



ВЕСТНИК

ТАТАРСТАНСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
АКАДЕМИИ

2 '2004

ПОКАЗАТЕЛИ ЗООПЛАНКТОНА В БИОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР СРЕДНИЙ КАБАН И МАЛОЕ ЛЕБЯЖЬЕ

О.Ю. Деревенская, О.В. Никитин

Казанский государственный университет

Поступила в редакцию 25.05.2004 г.

Введение

Зоопланктон – один из базовых компонентов, влияющих на структурно-функциональные характеристики экосистем в целом. Сообщество зоопланктона находится в динамичном взаимодействии с другими компонентами экосистемы и отражает изменения, происходящие под влиянием природных или антропогенных факторов, что проявляется в изменении величин показателей. Видовая, пространственная структуры, структура трофических связей, различные биотические индексы, основанные на этих показателях, позволяют определить стадию развития водоема, его трофический статус, провести анализ его загрязненности и дать оценку качества воды [1].

Целью исследований была биоиндикация состояния экосистем оз. Ср. Кабан и Мал. Лебязье по показателям зоопланктона.

Озеро Ср. Кабан расположено в г. Казани на первой надпойменной террасе р. Волги, имеет старичное происхождение, осложнено карстовыми формами [12]. Длина озера 3,5 км, максимальная ширина – 630 м, средняя – 396 м. Площадь зеркала водоема – 119 га, объем – 9800 тыс. м³, максимальная глубина – 16,7 м, средняя – 7,1 м. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) в поверхностном слое соответствовал II классу качества, что характеризует воду как «чистая». В придонном слое ИЗВ изменялся с V по VII класс, характеризуя воду как «грязная»–«чрезвычайно грязная» [15].

Озеро Мал. Лебязье расположено в лесопарковой зоне западной части г. Казани в пределах третьей надпойменной террасы р. Волги. По данным на июль 2002 г. зеркало озера имело площадь 8,2 га, длина его – 735 м, максимальная ширина – 180 м, средняя – 110 м, объем воды – 127 тыс. м³. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) в 1999-2002 гг. соответствовал II-III классу качества, что характеризует воду как «чистую» – «умеренно загрязненную» [14]. Величина первичной продукции фитопланктона в августе 2003 г. соответствовала эвтрофным водоемам. В течение года, а также от года к году уровень воды в озере сильно меняется. Для постоянного его поддержания предпринят ряд гидротехнических мероприятий, подробно описанных ранее [4].

Материал и методики исследований

Зоопланктон оз. Ср. Кабан был исследован на протяжении вегетационного периода 2001 г., а оз.

Мал. Лебязье – 2003 г. Пробы из оз. Ср. Кабан отбирали с периодичностью один раз в 12-14 дней, а из оз. Мал. Лебязье – ежемесячно. В те же сроки измерялась прозрачность, температура, содержание кислорода. Изучение видового состава, распределения и количественного развития зоопланктона проводилось по пробам, отобраным стандартной количественной сетью Джели (газ № 70) или сетью Апштейна (газ № 70). Для изучения вертикального распределения зоопланктона проводился фракционный лов. Отбор и обработка проб осуществлялись в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [8].

Величина продукции зоопланктона ориентировочно рассчитана с использованием «физиологического» метода. При изучении трофической структуры зоопланктон был разделен на несколько трофических звеньев. Принадлежность видов зоопланктона к тому или иному трофическому звену определялась на основе преобладающей в их рационе пищи. Сведения о рационах взяты из литературных источников [5, 10].

Для определения степени сапробности водоемов использовался метод Пантле и Букка в модификации Сладечека [19]. Для оценки структуры сообществ был рассчитан индекс Шеннона [18] и ряд других индексов [1].

