

УДК 574.5:556.11

ИЗМЕНЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ПЕРИОД «ГИПЕРЦВЕТЕНИЯ» ВОДЫ

А.С. Семёнова

*Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (АтлантНИРО)*

Россия, 236022, Калининград, Дм. Донского, 5

E-mail: a.s.semenowa@rambler.ru

Поступила в редакцию 26.04.09 г.

Изменения зоопланктона Куршского залива в период «гиперцветения» воды. – Семёнова А.С. – Явления «гиперцветения» при массовом развитии сине-зеленых водорослей в последние годы периодически наблюдаются в Куршском заливе. Рассмотрены изменения структуры зоопланктона в период «гиперцветения» Куршского залива. Отмечено, что большинство характеристик зоопланктона соответствовали таковым в гиперэвтрофных и эвтрофных водоемах. Выявлены показатели зоопланктона, которые в первую очередь изменяются при «гиперцветении». «Гиперцветение» в большей степени оказывает влияние на зоопланктон литоральной зоны.

Ключевые слова: зоопланктон, Куршский залив, «гиперцветение», эвтрофикация, литоральная зона.

Changes in Curonian Lagoon zooplankton during the hyperblooming period. – Semenova A.S. – The phenomenon of hyperblooming at mass development of blue-green algae in last years was periodically observed in Curonian Lagoon. Structural parameters of zooplankton are considered in the period of Curonian Lagoon hyperblooming. The majority of structural zooplankton parameters were characteristic of hypertrophic and eutrophic water bodies. Zooplankton parameters which primarily react to hyperblooming have been found. Hyperblooming affects zooplankton in the littoral zone to a greater degree.

Key words: zooplankton, Curonian Lagoon, hyperblooming, eutrophication, littoral zone.

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив – крупная мелководная (площадь 1584 км², объем 6.2 км³, глубина 3.8 м) пресноводная лагуна Балтийского моря, подвержена сильному антропогенному воздействию. Продолжающееся эвтрофирование залива в отдельные годы провоцирует «гиперцветение» воды при массовом развитии синезеленых водорослей, биомасса которых в отдельные годы значительно превышает уровень, обуславливающий вторичное загрязнение водоема (Александров, Дмитриева, 2006). В последние годы случаи «гиперцветения» участились. Так, начиная с 1980-х гг. биомасса фитопланктона в летний период всегда была на уровне «интенсивного цветения», а в течение 9-ти периодов достигала состояния «гиперцветения» (более 100 г / м³), из них 6 наблюдались в последние годы (Александров и др., 2006; Olenina, 1998). В период «гиперцветения» – в июле – сентябре – в фитопланктоне в массе развиваются потенциально токсичные виды фитопланктона, биомасса которых в различные годы составляет до 22 – 89% суммарной биомассы фитопланктона (Дмитриева, 2007). Основными факторами, обуславливающими возникновение «ги-

перцветения» в Куршском заливе, является сочетание интенсивного летнего прогрева воды с пресноводностью, слабой проточностью и высоким содержанием фосфора (Александров и др., 2006).

Антропогенное воздействие на водоемы оказывает влияние на качественный и количественный состав всех групп гидробионтов, следовательно, любая из них в той или иной степени может выступать в качестве индикаторной оценки экологического состояния водных объектов. В целом ряде работ показано успешное использование для этих целей структурно-функциональных характеристик зоопланктона (Андроникова, Смелская, 1994; Андроникова, 1996; Иванова, Телеш, 1996; Вандыш, 2000). В данном аспекте особенно актуально изучение зоопланктона высокопродуктивных водоемов, биологический режим которых формируется в условиях антропогенного эвтрофирования.

