

УДК [574.583(285.2):591]:598.345

**ПЛАНКТОН ВЫСОКОТРОФНОГО ОЗЕРА  
В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
КОЛОНИИ СЕРОЙ ЦАПЛИ (*ARDEA CINEREA* L.)**

**Д.В. Кулаков, Д.Б. Косолапов, А.В. Крылов,  
Л.Г. Корнева, М.И. Малин, Д.Д. Павлов**

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН  
Россия, 1525742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок  
E-mail: krylov@ibiw.yaroslavl.ru*

Поступила в редакцию 15.02.09 г.

**Планктон высокотрофного озера в условиях влияния продуктов жизнедеятельности колонии серой цапли (*Ardea cinerea* L.).** – Кулаков Д.В., Косолапов Д.Б., Крылов А.В., Корнева Л.Г., Малин М.И., Павлов Д.Д. – Показано, что продукты жизнедеятельности колонии серых цапель (*Ardea cinerea*) вызывают структурные изменения сообщества планктонных организмов литорали высокотрофного озера. Ряд признаков указывает на увеличение органической и биогенной нагрузки по сравнению с фоновым участком и сходен с изменениями при усилении антропогенной нагрузки. Одновременно отмечены черты изменения организации планктона, обычно не наблюдаемые при усилении антропогенного эвтрофирования.

*Ключевые слова:* планктонное сообщество озера, число видов, численность, биомасса, зоогенное воздействие.

**Plankton of a highly-eutrophic lake under the influence of the vital activity products of a Grey Heron (*Ardea cinerea* L.) colony.** – Kulakov D.V., Kosolapov D.B., Krylov A.V., Korneva L.G., Malin M.I., and Pavlov D.D. – The vital activity products of colonial grey herons (*Ardea cinerea*) promote structural changes in a planktonic organism community in the littoral zone of a highly-eutrophic lake. A number of signs specify an increase in the organic and nutrient loading in comparison with a background site and are similar to the changes observed under anthropogenic load. Some changes in the plankton community which are not usually observed under increased anthropogenic eutrophication are noted as well.

*Key words:* lake plankton community, species number, abundance, biomass, zoogenic impact.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение влияния жизнедеятельности ключевых видов на основные свойства и функционирование экосистем пока не заняло достойного положения в ряду экологических исследований, хотя это позволяет выявить все многообразие факторов, которые оказывают ведущее влияние на формирование абиотических и биотических условий среды, организацию и поддержание разнообразия и количественного обилия сообществ в отдельных местообитаниях. В роли ключевых видов могут выступать птицы, образующие колонии на мелководьях и/или побережьях водоемов и водотоков. Они оказывают как прямое трофическое воздействие на гидробионтов, так и опосредованное влияние, обогащая экосистемы биогенными и органическими веществами, поступающими с продуктами их жизнедеятельности, что способствует изменению абиотических и биотических условий существования

организмов и эвтрофированию пресных вод (Евдущенко, 1959; Чуйков, 1981; Кулакова, 2008; Hahn et al., 2007, 2008).

Ранее нами было показано, что продукты жизнедеятельности птиц семейства Чайковых (Laridae) оказывают существенное влияние на структуру зоопланктона (Крылов, Касьянов, 2008; Крылов и др., 2008). Однако в бассейнах внутренних водоемов отмечаются поселения и других колониальных птиц, большая часть продуктов жизнедеятельности которых поступает в воду опосредованно – диффузно и с поверхностным стоком. К числу таких птиц относится серая цапля (*Ardea cinerea* L.). Цель работы – изучение сообществ планктонных организмов (водорослей, фототрофного пикопланктона, вирусов, бактерий, гетеротрофных нанофлагеллат, коловраток и ракообразных) высокопродуктивного мелководного водоема в условиях влияния продуктов жизнедеятельности колонии серой цапли.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в июне – августе 2008 г. в акватории оз. Чистое, расположенного в бассейне Горьковского водохранилища. Площадь озера составляет 4.5 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 1.0 м, максимальная глубина – 1.8 м. Первый ряд гнезд колонии птиц находился на вершинах высоких (15 – 20 м) сосен на расстоянии в ~ 30 м от уреза воды. В колонии обнаружено ~ 50 жилых гнезд, численность взрослых птиц составляла > 100 особей. В июне и июле цапли активно выкармливали птенцов, в августе взрослые и молодые птицы большую часть дневного времени проводили вне территории колонии, возвращаясь туда лишь на ночевку.