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе проведенных работ определено 67 видов зоопланктона, из них коловраток – 36 видов (54%), ветвистоусых ракообразных – 17 (25%) и веслоногих ракообразных – 14 видов (21%). В оз. Ср. Кабан выявлено 32 вида зоопланктона, отмечено снижение числа видов. В оз. Мал. Лебязье обитало 55 видов, из них 24 вида ранее для этого озера не упоминались. Число видов, приходящихся на одну пробу, в оз. Мал. Лебязье в разные даты составляло 16 – 27 видов, в оз. Ср. Кабан – 17-22. При этом, в оз. Ср. Кабан постоянно присутствовало 11 видов зоопланктона (34% от общего числа видов), а в оз. Мал. Лебязье всего 1 вид – *Keratella cochlearis* (Gosse) (~2%). Изменение видового состава на протяжении вегетационного периода подтверждается значениями индекса видового сходства Серенсена, рассчитанного для разных дат. Для зоопланктона оз. Ср. Кабан эти значения укладываются в диапазон 0,70-0,93, а для зоопланктона оз. Мал. Лебязье – 0,22-0,59.

В оз. Мал. Лебяжье наибольшее развитие получили коловратки (64%). Из всего многообразия видов, относящихся к данному классу, наиболее богато были представлены два рода: *Brachionus* и *Trichocerca*. Отношение числа видов из этих родов ($Q_{\text{вЛ}}$) может служить характеристикой трофического типа озера [18]. В оз. Мал. Лебяжье величина этого индекса характеризует водоем как олиготрофный ($Q_{\text{вЛ}}=0,7$). Этот же индекс, рассчитанный для зоопланктона оз. Ср. Кабан, относит водоем к эвтрофному типу ($Q_{\text{вЛ}}=3$). Следует отметить постоянное присутствие в оз. Ср. Кабан коловраток *K.cochlearis* форма *tecta* – характерных обитателей озер с повышенным трофическим статусом, а также водоемов, подверженных загрязнению. Для оз. Мал. Лебяжье данная форма характерна лишь для начала и конца вегетационного периода, что может быть связано с естественными неблагоприятными абиотическими факторами. Вероятно, с изменением условий может быть связано и разнообразие морф *Brachionus quadridentatus* Netmann в сентябрьских пробах из оз. Мал. Лебяжье (5 форм). Кроме вышеперечисленных видов, к обитателям эвтрофных водоемов, из числа встреченных нами относят: *Brachionus diversicornis* (Daday), *Anuraeopsis fissa* (Gosse), *Filinia longiseta* (Ehrenberg), *Daphnia cucullata* Sars, *Cyclops strenuus* Fisher. Из ветвистоусых ракообразных в водоемах преобладали мелкие по размерам виды: *Bosmina longirostris* (O.F.Muller), *Chydorus sphaericus* (O.F.Muller), *Daphnia cucullata* Sars, что также является признаком эвтрофирования. Представители подотряда Calanoida в оз. Мал. Лебяжье имели очень низкую численность (встречались единичные взрослые особи).

Показатель трофии Е/О [17], представляющий соотношение числа видов – индикаторов эвтрофного и олиготрофного типов, оказался равен 9 для обоих озер, что соответствует водоемам гиперэвтрофного типа. Коэффициент трофии [11] относит оз. Ср. Кабан к эвтрофному типу ($E=3$), а оз. Мал. Лебяжье – к гиперэвтрофному ($E=8,75$).

Функция рангового распределения численности видов зоопланктона [13] в обоих озерах соответствовала кривым, характерным для озер эвтрофного типа. По средним за вегетационный период значениям численности в оз. Ср. Кабан доминировала *Keratella quadrata* (Muller), по биомассе *Eudiaptomus gracilis* (Sars) и *D.cucullata*. В оз. Мал. Лебяжье по численности и биомассе преобладала *Diaphanosoma orghidani* Negrea, по численности доминировали также коловратки *Synchaeta pectinata* Ehrenberg и *Trichocerca similis* (Wierzejski).

Средние значения численности зоопланктона в оз. Ср. Кабан составляли $198,5 \pm 3,5$ тыс. экз/м³, в оз. Мал. Лебяжье – $81,2 \pm 3,1$ тыс. экз/м³. Согласно

классификации Blancher [16], оз. Ср. Кабан, по величине численности зоопланктона можно отнести к эвтрофным ($2,4 \cdot 10^6$ экз/м²), а оз. Мал. Лебяжье – к олиготрофным водоемам ($1,3 \cdot 10^5$ экз/м²), что в последнем случае не соответствует реально наблюдаемому трофическому статусу. Вероятно, этот показатель следует использовать преимущественно для характеристики глубоководных водоемов.

