мезотрофно-эвтрофным водоемам, то в настоящее время количественные характеристики сообщества зоопланктона соответствуют олиготрофным водам. По-нашему мнению, одной из наиболее существенных причин, вызвавших снижение количественных показателей зоопланктона, стало изменение минерализации и типа воды, оказавшихся менее благоприятными для развития зоопланктона, чем естественные условия.

Одним из наиболее информативных показателей является индекс видового разнообразия Шеннона. Величина этого индекса обычно снижается при загрязнении и эвтрофировании ([21, 28] и др.). Однако в том случае, когда все таксоны в сообществе в одинаковой степени испытывают воздействие загрязняющих веществ, величина индекса может не изменяться даже при сокращении общей численности организмов [29–31]. В случае с зоопланктоном оз. Лебяжье значения индекса Шеннона не снизились, но большинство видов представлено единичными особями или малым числом особей. Это объясняется равномерным снижением численности всех видов, образующих сообщество. По величинам индекса сапробности водоем является β -мезосапробным, умеренно загрязненным и относится к III классу качества вод.

Благодарности. Автор выражает благодарность ассистенту кафедры природообустройства и водопользования КФУ, кандидату географических наук И.С. Шигапову за предоставленные материалы о гидрологических характеристиках оз. М. Лебяжье, инженеру ЛОВЭ КФУ Л.Р. Павловой за данные о результатах гидрохимических исследований, а также студентам КФУ Н.А. Уразовой и З.Р. Бикмуллиной за помощь в сборе и обработке проб зоопланктона.

Литература

1. Очерки по географии Татарии / Под ред. Н.И. Воробьева, В.Н. Сементовского. – Казань: Тат. кн. изд-во, 1957. – 357 с.
2. *Тайсин А.С.* Озера Приказанского района их современные природные и антропогенные изменения. – Казань: Изд-во ТГГПУ, 2006. – 167 с.
3. Озера Среднего Поволжья / Под ред. И.Н. Сорокина, Р.С. Петровой. – Л.: Наука, 1976. – 236 с.
4. *Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). – Л.: Наука, 1970. – 744 с.
5. *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.: Зоол. ин-т РАН, 1995. – 628 с.
6. *Иванова Л.В., Степаньянц С.Д., Rogozin A.G., Кутикова Л.А., Цалолыхин 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 / Под ред. С.Я. Цалолыхина. – СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1994. – 396 с.

7. *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 / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. – 495 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьевой. – Л.: Зоол. ин-т АН СССР, Гос НИОРХ, 1982. – 33 с.
9. *Shannon C.E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. – Baltimore, Univ. Ill. Press, 1949. – 144 p.
10. *Whittaker R.H.* Dominance and diversity in land plant communities // *Science*. – 1965. – V. 147, No 3655. – P. 250–260. – doi: 10.1126/science.147.3655.250.
11. *Sládeček V.* System of water quality from biological point of view // *Advances in Limnology*. – 1973. – V. IV. – 218 p.
12. *Деревенская О.Ю.* Мониторинг экологического состояния озер системы Лебяжье по показателям зоопланктона // *Вестн. Татарст. отд. Рос. экол. академии*. – 2003. – № 2. – С. 18–21.
13. *Деревенская О.Ю.* Характеристика сообществ зоопланктона водных объектов г. Казани // *Вестн. Татарст. отд. Рос. экол. академии*. – 2003. – № 4. – С. 16–19.
14. *Деревенская О.Ю., Никитин О.В.* Показатели зоопланктона в биоиндикации состояния озер Средний Кабан и Малое Лебяжье // *Вестн. Татарст. отд. Рос. экол. академии*. – 2004. – № 2. – С. 10–14.
15. *Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 207 с.
16. *Крючкова Н.М.* Структура сообщества зоопланктона в водоемах разного типа // *Тр. ЗИН АН СССР*. – Л.: Наука, 1987. – Т. 165: Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – С. 184–198.
17. *Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. – СПб.: Наука, 1996. – 189 с.
18. *Thienemann A.* Die Nahrungskreislauf im Wasser // *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* – 1926. – Bd. 31. – S. 29–79.
19. *Реймерс Н.Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.
20. *Галковская Г.А.* Междисциплинарные отношения и проблемы устойчивости планктонных сообществ // *Гидробиол. журн.* – 1995. – Т. 31, № 4. – С. 3–10.
21. *Иванова М.Б.* Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения степени загрязнения рек // *Методы биологического анализа пресных вод*. – Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1976. – С. 68–80.
22. *Кутикова Л.А.* Коловратки речного планктона как показатели качества воды // *Методы биологического анализа пресных вод*. – Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1976. – С. 80–90.
23. *Деревенская О.Ю., Мингазова Н.М.* Сообщества зоопланктона озер при их загрязнении и восстановлении // *Гидробиол. журн.* – 1998. – Т. 34, № 4. – С. 50–55.
24. *Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю.* Концепция и методология восстановления малых озер // *Гидробиол. журн.* – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 22–31.
25. *Алимов А.Ф.* Закономерности изменений структурных и функциональных характеристик сообществ гидробионтов // *Гидробиол. журн.* – 1995. – Т. 31, № 5. – С. 3–11.