Цель исследования – выявление изменений зоопланктона в период «гиперцветения» Куршского залива.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования зоопланктона Куршского залива проводили в вегетационные периоды (с апреля по ноябрь), отличающиеся по наличию «гиперцветения»: в 2007 г. оно не отмечалось, в 2008 г. – наблюдалось. Изучали три участка: литоральную зону, центральную часть и переходную между ними зону. Отбор проб в центральной зоне водоема проводили 1 раз в месяц на 6-ти стандартных станциях АтлантНИРО; в переходной зоне – 2 – 4 раза в месяц на стандартной станции, расположенной в 500 м от берега в районе научно-исследовательской базы АтлантНИРО; в литоральной зоне исследования были эпизодическими, пробы собирали 1 – 2 раза за сезон на 2 – 4-х участках в основном открытого мелководья. В центральной и переходной зоне пробы собирали батометром Ван-Дорна объемом 6 л с глубин 0.5, 1.5 и 3.0 м, в литоральной зоне – на глубине 0.5 – 1.5 м с помощью ведра, процеживая 50 – 100 л воды. Для концентрации зоопланктона использовали планктонную сеть с мельничным газом № 70. Пробы фиксировали 4%-ным формалином с сахарозой (Haney, Hall, 1973). Всего за период исследования в центральной зоне водоема было собрано > 200 проб, в переходной зоне – 50, в литоральной зоне – 20. Камеральную обработку проводили счетным методом Гензена (Киселев, 1969). Биомассу рассчитывали по размерной структуре и численности видов (Методические..., 1984). Зоопланктон оценивали по показателю трофии (E/O) и коэффициенту трофности (E), соотношению числа видов *Brachionus* и *Trichocerca* ($Q_{B/T}$), числу структурообразующих видов по численности и биомассе, численности видов-индикаторов эвтрофных условий, отношению численности Cladocera к численности Copepoda ($N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$) и биомассы Cyclopoida к биомассе Calanoida (B_{Cycl}/B_{Cal}), биомассе за летний сезон ($B_{летн}$), средней численности (N) и биомассе (B) за вегетационный период, соотношению максимальной и минимальной биомасс (B_{max}/B_{min}), средней индивидуальной массе организма (w), индексу Шеннона, рассчитанному по численности (H_N) и по биомассе (H_B) (Гиляров, 1969; Мязметс, 1979; Андроникова, 1996; Sladeček, 1983).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего за период изучения в планктоне было обнаружено 87 видов и подвидов беспозвоночных, среди которых 43 вида Rotifera, 26 – Cladocera, 18 – Copepoda. В литоральной зоне зарегистрировано 59 таксонов, в переходной зоне – 52, в центральной зоне водоема – 63. Среди обнаруженных видов 20 относились к индикаторам эвтрофных условий, 3 – олиготрофных (Андроникова, 1996).

Комплекс доминирующих по численности видов был сходен на всех изучаемых участках акватории и включал *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Keratella quadrata* (O.F. Müller, 1786), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Eubosmina coregoni* Baird, 1857, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) и науплии Copepoda. По биомассе в зоопланктоне всех участков доминировали *Asplanchna herricki* De Guerne, 1888, *Eubosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia galeata* G.O. Sars, 1864, *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, 1938, *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg, 1888 и *Mesocyclops leuckarti*. В целом необходимо отметить, что значительная часть доминантов относится к индикаторам эвтрофных условий: *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Chydorus sphaericus* и *Eubosmina coregoni*.

Кроме этого, *Daphnia galeata* и *Diaphanosoma mongolianum* также способны массово развиваться в гиперэвтрофных водоемах (Коровчинский, 2004; Müller, Seitz, 1995; Voigt, Hülsmann, 2001; Hülsmann, Voigt, 2002; Moustaka-Gouni et al., 2006). В целом число структурообразующих видов, выделенных на основе функции рангового распределения, было минимально и составляло 5–6 видов, что характерно для эвтрофных водоемов (Андроникова, 1996; Вандыш, 2000).