В динамике численности зоопланктона оз. Ср. Кабан наблюдалось два пика (май и август). Наибольшего развития зоопланктон достигал в конце августа. Высокие значения численности здесь были обусловлены интенсивным развитием в поверхностных слоях воды коловраток и веслоногих ракообразных. Динамика численности зоопланктона оз. Мал. Лебяжье на протяжении вегетационного периода характеризовалась пологой кривой с единственным летним максимумом. Основу численности, как и в предыдущем водоеме, создавали коловратки и веслоногие ракообразные (*Cyclopoida*).

Средние за вегетационный период значения биомасс были низки и составляли в оз. Ср. Кабан $0,97$ г/м³, в оз. Мал. Лебяжье – $0,196$ г/м³. Одними из наиболее показательных для характеристики трофического статуса водоемов являются значения средних индивидуальных масс зоопланктеров [7]. Величины этого показателя в оз. Ср. Кабан ($w=0,00491$ мг) и оз. Мал. Лебяжье ($w=0,00241$ мг) соответствовали водоемам гиперэвтрофного типа. Снижение средних индивидуальных масс зоопланктеров отражает изменение видового состава и структуры сообществ в процессе эвтрофирования (преобладание коловраток, мелких видов ракообразных), хотя по средним величинам биомасс, в соответствии с классификацией С.П. Китаева [6] озера относятся соответственно к β - и α -олиготрофному типу. Данная классификация неприменима для характеристики водоемов, подвергающихся воздействию токсичных веществ.

Минимальные значения биомассы зоопланктона оз. Ср. Кабан отмечались в конце июля. Наиболее сильно снизилась биомасса ветвистоусых ракообразных (в 12 раз), биомасса коловраток оставалась на относительно постоянном уровне. Данный факт, возможно, связан с низким содержанием кислорода в гипolimнионе, присутствием сероводорода, неблагоприятным воздействием высоких температур и токсических веществ. Значительное уменьшение биомассы именно *Cladocera*, может быть следствием воздействия токсикантов, поскольку эта группа наиболее чувствительна к их воздействию. «Цветение» водоема синезелеными водорослями может быть одним из источников токсикантов. Максимум численности и биомассы фитопланктона обычно отмечается в этот период [2]. Динамика значений

биомассы зоопланктона в оз. Мал. Лебяжье по форме в целом повторяла таковую для значений численности, с запаздыванием пика биомассы.

Проведение фракционного лова на оз. Ср. Кабан позволило выявить пространственную структуру сообществ. В целом, для вертикального распределения характерно преобладание зоопланктона в эпилимнионе оз. Ср. Кабан. В металимнионе и, особенно, в гипolimнионе отмечались низкие значения количественных показателей. Это связано с неблагоприятными абиотическими факторами, сдерживающими вертикальную миграцию зоопланктона, обычно наблюдаемую в озерах.

В оз. Ср. Кабан из групп зоопланктона по численности преобладают коловратки, по биомассе – *Copepoda*. По сравнению с результатами предыдущих исследований, снизилась доля ветвистых и веслоногих ракообразных, что может говорить о росте загрязненности. Структура сообщества сходна с таковой, наблюдавшейся в период сильного загрязнения озера (1981-1983 гг.) [9]. Однако значения индекса видового разнообразия Шеннона увеличились, что говорит о более равномерном распределении видов в сообществе.

Трофическая структура сообществ зоопланктона состояла преимущественно из одного, реже двух звеньев и характеризовалась малым числом входящих в нее компонентов, что также может говорить о нарушении сообществ зоопланктона. В оз. Ср. Кабан наиболее сложная структура была в мае и сентябре, в оз. Мал. Лебяжье – в сентябре. В оз. Мал. Лебяжье отмечается практически полное отсутствие, даже факультативных хищников, т.е. здесь они являются не эффективными и не могут контролировать развитие «мирного» зоопланктона. Для оз. Ср. Кабан продукция «мирных» и рацион хищных видов изменяются сопряжено, что может указывать на большую роль отношений хищник-жертва в зоопланктоценозах данного водоема. В целом, трофическая структура сообществ в этих озерах соответ-

ствуют водоемам эвтрофного типа, подверженных антропогенному загрязнению.