26. *Строганов Н.С.* Теоретические аспекты действия пестицидов на водные организмы // Экспериментальная водная токсикология. – Рига: Зинанте, 1973. – № 5. – С. 11–36.
27. *Брагинский Л.П.* Теоретические аспекты проблемы «нормы и патологии» в водной экотоксикологии // Теоретические вопросы водной токсикологии: Материалы 3-го сов.-амер. симпозиума. – Л.: Наука, 1981. – С. 29–40.
28. *Алимов А.Ф.* Исследование биоразнообразия в сообществах планктона, бентоса, рыб и в экосистемах пресноводных водоемов разной продуктивности // Изв. АН. Сер. Биол. – 2001. – № 1. – С. 87–95.
29. *Mathis B.J.* Species diversity of benthic macroinvertebrates in three mountain streams // Trans. Ill. State Acad. Sci. – 1968. – V. 61, No 2. – P. 171–176.
30. *Hendricks A.D., Henley J.T., Wyatt K.L., Dickson, Silvey J.K.* Utilization of diversity indices in evaluating the effect of a paper mill effluent on bottom fauna // Hydrobiologia. – 1974. – V. 44, No 4 – P. 463–474. – doi: 10.1007/BF00036310.
31. *Hoehn R.C., Stauffer J.R., Masnik M.T., Hocutt C.H.* Relationships between sediment oil concentrations and the macroinvertebrates present in a small stream following an oil spill // Environ. Lett. – 1974. – V. 7, No 4. – P. 345–352. – doi: 10.1080/00139307409437416.

Поступила в редакцию
17.11.16

Деревенская Ольга Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры природообустройства и водопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: oderevenskaya@mail.ru

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI

(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2017, vol. 159, no. 1, pp. 108–121

**Zooplankton Community of Lake Lebyazh'e (Kazan, Russia)
under Changing Conditions**

O.Y. Derevenskaya

Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia
E-mail: oderevenskaya@mail.ru

Received November 17, 2016

Abstract

The paper presents the results of long-term observations (1991–2015) of zooplankton community in Lake Lebyazh'e (Kazan, Russia). Lake Lebyazh'e is a system of four water bodies: Bol'shoe, Maloe, Svetloe, and Sukhoe Lebyazh'e lakes, all interconnected with channels. Under the influence of anthropogenic and natural factors, a decrease of the water level and shrinkage of Lake Lebyazh'e took place. In order to save the valuable recreational facility, a range of hydrotechnical measures have been carried out.

To date, the lake area has decreased by about 13 times; the water level is maintained artificially by supplying groundwater, which caused an increase in water mineralization, prevalence of sulfate ions. This, in turn, has led to changes in the structure of zooplankton community. The values of species composition have reduced significantly (by more than 20%). According to the recently obtained data, zooplankton

of Lake Lebyazh'e comprises 44 species: 26 rotifer species (59%), 14 cladoceran species (32%), 4 copepod species (9%). New species, which were previously uncommon in the lake, have been found. It has been revealed that the range of dominant species of zooplankton changed, and their abundance decreased. The quantitative values of zooplankton decreased. It has been demonstrated that the abundance and biomass of zooplankton prior to the exposure corresponded to mesotrophic-eutrophic water bodies, but today's quantitative characteristics of zooplankton are more of oligotrophic water bodies. Based on Shannon's index, the species diversity of zooplankton has not decreased. However, most species are represented by either single or low number of individuals. This suggests that all organisms forming the community of Lake Lebyazh'e have evenly become less abundant. According to the saprobity index, the lake is β -mesosaprobic, moderately polluted, and corresponds to class III of water quality.

It has been concluded that the characteristics of zooplankton can be used as indicators to describe changes in the ecosystem initiated by variations in hydrological conditions, salinity, and main ions.