В озере отмечено 16 видов рыб, среди которых по численности доминировала густера (*Blicca bjoerkna* (Linnaeus)), составлявшая, судя по остаткам пищи под гнездами, основу питания серых цапель наряду с уклейей (*Alburnus alburnus*, Linnaeus), линем (*Tinca tinca* (Linnaeus)) и плотвой (*Rutilus rutilus* (Linnaeus)).

Сборы первичных материалов проводили на фоновом мелководье (57°42'29" с.ш., 40°33'37" в.д.) и на участке литорали, куда приходился основной приток продуктов жизнедеятельности птиц (57°43'33" с.ш., 40°33'72" в.д.). В воду озера они поступали по руслу ручья, который формировался во время дождей и имел площадь водосбора, совпадающую с границами колонии. Глубина на станциях отбора проб составляла 0.4 м.

Мерным сосудом объемом 1 л с площади ~ 10 м<sup>2</sup> получали 10 л воды, из которых отбирали образцы для определения количественных характеристик микроорганизмов, фиксировали их формальдегидом до конечной концентрации 2% и хранили до анализа в холодильнике. Количество и размеры пикофитопланктона, бактерий и гетеротрофных жгутиконосцев, а также численность вирусных частиц учитывали методом эпифлуоресцентной микроскопии (MacIsaac, Stockner, 1993), с окраской флуорохромами ДАФИ (Porter, Feig, 1980), SYBR Green I (Noble, Fuhrman, 1998) и примулина (Caron, 1983). Фильтры с осажденными на них микроорганизмами просматривали под эпифлуоресцентным микроскопом Olympus BX51 (Япония) при увеличении в 1000 раз. Размеры клеток измеряли с помощью линейного окулярного микрометра, их объемы вычисляли по формулам объемов цилиндра, шара или эллипсоида, сырую биомассу микроорганизмов рассчитывали путем умножения их численности на средний объем клеток (MacIsaac, Stockner, 1993).

В июне и августе из этого же объема воды брали пробы фитопланктона (0.5 л), которые фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты, концентрировали последовательно путем прямой фильтрации под давлением на мембранные фильтры с диаметром пор 5 и 1.2 мкм.

В каждую дату наблюдений на обоих мелководьях собирали по 6 – 12 проб зоопланктона: через газ с размером ячеи 64 мкм процеживали 25 – 50 л воды, фиксировали 4%-ным формалином. Камеральную обработку проб фито- и зоопланктона проводили по стандартной методике (Методика изучения..., 1975).

Параллельно с отбором проб с помощью портативного зонда «YSI-85» измеряли температуру, содержание растворенного кислорода и электропроводность воды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вода исследованной акватории характеризовалась низкой прозрачностью, незначительная разница между участками наблюдалась лишь в июле (табл. 1). По температуре каких-либо значимых различий между мелководьями не обнаружено. Содержание растворенного кислорода в районе поступления продуктов жизнедеятельности птиц было ниже на 0.5 – 3.4 мг/л, однако не достигало величин, способных оказывать существенное влияние на развитие гидробионтов. В зоне влияния колонии цапель отмечено небольшое (на 7 – 11 мкСм/см<sup>2</sup>) увеличение электропроводности воды (табл. 1).

**Таблица 1**

Прозрачность, содержание кислорода (O<sub>2</sub>), температура (T) и электропроводность (q) воды, а также численность (N) и биомасса (B) фототрофного пикопланктона (ПФП), бактерий (БП), гетеротрофных нанофлагеллат (ГНФ) и вирусных частиц (ВП) на фоновом (I) испытывающем влияние продуктов жизнедеятельности колонии птиц (II) мелководье

Показатель	Июнь		Июль		Август		
	I	II	I	II	I	II	
Прозрачность, м	0.20	0.20	0.30	0.25	0.25	0.25	
T, °C	22.5	22.4	27.7	27.8	24.5	24.7	
O <sub>2</sub> , мг/л	9.8	9.3	11.5	8.1	11.5	9.3	
q, мкСм/см <sup>2</sup>	240	251	235	264	238	245	
ПФП	N, 10 <sup>3</sup> кл/мл	1370	384	308	660	423	532
	B, мг/м <sup>3</sup>	2703	611	533	1199	800	944
БП	N, 10 <sup>6</sup> кл/мл	12.1	13.6	13.1	14.0	9.2	8.6
	B, мг/м <sup>3</sup>	751	871	916	1078	879	943
ГНФ	N, кл/мл	8971	4485	8971	9611	7048	3204
	B, мг/м <sup>3</sup>	564	467	486	313	319	157
ВП	N, 10 <sup>6</sup> частиц/мл	48.4	65.9	97.4	115.9	95.5	90.8