Продукция зоопланктона – один из основных функциональных показателей сообществ. В оз. Ср. Кабан продукция сообщества зоопланктона за вегетационный период была невысока и составила 220 кал/м³. Отмечается сходная динамика величин биомасс и продукции зоопланктона.

Оценка качества воды выполненная по индексу сапробности показала, что вода в оз. Ср. Кабан соответствует умеренно-загрязненным водам (β-мезосапробная зона), значения индекса лежат в диапазоне 1,70-1,92, с наибольшими значениями в июле и наименьшими в сентябре. Значения индекса для оз. Мал. Лебяжье, в среднем также характеризовали водоем как β-мезосапробный, однако, некоторых случаях качество воды соответствовало олигосапробной зоне.

В целом, по показателям зоопланктона трофический статус оз. Мал. Лебяжье характеризуется как эвтрофно-гипертрофный, оз. Ср. Кабан – как эвтрофный (табл. 1). В сообществе зоопланктона оз. Мал. Лебяжье на протяжении вегетационного периода наблюдались значительные колебания значений ряда показателей, что может быть следствием проведения гидротехнических мероприятий по регулированию уровня воды в озере, вызвавших нарушение динамического равновесия в водоеме, разрушение биоценологических связей между сообществами внутри экосистемы и как результат – стохастически непредсказуемые изменения показателей зоопланктона. Для оз. Ср. Кабан отмечается ухудшение экологического состояния, возврат ряда показателей к значениям, наблюдавшимся в период наибольшего загрязнения (табл. 2). Необходимым условием дальнейшего существования водоема является продолжение восстановительных мероприятий на озере.

Таблица 1.

Оценка уровня трофности озер по показателям зоопланктона

№	Показатель	оз. Мал. Лебяжье	оз. Ср. Кабан
1.	Q _{в/т}	0,7 олиготрофный	3,0 эвтрофный
2.	Е/О – показатель трофии	9 ↓ гипертрофный	9 ↑ гипертрофный
3.	Е – коэффициент трофии	8,75 гипертрофный	3 эвтрофный
4.	N _z (тыс.экз/м ³)	81,2 ↓ олиготрофный	198,5 ↓ эвтрофный
5.	Сезонная динамика численности	эвтрофный	эвтрофный
6.	V _z (г/м ³)	0,196 ↓ а-олиготрофный	0,974 ↓ б-олиготрофный а-мезотрофный
7.	Функция рангового распределения видов	3 доминант эвтрофный	1 доминант эвтрофный
8.	w (мг)	0,00241 ↓ гипертрофный	0,00491 ↓ гипертрофный
9.	N _{бит} (по N)	2,5 ↑ мезотрофный	2,5 ↑ мезотрофный
10.	Трофическая структура	1-2 звена гипертрофный/ подверженный загрязнению	1-2 звена гипертрофный/ подверженный загрязнению
	Трофический статус:	эвтрофный-гипертрофный	эвтрофный

Примечание: ↑ - увеличение показателя по сравнению с предыдущими исследованиями [3]; ↓ - уменьшение.

Таблица 2.