В центральной зоне залива и в 2007 и в 2008 г. максимальной численности зоопланктон достигал в мае при доминировании *Keratella quadrata* и *K. cochlearis* (рис. 1). Преобладание коловраток в весенний сезон характерно для эвтрофных водоемов (Radwan, Poriolek, 1989). В переходном участке залива в 2007 г. первый пик численности наблюдал

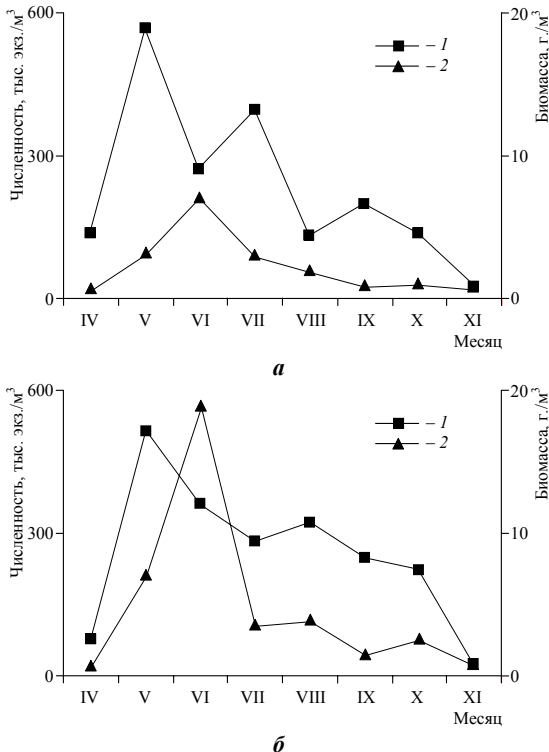


Рис. 1. Численность и биомасса зоопланктона центральной зоны Куршского залива в течение вегетационного периода 2007 г. (а) и 2008 г. (б): 1 – численность, 2 – биомасса

ся в мае и также был связан с массовым развитием *K. quadrata* и *K. cochlearis* (рис. 2). Второй пик численности по величине был меньше первого и отмечался в конце июня, когда в зоопланктоне доминировали *Chydorus sphaericus* и *Keratella cochlearis*. Третий пик численности наблюдался в середине июля и был связан с массовым развитием *Chydorus sphaericus* и *Mesocyclops leuckarti*. В 2008 г. максимальной численности зоопланктон достигал в середине июля при доминировании *Eubosmina coregoni*, в октябре повышение количества зоопланктеров происходило за счет развития *Keratella quadrata*. В литоральной зоне в весенний период по численности преобладали *Keratella quadrata*, *Chydorus sphaericus* и *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901. В летний сезон, когда численность зоопланктона возрастала и достигала своего максимума, в зоопланктоне в массе развивались *Eubosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus* и *Mesocyclops leuckarti*. Осенью, когда численность зоопланктона снижалась, в планктоне доминировали *Keratella quadrata* и *Mesocyclops leuckarti*.

Средние за вегетационный период численности зоопланктона в переходной и центральной зоне водоема в оба года исследований были близки, а в литоральной зоне они были в 5–10 раз меньше (таблица). Основу численности зоопланктона исследованных участков составляли веслоногие ракообразные, но на фоне «гиперцветения» в 2008 г. их доля по сравнению с 2007 г. снижалась с 47.8 до 41.3%, а доля Rotifera и Cladocera возрастала соответственно с 30.5 до 32.8% и с 21.6 до 31.4%. Такие изменения обычно наблюдаются при повышении трофии водоемов (Андроникова, 1996; Blancher, 1984). Доля видов-индикаторов эвтрофных условий в общей численности в оба периода исследований практически не различалась, составляя в среднем >50%, а в отдельные месяцы достигая 90%.

Наибольшей биомассы зоопланктон центральной зоны Куршского залива в оба года изучения достигал в июне, причем в 2007 г. за счет массового развития *Daphnia galeata*, а в 2008 г., когда биомасса была в 2.7 раза выше – за счёт *As-*