Число видов, количество и биомасса фитопланктона на обоих участках озера достигали высоких величин (табл. 2). Численно преобладали мелкоклеточные колониальные синезеленые водоросли: *Aphanocapsa holsatica* (Lemm.) Cronberg et Komárek (= *Microcystis holsatica* (Lemm.) Lemm.), составлявшие соответственно 48 – 59% и 38 – 53% от суммарной численности фитопланктона. Относительный вклад доминирующих видов от начала к концу периода гнездования птиц существенно

ПЛАНКТОН ВЫСОКОТРОФНОГО ОЗЕРА

уменьшался: на фоновой станции в июне – *Anabaena* sp. (14%), *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow (16%), в августе – *F. construens* (20%); на участке, подверженном влиянию жизнедеятельности птиц, в июне – *Anabaena scheremetievi* Elenkin (34%), в августе – *A. scheremetievi* (8%), *Euglena* sp. (7%), *Fragilaria construens* (6%). По биомассе преобладали три группы водорослей: синезеленые, диатомовые и зеленые. Однако на станции, подверженной влиянию птиц, биомасса синезеленых водорослей в большей степени превышала таковую диатомей – в июне в 3.4 раза, в августе – в 1.7, в то время как на фоновой в обоих случаях – в 1.5. раза.

Таблица 2

Число видов (*S*), численность (*N*) и биомасса (*B*) фитопланктона и его отдельных групп на мелководных участках I и II в июне и августе

Показатель	Июнь		Август		
	I	II	I	II	
<i>S</i>	Синезеленые	14	26	24	19
	Диатомовые	24	10	15	13
	Зеленые	61	52	44	27
	Фитофлагеллаты	9	7	13	25
	Общая	108	95	97	84
<i>N</i> , 10 <sup>6</sup> кл/л	Синезеленые	812	796	492	313
	Диатомовые	34	23	23	13
	Зеленые	54	28	19	19
	Фитофлагеллаты	0.7	0.4	0.6	3
<i>B</i> , г/м <sup>3</sup>	Общая	900	847	534	348
	Синезеленые	11.58	16.96	8.87	7.71
	Диатомовые	7.42	5.36	6.40	4.56
	Зеленые	5.50	3.88	3.01	2.88
	Фитофлагеллаты	0.96	0.31	0.56	6.22
Общая	25.46	26.51	18.84	21.44	

Озеро характеризовалось высоким количественным развитием планктонных микроорганизмов (см. табл. 1). Среднелетние значения численности и биомассы пикофитопланктона оказались равными соответственно  $(613 \pm 391) \times 10^3$  кл/мл и  $1132 \pm 806$  мг/м<sup>3</sup>; бактериопланктона –  $(11.8 \pm 2.3) \times 10^6$  кл/мл и  $906 \pm 107$  мг/м<sup>3</sup>; гетеротрофных флагеллат –  $(7.05 \pm 2.66) \times 10^3$  кл/мл и  $385 \pm 149$  мг/м<sup>3</sup>; количество вириопланктона –  $(85.7 \pm 24.3) \times 10^6$  частиц/мл. Если уровень количественного развития микроорганизмов на двух исследованных участках отличался незначительно, то ход изменений в течение летних месяцев различался существенно. На фоновом мелководье максимальные величины численности и биомассы пикофитопланктона отмечались в июне, а в остальные месяцы были в 2 – 3 раза ниже; в зоне влияния птиц в июне эти параметры, напротив, были минимальными, а максимум отмечался в июле (см. табл. 1). Количественные показатели гетеротрофных жгутиконосцев на фоновом участке изменялись слабо, в то время как на участке, испытывающем влияние птиц, их максимальная численность наблюдалась в июле, а максимум биомассы регистрировался в июне, когда преобладали крупные формы. Количество и биомасса планктонных бактерий в течение лета варьировали незначительно, пик численности наблюдался в июле. Интересно отметить закономерное увеличение размеров бактериальных клеток от начала к концу лета. Максимальное коли-

чество вирусных частиц зарегистрировано также в июле, минимальное – в июне. Такие величины характерны для высокопродуктивных вод (Liu et al., 2006). Отношение численностей вирио- и бактериопланктона изменялось в пределах 4.1 – 10.6 и было максимальным в августе.