Keywords: zooplankton, shallow lake, bioindication, mineralization

Acknowledgments. We are grateful to I.S. Shigapov (Assistant Lecturer at the Environmental Engineering and Water Use Division of Kazan Federal University, PhD in Geography) for providing us with materials on the hydrological characteristics of Lake Lebyazh'e, L.R. Pavlova (engineer, Kazan Federal University) for data on the results of hydrochemical analyzes, as well as N.A. Urazaeva and Z.R. Bikmullina (students, Kazan Federal University) for their help in collection and processing of zooplankton samples.

Figure Captions

Fig. 1. Satellite image of Lake Lebyazh'e (Google Earth).

Fig. 2. Abundance (N , thous. ind./m³) of zooplankton from Lake Lebyazh'e.

Fig. 3. Biomass (B , g/m³) of zooplankton from Lake Lebyazh'e.

References

1. Essays on the Geography of Tatarstan. Vorob'ev N.I., Sementovskii V.N. (Eds.). Kazan, Tatar. Kn. Izd., 1957. 357 p. (In Russian)
2. Taisin A.S. Lakes of the Kazan Region and Their Modern Natural and Human-Induced Changes. Kazan, Izd. TGGPU, 2006. 167 p. (In Russian)
3. Lakes of the Middle Volga Region. Sorokin I.N., Petrova R.S. (Eds.). Leningrad, Nauka, 1976. 236 p. (In Russian)
4. Kutikova L.A. Rotifers in the Fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (Orders Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Leningrad, Nauka, 1970. 744 p. (In Russian)
5. Alekseev V.R., Vasilenko S.V., Glagolev S.M., Dobrynina T.I., Korovchinskii N.M., Kotov A.A., Kurashov E.A., Orlova-Ben'kovskaya M.Ya., Riv'er I.K., Smirnov N.N., Starobogatov Ya.I., Stepanova L.A., Fil'chakov V.A. Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Territories. Vol. 2: Crustaceans. St. Petersburg, Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk, 1995. 628 p. (In Russian)
6. Ivanova L.V., Stepan'yants S.D., Rogozin A.G., Kutikova L.A., Tsalolikhin S.J., Spiridonov C.E., Finogenova N.P., Polyakova E.A., Gontar' V.I., Tumanov D.V. Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Lands. Vol. 1: Lower Invertebrates. Tsalolikhin S.Ya. (Ed.). St. Petersburg, Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk, 1994. 396 p. (In Russian)
7. Alekseev V.R., Glagolev S.M., Dobrynina T.I., Kotov A.A., Kutikova L.A., Mazei Yu.A., Malyavin S.A., Naumova E.Yu., Sinev A.Yu., Smirnov N.N., Stepanova L.A., Stoiko T.G., Sukhikh N.M., Telesh I.V., Fefilova E.B., Fil'chakov V.A. Key to Zooplankton and Zoobenthos of Fresh Waters of European Russia. Vol. 1: Zooplankton. Alekseev V.R., Tsalolikhin S.Ya. (Eds.). Moscow, Tovarishchestvo Nauchn. Izd. KMK, 2010. 495 p. (In Russian)
8. Methodological Guidelines for Collection and Processing of Materials during Hydrobiological Studies in Freshwater Bodies. Zooplankton and Its Products. Vinberg G.G., Lavrent'eva G.M. (Eds.). Leningrad, Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, Gos NIORKh, 1982. 33 p. (In Russian)
9. Shannon C.E., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Baltimore, Univ. Ill. Press, 1949, 144 p.