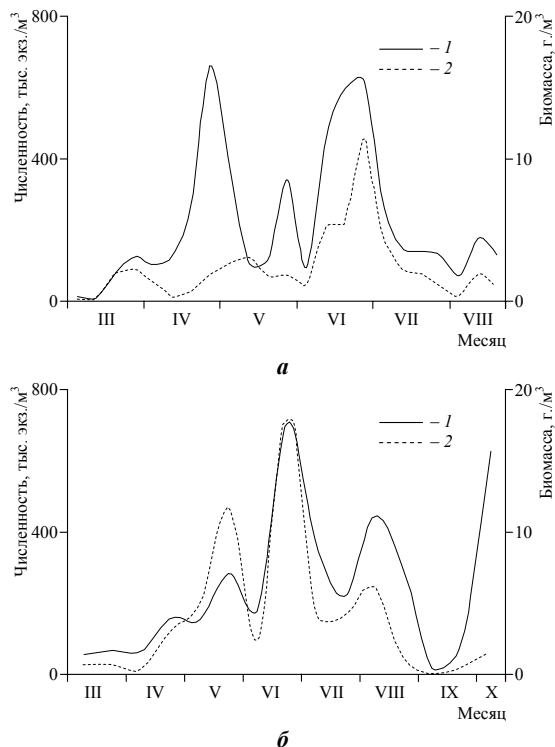


Рис. 2. Численность и биомасса зоопланктона переходного участка Куршского залива в течение вегетационного периода 2007 г. (а) и 2008 г. (б): 1 – численность, 2 – биомасса

planchna herricki, *Eubosmina coregoni* и *Daphnia galeata* (см. рис. 1). В переходном участке залива максимальные значения биомассы зоопланктона отмечались в середине июля за счет доминирования *Chydorus sphaericus* и *Daphnia galeata* в 2007 г. и *Eubosmina coregoni* и *Diaphanosoma mongolianum* в 2008 г. (см. рис. 2). В литоральной зоне максимальные величины биомассы также отмечались в летний сезон при массовом развитии *Chydorus sphaericus*, *Eubosmina coregoni* и *Diaphanosoma mongolianum*.

Показатели зоопланктона участков Куршского залива в 2007 и 2008 гг.

Показатель	2007 г.	2008 г.	Среднее
Литоральная зона			
E	7.0 (ГЭ)	13.0 (ГЭ)	10.0 (ГЭ)
E/O	3.8 (Э)	7.9 (ГЭ)	5.9 (ГЭ)
$Q_{B/T}$	1.0 (М)	6.0 (Э)	3.5 (Э)
B_{Cycl}/B_{Cal}	11.2 (Э)	10.1 (Э)	10.6 (Э)
B_{max}/B_{min}	468	701	584
$N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$	0.35	0.65	0.40
H_N , бит	1.86 (Э)	2.15 (М)	2.01 (Э)
H_B , бит	1.93 (Э)	1.83 (Э)	1.88 (Э)
N , тыс. экз./м ³	29	47	38
w , г	$6.0 \cdot 10^{-6}$	$9.1 \cdot 10^{-6}$	$7.9 \cdot 10^{-6}$
$B_{летн}$, г/м ³	0.2(О)	0.8(О)	0.5(О)
B , г/м ³	0.2	0.4	0.3
Переходная зона			
E	9.0 (ГЭ)	13.0 (ГЭ)	11.0 (ГЭ)
E/O	5.8 (ГЭ)	6.0 (ГЭ)	5.9 (ГЭ)
$Q_{B/T}$	4.0 (Э)	0.7(О)	2.4 (Э)
B_{Cycl}/B_{Cal}	5.8 (Э)	3.0 (Э)	4.4 (Э)
B_{max}/B_{min}	211	393	302
$N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$	0.88	1.00	0.94
H_N , бит	2.50 (О)	2.43 (М)	2.47 (М)
H_B , бит	2.27 (М)	1.98 (Э)	2.13 (М)
N , тыс. экз./м ³	225	249	237
w , г	$10.4 \cdot 10^{-6}$	$16.1 \cdot 10^{-6}$	$13.4 \cdot 10^{-6}$
$B_{летн}$, г/м ³	3.2 (М)	7.9 (Э)	5.6 (Э)
B , г/м ³	2.3	4.0	3.2
Центральная зона			
E	5.3 (ГЭ)	6.5 (ГЭ)	5.9 (ГЭ)
E/O	4.4 (Э)	4.7 (Э)	4.5 (Э)
$Q_{B/T}$	1.3 (М)	1.5 (М)	1.4 (М)
B_{Cycl}/B_{Cal}	1.6 (Э)	1.7 (Э)	1.7 (Э)
B_{max}/B_{min}	77	118	97
$N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$	0.52	0.70	0.61
H_N , бит	2.66 (О)	2.59 (О)	2.62 (О)
H_B , бит	2.35 (М)	2.19 (М)	2.27 (М)
N , тыс. экз./м ³	232	254	243
w , г	$9.8 \cdot 10^{-6}$	$18.9 \cdot 10^{-6}$	$14.6 \cdot 10^{-6}$
$B_{летн}$, г/м ³	4.0 (Э)	8.7 (Э)	6.4 (Э)
B , г/м ³	2.3	4.8	3.6