На мелководье, испытывающем влияние продуктов жизнедеятельности цапель, отмечено несколько большее число видов зоопланктеров – 30 (12 коловраток, 3 веслоногих и 15 ветвистоусых ракообразных), на фоновом участке обнаружено 26 (9, 4 и 13 соответственно). В июне максимальное количество видов зафиксировано на участке, подверженном влиянию птиц – 28 видов (12 Rotifera, 3 Copepoda и 13 Cladocera), на фоновом участке – 20 (7, 3 и 10 соответственно). В июле в зоне воздействия колонии число видов снижалось до 15 (4 Rotifera, 1 Copepoda и 10 Cladocera), на фоновом участке – до 13 (соответственно 3, 1 и 9). В августе наибольшее количество видов было отмечено на фоновой станции – 15 видов (3 Rotifera, 2 Copepoda и 10 Cladocera), на участке, испытывающем влияние продуктов жизнедеятельности птиц, – 12 (соответственно 2, 1 и 9).

Среднее число видов зоопланктеров в одной пробе на участке рядом с колонией птиц было достоверно больше в июне, в июле это сохранялось на уровне тенденции, а в августе отмечено незначительное увеличение их количества на фоновом мелководье (табл. 3).

**Таблица 3**

Число видов (*S*), численность (*N*), биомасса (*B*) зоопланктона, доля таксономических групп зоопланктеров, отношение численности ветвистоусых и веслоногих ракообразных ( $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ ) на мелководных участках I и II

Показатель	Июнь		Июль		Август	
	I	II	I	II	I	II
<i>S</i>						
Rotifera	2.4±1.7	6.3±1.3	1.4±0.9	2.2±1.1	0.6±0.9	0.4±0.5
Copepoda	1.3±0.5	1.4±0.5	1.0±0.0	0.8±0.4	1.0±0.7	0.4±0.5
Cladocera	5.3±1.6	7.0±1.6	5.0±1.2	5.8±2.3	6.0±1.2	6.0±1.2
Всего	8.9±2.4	14.6±1.9*	7.4±1.5	8.8±2.3	7.6±2.1	6.8±1.8
<i>N</i>						
Rotifera, %	9.9±7.2	2.4±0.9	0.08±0.04	0.3±0.2	0.1±0.1	0.4±0.5
Copepoda, %	76.5±9.5	52.5±20.8	96.3±1.5	97.6±1.0	41.4±16.4	84.3±5.4*
Cladocera, %	13.6±4.8	45.1±21.2*	3.6±1.5	2.1±1.0	58.5±16.3	15.3±5.1*
Всего, тыс. экз./м <sup>3</sup>	40.3±10.1	167.5±57.1*	460.3±134.1	370.0±40.5	192.5±8.7	40.5±14.3*
<i>B</i>						
Rotifera, %	0.6±0.9	0.8±1.2	0.004±0.002	0.09±0.07	0.002±0.004	0.02±0.04
Copepoda, %	19.4±24.8	28.6±21.5	53.5±31.2	83.4±14.3	9.9±7.0	28.1±13.5
Cladocera, %	80.1±25.6	70.6±21.3	46.5±31.2	16.5±14.3	90.1±7.0	71.9±13.5
Всего, г/м <sup>3</sup>	0.6±0.3	1.5±0.8	2.6±0.4	1.4±0.4*	5.8±1.2	1.2±0.9*
$N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$	0.18±0.08	1.34±1.45	0.04±0.02	0.02±0.01	1.88±1.52	0.19±0.08*

*Примечание.* Представлены средние значения и ошибки средних; \* – достоверные отличия ( $P \leq 0.05$ ).

Максимальные величины численности и биомассы зоопланктона в июне зарегистрированы на участке, прилегающем к колонии цапель, причем по численности различия были достоверными (см. табл. 3). Основу численности на обоих участках составляли Copepoda, однако на фоновой станции доля Cladocera была значимо меньше. Доминировали здесь науплиусы и копеподиты циклопов, а также *Brachionus angularis* Gosse, а на участке, находящемся под влиянием жизнедеятельности цапель, – преимущественно Rotifera.