Изменение состояния озер по показателям зоопланктона			
№	Показатель	оз. Мал. Лебяжье	оз. Ср. Кабан
1.	Число видов	55 (-)	32 ↓ (-)
2.	Постоянство видового состава	изменчивый (-)	постоянный (+)
3.	Морфоразнообразие	(+) -	(-) -
4.	E/O – показатель трофии	9 ↓ (+)	9 ↑ (-)
5.	Nz (тыс. экз/м ³)	81,2 ↓	198,5 ↓ (-)
6.	Bz (г/м ³)	0,196 ↓	0,974 ↓ (-)
7.	Функция рангового распределения видов	3 доминанта (-)	1 доминант (-)
8.	Пространственное распределение N, B		(-) -
9.	w (мг)	0,00241 ↓ (-)	0,00491 ↓ (-)
10.	R:Cl:Сор (по N)	27:15:58 (+)	51:12:37 (-)
11.	R:Cl:Сор (по B)	14:31:55 (-)	10:28:62 (-)
12.	B _{Сr} /B _{Rot}	6,23 ↓ (-)	9,13 ↓ (-)
13.	N _{Сr} /N _{Сор}	0,26 ↓ (+)	0,33 ↓ (-)
14.	B _{Сyc} /B _{Cal}	39,6 ↑ (-)	0,83 ↓ (-)
15.	Nбит (по N)	2,5 ↑ (+)	2,5 ↑ (+)
16.	Трофическая структура сообществ зоопланктона	1-2 звена (-)	1-2 звена (-)
17.	S - индекс сапробности	1,37-1,81 умеренно загрязненные/чистые воды ↓ (+)	1,70-1,92 умеренно загрязненные воды ↑ (-)
	Итого:	(+) — 6; (-) — 7	(+) — 2; (-) — 15

Примечание: ↑ - увеличение показателя по сравнению с предыдущими исследованиями [3]; ↓ - уменьшение показателя; (+) - улучшение состояния; (-) - ухудшение состояния.

В мелководных озерах, подверженных действию многочисленных и быстроменяющихся факторов, наиболее показательными были индексы, основанные на видовой структуре сообществ: видовое богатство; число видов, приходящихся на одну станцию; а также появление или исчезновение видов и форм зоопланктона. Эти показатели информативны при преобладании в сообществе коловраток, которые вследствие непродолжительного жизненного цикла способны быстро реагировать на изменяющиеся условия обитания, быстро увеличивая или снижая численность популяций.

Показатели структуры сообществ, такие как соотношения различных таксономических групп зоопланктона, рассчитанные по средним за вегетационный период данным, позволяют учесть изменения количественных показателей, связанных с особенностями жизненного цикла видов и охарактеризовать структуру сообществ в целом за весь период исследований.

Показатели количественного развития зоопланктона (численность, биомасса) следует рассматривать в комплексе со значениями других показателей, например, общей биомассы и индивидуальной массы зоопланктеров, т.к. при переходе озер в гипертрофную стадию, может отмечаться снижение их значений до величин, характерных для олиготрофных водоемов.

Хорошо отражают экологическую ситуацию в водоеме показатели трофической структуры сообществ зоопланктона. Они позволяют выявить изменения, вызванные как процессами эвтрофирования, так и загрязнением токсическими компонентами. При проведении разовых отборов проб, не позволяющих выявить полного видового богатства и динамики показателей, достаточно точно оценить состояние водоема можно по индексу сапробности, учитывающему не только видовую принадлежность организмов, но и их численную представленность.

Таким образом, показатели сообществ зоопланктона позволяют оценить экологическое состояние водоемов. Однако, информативность индексов, основанных на различных структурных и функциональных показателях неодинакова и зависит от факторов, воздействующих на зоопланктон и их силы. Большинство показателей подтверждали значения друг друга, а также оценку, выполненную по физико-химическим показателям, но некоторые из них давали противоречивые оценки. Причем число их было гораздо больше для мелководного озера, на протяжении нескольких последних лет подвергающегося различного рода гидротехническим мероприятиям, чем для глубоководного озера с неменяющейся антропогенной нагрузкой.

Литература

1. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. – 189 с.
2. Бариева Ф.Ф. Изменение фитопланктона при антропогенном воздействии и восстановлении озерных экосистем (на примере озер г. Казани). – Автореф. дисс...к.б.н. – Казань, 2003, – 23 с.
3. Деревенская О.Ю. Изменение зоопланктона малых озер урбанизированных территорий на разных этапах антропогенного воздействия и оздоровления. – Автореф. дисс...к.б.н. – СПб., 1997. – 21 с.