Примечание. О – олиготрофный, М – мезотрофный, Э – эвтрофный, ГЭ – гиперэвтрофный.

Средние за вегетационный период величины биомассы в 2008 г. по сравнению с 2007 г. в переходной зоне увеличились в 1.7 раза, в центральной зоне водоема – в 2.1 раза, в литоральной зоне – в 2.4 раза (см. таблицу). Низкие численность и биомасса зоопланктона в литоральной зоне по сравнению с другими участками залива, по-видимому, связаны с тем, что пробы собирали в основном на участках незащищенного мелководья, где наблюдаются неблагоприятные условия существования беспозвоночных. Основу биомассы зоопланктона в оба периода исследований на всех участках составляли ветвистоусые ракообразные (от 50 до 75%), однако в 2008 г. на всех участках снижалась доля Copepoda (в среднем с 39 до 26%), что обычно происходит при эвтрофировании (Андроникова, 1996; Blancher, 1984).

Большинство показателей зоопланктона на всех участках соответствовало величинам, характерным для гиперэвтрофных и эвтрофных водоемов (см. таблицу) (Андроникова, 1996). При этом отмечены межгодовые различия. Так, в период «гиперцветения» в 2008 г. увеличивались показатель и коэффициент трофии, отношение численности Cladocera и Copepoda, соотношение максимальной и минимальной биомасс, биомасса за летний период, уменьшался индекс Шеннона (см. таблицу). Такие изменения структурных характеристик зоопланктона свидетельствуют об увеличении биогенной и органической нагрузки на водоем.

Также обнаружены свидетельства о снижении нагрузки от литоральной зоны водоема к центральной. В частности, в литоральной зоне наблюдались высокие величины показателя и коэффициента трофии, соотношения числа видов *Brachionus* и *Trichocerca*, отношения биомассы Cyclopoida и Calanoida, максимальной и минимальной биомасс, снижение средней индивидуальной массы организма и величины индекса Шеннона (см. таблицу). Большая степень эвтрофирования литоральной зоны по сравнению с центральной частью водоема была отмечена и для Ладожского озера (Andronikova, 1996; Андроникова, Распопов, 2007). Важно отметить, что максимальные межгодовые различия показателей зоопланктона обнаруживались в литоральной зоне, минимальные – в центральной зоне залива (см. таблицу). Следовательно, увеличение биогенной и органической нагрузки в большей степени оказывало влияние на зоопланктон литоральной зоны, как это уже отмечалось в Ладожском озере (Андроникова, Распопов, 2007).

Ряд показателей зоопланктона ($Q_{B/T}$, B_{Cycl}/B_{Cal} , w) не отражал влияния «гиперцветения» Куршского залива в 2008 г. и, напротив, свидетельствовал об уменьшении степени эвтрофирования. Однако средние за весь период изучения значения этих показателей указывали на большую биогенную и органическую нагрузку в литоральной зоне водоема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом большинство показателей зоопланктона Куршского залива соответствуют величинам, отмечаемым в гиперэвтрофных и эвтрофных водоемах. Значительные межгодовые отличия состояния зоопланктона наблюдаются в период «гиперцветения» залива. В частности, увеличиваются показатель и коэффициент трофии, отношение численности Cladocera и Copepoda, биомасса за летний период, соотношение максимальной и минимальной биомасс, уменьшается индекс Шен-

нона. При этом «гиперцветение» воды не вызывало изменения величин соотношения числа видов *Brachionus* и *Trichocerca*, отношения биомассы Cyclopoida и Calanoida, средней индивидуальной массы организма. Показатели зоопланктона свидетельствуют о большей степени органической и биогенной нагрузки в литоральной зоне водоема, где также наблюдаются максимальные межгодовые флуктуации.