тельности птиц, – ювенильные особи веслоногих рачков, *Ceriodaphnia pulchella* Sars и *Bosmina longirostris* (O.F. Müller). По биомассе преобладали кладоцеры, на фоновом участке доминировали *Leptodora kindtii* (Focke), *Limnospira frontosa* Sars и копепоиды циклопов, на участке в зоне воздействия цапель – *Ceriodaphnia pulchella*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata* G. Sars, а также копепоиды циклопов, *Cyclops vicinus* Uljanin, *Acanthocyclops vernalis* (Fischer).

В июле значимых различий по численности зоопланктона не обнаружено, однако наблюдалась тенденция ее снижения в условиях влияния птиц, где была достоверно меньше биомасса (см. табл. 3). Основу численности по-прежнему составляли веслоногие рачки за счет доминирования ювенильных особей. Ведущей таксономической группой по биомассе также были представители Copepoda, однако наблюдалась тенденция увеличения их относительного обилия в зоне воздействия колонии при сокращении доли Cladocera. На фоновом участке по биомассе доминировали науплиусы и копепоиды циклопов, *Leptodora kindtii*, *Diaphanosoma brachyurum* Lievin, *Limnospira frontosa*, на участке, находящемся в районе стока продуктов жизнедеятельности птиц, – ювенильные особи циклопов, *L. frontosa* и *Diaphanosoma brachyurum*.

В августе по численности и биомассе достоверно преобладал зоопланктон фоновом участке (см. табл. 3). При этом доля веслоногих рачков в общей численности на контрольном участке была значимо меньше, ветвистоусых рачков – больше, по биомассе наблюдалась аналогичная тенденция изменений. По численности на обоих участках доминировали *Limnospira frontosa*, ювенильные особи циклопов, *Daphnia cucullata*, по биомассе на фоновом мелководье господствовали *D. cucullata*, *Limnospira frontosa*, копепоиды циклопов, а на участке, расположенном в зоне влияния колонии птиц – *L. frontosa*, *Leptodora kindtii* и копепоиды циклопов.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в ходе исследования величины численности и биомассы фитопланктона свойственны эвтрофным-гипертрофным водоемам (Китаев, 1984). По составу доминирующих видов фитопланктон исследованных участков озера довольно близок. На станции, подверженной влиянию продуктов жизнедеятельности птиц, по сравнению с фоновым участком возрастала общая биомасса водорослей, биомасса и разнообразие групп, предпочитающих воды с высоким содержанием органического вещества – синезеленых (июнь) и фитофлагеллат, в основном эвгленовых (август), некоторое снижение суммарного разнообразия видов и общей численности фитопланктона.

Уровень количественного развития микроорганизмов также характеризовал исследованные участки как богатые органическими и биогенными веществами. В среднем на фоновом мелководье обилие фототрофного пикопланктона и гетеротрофных жгутиконосцев было выше, а бактерий и вирусных частиц, напротив, ниже по сравнению с литоралью, подверженной влиянию колонии цапель.

Биомасса крупного фитопланктона существенно преобладала над биомассой пикофитопланктона, что характерно для вод с высокой обеспеченностью биогенными элементами (Agawin et al., 2000). В июне на фоновом участке она была выше в 9.4 раза, на участке в зоне влияния птиц – в 41.7 раза, но в августе различия между биотопами исчезали и были выше в 23.5 и 22.7 раза соответственно.

В начале периода выкармливания птенцов – в июне – поступление продуктов жизнедеятельности птиц способствовало увеличению количества зоопланктона, а также величин  $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ , что наблюдается и при антропогенном эвтрофировании (Андроникова, 1996) (см. табл. 3). Однако имеется ряд отличий: увеличилось число видов, не зарегистрировано сокращения числа доминантов, среди которых не отмечено коловраток-индикаторов высокой органической нагрузки, в отличие от фонового участка, где в этот период доминировала *Brachionus angularis*. В июле и августе в зоне влияния колонии птиц по сравнению с фоновым мелководьем снижалась биомасса зоопланктона, что может свидетельствовать о возрастании органической и биогенной нагрузки на этот участок акватории озера (Андроникова, 1996 и др.). В зоне влияния жизнедеятельности птиц отмечен также ряд изменений, обычно не наблюдаемых при антропогенном воздействии, таких как большая доля веслоногих ракообразных в общей численности и биомассе зоопланктона и меньшая величина отношения  $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ . Кроме этого не происходило смены доминантов, среди которых не обнаружено видов-индикаторов высокой органической нагрузки.