4. Деревенская О.Ю. Мониторинг экологического состояния озер системы Лебяжье по показателям зоопланктона//Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии, 2003 – 2 (16), с. 18-21.
5. Иванова М.Б. Изменение трофической структуры мезозоопланктона бессточных озер при воздействии антропогенных факторов//Структурно-функциональная организация пресноводных экосистем разного типа. – СПб, 1999, С. 179-195.
6. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 207 с.
7. Крючкова Н.М. Структура сообщества зоопланктона в водоемах разного типа//Производственно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л., 1987, с. 184-198.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.: ЗИН АН СССР, ГосНИОРХ, 1982. – 33 с.
9. Мингазова Н.М. Эколого-токсикологическое изучение водоемов урбанизированных территорий (на примере озерной системы Кабан г. Казани). - Дисс... к.б.н., - Казань, 1984. - 298 с.
10. Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. – М., 1998, – 318 с.
11. Мязметс А.Х. Качественный состав пелагического зоопланктона как показатель трофности озера//Гез. докл. 20-й научн. конф. по изучению водоемов Прибалтики и Белоруссии, – Рига, 1979, с. 12-15.
12. Сементовский В.Н. Материалы для геоморфологии и гидрографии территории Большой Казани// Учен. зап. Казан. ун-та. - 1940, т. 100, кн. 3. - 150 с.
13. Федоров В.Д., Кондрин Е.К., Левич А.П. Ранговое распределение численности фитопланктона Белого моря//Докл. АН СССР. - 1977. - т. 236, N 1. - С. 264-267.
14. Экологический паспорт городского водоема. Озеро Малое Лебяжье Кировского района г. Казани: Отчет о НИР/КГУ: Научн. руководитель Мингазова Н.М. – Казань, 2002 а. – 30 с.
15. Экологический паспорт городского водоема. Озеро Средний Кабан Приволжского района г. Казани: Отчет о НИР/КГУ: Научн. руководитель Мингазова Н.М. – Казань, 2002 б. – 30 с.
16. Blancher E. Zooplankton-trophic state relationships in some north and central Florida lakes//Hydrobiologia, 1984, Vol. 109, N 3, p.73-77.
17. Hakkari L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland//Biol. Res. Rep. Univ. Juväskylä. 1978, N 4, p. 3-84.
18. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1963, – 117 p.
19. Sladeczek V. System of water quality from biological point of view. Egetnisse der Limnologie. Heft. 7., 1973.
20. Sladeczek V. Rotifer as indicators of water quality//Hydrobiologia, 1983, Vol. 100, N 2, p. 169-201.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ ГРИБОВ P. TRICHODERMA, ГИДРОЛИЗУЮЩИХ ПЕНТОЗАНЫ РЖИ

Е.В. Скворцов, Ф.К. Алимова*, Д.М. Абузярова*

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства

**Казанский государственный университет*

Поступила в редакцию 24.05.2004 г.

Введение

В настоящее время актуальным стал вопрос использования биомассы растений в качестве сырья для получения экологичных и возобновляемых источников энергии. Это вызвано рядом причин. Прежде всего грядущим истощением мировых нефтяных запасов. Что вызовет переориентировку топливного рынка на другие, возобновляемые источники энергии.

Исходя из современного состояния развития технологии переработки возобновляемого сырья такими видами топлива могут стать биогаз и этиловый моторный спирт, получаемый биоконверсией биомассы растений. При анализе складывающейся ситуации необходимо иметь в виду, что моторное топливо является продуктом крупнотонажного потребления,

поэтому уровень развития технологии должен обеспечивать большие объемы производства. По этим критериям, в настоящее время, наиболее перспективным топливом является этиловый спирт. Многие научные учреждения уже сейчас ведут активные разработки наиболее дешевых технологий производства спирта. Современная его технология предполагает использование в качестве сырья зерновые злаки, прежде всего пшеницу и рожь, богатые крахмалом, являющимся источником сбраживаемых углеводов. Однако ясно, что рассчитывать на урожай зерновых, который сможет обеспечить топливные потребности планеты, не приходится. Кроме того зерновые являются одним из основных компонентов питания человека, широко используются для кормления сельскохозяйственных животных и птицы. В качестве пище-