10. Whittaker R.H. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 1965, vol. 147, no. 3655, pp. 250–260. doi: 10.1126/science.147.3655.250.
11. Sládeček V. System of water quality from biological point of view. *Adv. Limnol.*, 1973, vol. IV. 218 p.
12. Derevenskaya O.Y. Monitoring of the ecological state of lakes in the Lebyazh'e system based on the parameters of zooplankton. *Vestn. Tatarstan. Otd. Ross. Ekol. Akad.*, 2003, no. 2, pp. 18–21. (In Russian)
13. Derevenskaya O.Y. Description of zooplankton communities in the water bodies of Kazan. *Vestn. Tatarstan. Otd. Ross. Ekol. Akad.*, 2003, no. 4, pp. 16–19. (In Russian)
14. Derevenskaya O.Y., Nikitin O.V. The indicators of zooplankton during bioindication of the state of Srednii Kaban and Maloe Lebyazh'e Lakes. *Vestn. Tatarstan. Otd. Ross. Ekol. Akad.*, 2004, no. 2, pp. 10–14. (In Russian)
15. Kitaev S.P. Ecological Bases of Biological Productivity in Lakes of Different Natural Zones. Moscow: Nauka, 1984. 207 p. (In Russian)
16. Kryuchkova N.M. The structure of zooplankton community in different types of water bodies. *Tr. Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR*, vol. 165: *Studies on productivity and hydrobiology of aquatic systems*. Leningrad: Nauka, 1987, pp. 184–198. (In Russian)
17. Andronikova I.N. Structural and Functional Organization of Zooplankton in Lake Ecosystems of Different Trophic Types. Saint Petersburg, Nauka, 1996. 189 p. (In Russian)
18. Thienemann A. Die Nahrungskreislauf im Wasser. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.*, 1926, Bd. 31, S. 29–79.
19. Reimers N.F. Ecology (Theories, Laws, Rules, Principles, and Hypotheses). Moscow, Ross. Molodaya, 1994. 367 p. (In Russian)
20. Galkovskaya G.A. Interdisciplinary relationships and problems of stability in plankton communities. *Gidrobiol. Zh.*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. 3–10. (In Russian)
21. Ivanova M.B. Methods of Biological Analysis of Fresh Waters. *Vliyanie zagryazneniya na planktonnykh rakoobraznykh i vozmozhnost' ikh ispol'zovaniya dlya opredeleniya stepeni zagryazneniya rek* [The Impact of Pollution On Planktonic Crustaceans and Their Potential for Determining the Degree of Pollution of Rivers]. Leningrad, Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, 1976, pp. 68–80. (In Russian)
22. Kutikova L.A. Methods of Biological Analysis of Fresh Waters. *Kolovratki rechnogo planktona kak pokazateli kachestva vody* [Rotifers of River Plankton as Indicators of the Water Quality]. Leningrad, Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, 1976, pp. 80–90. (In Russian)
23. Derevenskaya O.Yu., Mingazova N.M. Communities of zooplankton in lakes in the course of their contamination and restoration. *Hydrobiol. J.*, 2000, vol. 36, no. 1, pp. 1–7. doi: 10.1615/HydrobJ.v36.i1.10.
24. Mingazova N.M., Derevenskaya O. Yu. The concept and methodology of the restoration of small lakes. *Hydrobiol. J.*, 2000, vol. 36, no. 2, pp. 40–51. doi: 10.1615/HydrobJ.v36.i2.30.
25. Alimov A.F. Patterns of changes in the structural and functional characteristics of communities of hydrobionts. *Gidrobiol. Zh.*, 1995, vol. 31, no. 5, pp. 3–11. (In Russian)
26. Stroganov N.S. Theoretical aspects of the action of pesticides on aquatic organisms. *Eksp. Vodn. Toksikol.* Riga, Zinante, 1973, no. 5, pp. 11–36. (In Russian)
27. Braginskii L.P. Theoretical aspects of the problem of “norm and pathology” in aquatic ecotoxicology. *Teoreticheskie voprosy vodnoi toksikologii. Materialy 3 sov.-amer. simpoziuma* [Theoretical Questions of Aquatic Toxicology: Proc. 3rd Sov.-Am. Symp.]. Leningrad, Nauka, 1981, pp. 29–40. (In Russian)
28. Alimov A.F. Investigation of biodiversity in communities of plankton, benthos, fish and in ecosystems of freshwater water bodies of different productivity. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Biol.*, 2001, no. 1, pp. 87–95. (In Russian)
29. Mathis B.J. Species diversity of benthic macroinvertebrates in three mountain streams. *Trans. Ill. State Acad. Sci.*, 1968, vol. 61, no. 2, pp. 171–176.
30. Hendricks A.D., Henley J.T., Wyatt K.L., Dickson, Silvey J.K. Utilization of diversity indices in evaluating the effect of a paper mill effluent on bottom fauna. *Hydrobiologia*, 1974, vol. 44, no. 4, pp. 463–474. doi: 10.1007/BF00036310.

31. Hoehn R.C., Stauffer J.R., Masnik M.T., Hocutt C.H. Relationships between sediment oil concentrations and the macroinvertebrates present in a small stream following an oil spill. *Environ. Lett.*, 1974, vol. 7, no. 4, pp. 345–352. doi: 10.1080/00139307409437416.
-

⟨ **Для цитирования:** Деревенская О.Ю. Сообщество зоопланктона озера Лебязье (г. Казань) в изменяющихся условиях // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2017. – Т. 159, кн. 1. – С. 108–121. ⟩

⟨ **For citation:** Derevenskaya O.Y. Zooplankton community of Lake Lebyazh'e (Kazan, Russia) under changing conditions. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2017, vol. 159, no. 1, pp. 108–121. (In Russian) ⟩