На увеличение обеспеченности биогенными и органическими веществами участка оз. Чистое в зоне влияния птиц указывает снижение отношения биомасс гетеротрофных и автотрофных организмов планктона (Н/А) (Копылов и др., 2007; Del Giorgio, Gazol, 1995). Если в начале активной жизнедеятельности колонии птиц (в июне) величина Н/А на фоновом участке составляла 0.07, а в зоне влияния птиц – 0.11, то в конце (в августе) – 0.36 и 0.11 соответственно.

Таким образом, ряд показателей развития планктона высокотрофного озера в зоне поступления продуктов жизнедеятельности колонии цапель указывает на увеличение биогенной и органической нагрузки и не отличается от показателей, регистрируемых при усилении антропогенного эвтрофирования. В частности, по сравнению с фоновым мелководьем возрастала общая биомасса фитопланктона, биомасса и разнообразие синезеленых водорослей и фитофлагеллят, снижалось разнообразие и общая численность фитопланктона, биомасса зоопланктона, а к концу периода гнездования – величина Н/А. Однако часть показателей отличается от тенденций, наблюдаемых при усилении органической и биогенной нагрузки вследствие антропогенного пресса. Так, по сравнению с фоновым участком к концу периода гнездования снижалось отношение биомасс крупного фитопланктона и пикофитопланктона, увеличивалась доля веслоногих ракообразных и величина  $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ . В чем возможная причина неоднозначной реакции? В исследовании Н.Ю. Кулаковой (2008) показана большая роль птиц в формировании потоков азота в ландшафтах северного Прикаспия. В частности, количество водорастворимого азота, поступающего с экскрементами и погадками птиц, сопоставимо с количеством азота, поступающего из атмосферы, а количество общего азота превышает количество азота, попадающего за сезон в почвы лесных участков с опадом. Поэтому поступление азота с экскрементами и погадками птиц может способствовать изменению соотношения содержания азота и фосфора в воде оз. Чистое до величин, характерных для водоемов с более низким трофическим статусом. Либо это объясняется ограничением влияния продуктов жизнедеятельности колонии

сроками гнездования. Либо это эффект выедания зоопланктеров рыбами. Однако, конечно, этот вопрос требует дальнейшего детального изучения.

Анализ ранее полученных результатов и данных этого исследования показывает, что в олиго-мезотрофных (оз. Севан – Крылов, Акопян, 2009) и мезотрофных (Рыбинское водохранилище – Крылов, Касьянов, 2008; Крылов и др., 2008) водоемах на преобразованных птицами участках акватории количественное развитие зоопланктона увеличивалось в течение всего периода гнездования. В высокотрофном оз. Чистое развитие организмов, обитающих в измененных птицами условиях, характеризовалось двумя циклами: в начале периода гнездования зоопланктон отличался высоким разнообразием видов, численностью и биомассой организмов; в последующем наблюдалось сокращение его количественного развития по сравнению с зоопланктоном, развивающимся на фоновом участке. Как отмечалось в литературе, в высокопродуктивных системах сообщества, обитающие в измененных в результате жизнедеятельности ключевых видов (экосистемных инженеров) пятнах, характеризуются меньшим видовым богатством по сравнению с сообществами неизмененных биотопов и, наоборот, в низкопродуктивных – большим разнообразием видов (Wright, Jones, 2004). Вероятно, аналогичные процессы проявляются и в отношении численности и биомассы организмов. В то же время независимо от трофического статуса водной экосистемы зоопланктон характеризуется отсутствием ряда особенностей, которые обычно наблюдаются в условиях антропогенного эвтрофирования: не отмечается массового развития коловраток, сокращения доли веслоногих рачков и числа видов, доминирования в сообществе индикаторов высокой степени антропогенной нагрузки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют об усилении органической и биогенной нагрузки на участок литорали высокотрофного озера, примыкающей к колонии цапель. Часть изменений структуры отдельных групп планктонных организмов аналогична наблюдаемому при усилении антропогенного эвтрофирования, часть изменений имеет специфичный характер.

Усиление биогенной и органической нагрузки под влиянием продуктов жизнедеятельности птиц способно играть определенную положительную роль в жизни обитателей пресных вод. Так, в конце весны и начале лета – в период активного питания и нагула мальков фитофильных рыб и рыб-планктофагов – продукты жизнедеятельности птиц способствуют повышению кормовой базы гидробионтов. Само увеличение нагрузки не влечет за собой тотального сокращения видового богатства зоопланктеров, их численности и биомассы, изменений видового состава и соотношения таксономических групп в той степени, какая регистрируется при усилении эвтрофирования вследствие антропогенного влияния.

Результаты исследования мелководий оз. Севан, Рыбинского водохранилища и оз. Чистое в условиях влияния продуктов жизнедеятельности птиц свидетельствуют о различиях реакции зоопланктона в экосистемах, отличающихся по трофическому статусу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-04-00080-а).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1996. 189 с.
- Евдущенко А.В.* Удобрение степных прудов Украины посредством выращивания водоплавающей птицы и развитие фитопланктона // Тр. VI совещ. по проблемам биологии внутренних вод. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 81 – 85.
- Копылов А.И., Косолапов Д.Б., Романенко А.В., Крылов А.В., Корнева Л.Г., Гусев Е.С.* Микробная «петля» в планктонных сообществах озер разного трофического статуса // Журн. общ. биологии. 2007. Т. 68, № 5. С. 350 – 360.
- Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Крылов А.В., Акоюн С.А.* Особенности зоопланктона прибрежной зоны озера Севан // Биол. внутренних вод. 2009. №3. С. 68–72.
- Крылов А.В., Касьянов Н.А.* Влияние колониальных поселений речной крачки на зоопланктон мелководий Рыбинского водохранилища // Биол. внутренних вод. 2008. №2. С. 40 – 48.
- Крылов А.В., Кулаков Д.В., Касьянов Н.А.* Зоопланктон зарастающих мелководий Рыбинского водохранилища в условиях влияния колониальных поселений птиц // Водные экосистемы: трофический уровень и проблемы поддержания биоразнообразия: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием / ФГНУ «ГосНИОРХ». Вологда, 2008. С. 173–176.
- Кулакова Н.Ю.* Роль зоогенного фактора в формировании потоков азота в ландшафтах северного Прикаспия (на примере Джаныбекского стационара) // Проблемы изучения крайних структур биоценозов: Материалы 2-й Междунар. конф. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2008. С. 184 – 188.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Чуйков Ю.С.* Методы экологического анализа состава и структуры сообществ водных животных. Экологическая классификация беспозвоночных, встречающихся в планктоне пресных вод // Экология. 1981. №3. С. 71 – 77.
- Agawin N.S.R., Duarte C.M., Agustí S.* Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production // *Limnol. Oceanogr.* 2000. Vol. 45, № 3. P. 591 – 600.
- Hahn S., Bauer S., Klaassen M.* Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats // *Freshwater Biology.* 2007. Vol. 52. P. 2421 – 2433.
- Hahn S., Bauer S., Klaassen M.* Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds // *Freshwater Biology.* 2008. Vol. 53. P. 181 – 193.
- Caron D.A.* Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplankton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures // *Appl. Environ. Microbiol.* 1983. Vol. 46, № 2. P. 491 – 498.
- Del Giorgio P.A., Gazol J.M.* Biomass distribution in freshwater plankton communities // *Amer. Natur.* 1995. Vol. 146, № 1. P. 135 – 152.
- Liu Y.-M., Zhang Q.-Y., Yuan X.-P., Li Z.-Q., Gui J.-F.* Seasonal variation of virioplankton in a eutrophic shallow lake // *Hydrobiologia.* 2006. Vol. 560. P. 323 – 334.
- MacIsaac E.A., Stockner J.G.* Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy // *Handbook of methods in aquatic microbial ecology* / Eds. P.F. Kemp, B.F. Sherr, E.B. Sherr, J.J. Cole. Boca Raton: Lewes Publishers, 1993. P. 187 – 197.
- Noble R.T., Fuhrman J.A.* Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence count of marine viruses and bacteria // *Aquat. Microb. Ecol.* 1998. Vol. 14, № 2. P. 113 – 118.
- Porter K.G., Feig Y.S.* The use of DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* 1980. Vol. 25, № 5. P. 943 – 948.
- Wright J.P., Jones C.G.* Predicting effects of ecosystem engineers on patch-scale species richness from primary productivity // *Ecology.* 2004. Vol. 85, № 8. P. 2071 – 2081.