Таким образом, межгодовые изменения ряда структурных характеристик зоопланктона свидетельствуют о значительном влиянии «гиперцветения» на планктонных животных Куршского залива и могут быть использованы для анализа влияния этого процесса на экосистему водоема.

Считаю необходимым выразить искреннюю благодарность Н.М. Коровчинскому за консультацию при обработке проб зоопланктона, А.В. Крылову и С.В. Александрову за ценные советы при написании данной работы и О.А. Дмитриевой за сведения о количественном развитии фитопланктона

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров С.В., Дмитриева О.А. Первичная продукция и показатели фитопланктона как критерии эвтрофирования Куршского залива Балтийского моря // Вод. ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 104 – 110.

Александров С.В., Сенин Ю.М., Смыслов В.А. Первичная продукция, содержание хлорофилла и биогенных элементов как показатели экологического состояния Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Биол. внутренних вод. 2006. № 1. С. 41 – 47.

Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1996. 189 с.

Андроникова И.Н., Смелская М.В. Оценка трофического статуса оз. Галичского по показателям зоопланктона // Вод. ресурсы. 1994. Т. 21, № 6. С. 680 – 683.

Андроникова И.Н., Распопов И.М. Зоны экологического риска в прибрежных районах Ладожского озера // Биол. внутренних вод. 2007. №2. С. 3 – 10.

Вандыш О.И. Зоопланктон как индикатор состояния озерных экосистем (на примере субарктического озера Имандра) // Вод. ресурсы. 2000. Т. 27, № 3. С. 364 – 370.

Гиляров А.М. Индекс разнообразия и экологическая сукцессия // Журн. общ. биол. 1969. Т. 30, № 6. С. 652 – 657.

Дмитриева О.А. Потенциально токсичные виды фитопланктона российской части Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Калининград: Изд-во Рос. ун-та им. Иммануила Канта, 2007. Вып.5. С. 102 – 117.

Иванова М.Б., Телеш И.В. Оценка экологического состояния Невской губы и водотоков С.-Петербурга по зоопланктону // Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы / С.-Петербург. науч. центр РАН. СПб., 1996. С. 36 – 52.

Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. М.: Наука, 1969. Т. 1. 657 с.

Коровчинский Н.М. Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 410 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Л., 1984. 33 с.

Мязметс А.Х. Качественный состав пелагического зоопланктона как показатель трофности озера // Тез. докл. 20-й науч. конф. по изучению водоемов Прибалтики и Белоруссии. Рига: Зинатне, 1979. С. 12 – 15.

ИЗМЕНЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА КУРИШСКОГО ЗАЛИВА

- Andronikova I.N.* Zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga // *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322, № 1 – 3. P. 173 – 179.
- Blancher E.C.* Zooplankton – trophic state relationships in some north and central Florida lakes // *Hydrobiologia*. 1984. Vol. 30, № 4. P. 210 – 216.
- Haney J.F., Hall D.J.* Sugar-coated *Daphnia*: Apreservation technique for Cladocera // *Limnol. and Oceanogr.* 1973. Vol. 18, № 2. P. 331 – 333.
- Hülsmann S., Voigt H.* Life history of *Daphnia galeata* in a hypertrophic reservoir and consequences of non-consumptive mortality for the initiation of a midsummer decline // *Freshwater Biol.* 2002. Vol. 47, № 12. P. 2313 – 2324.
- Moustaka-Gouni M., Vardaka E., Michaloudi E., Kormas K.A., Tryfon E., Mihalatou H., Gkelis S., Lanaras T.* Plankton food web structure in a eutrophic polymictic lake with a history of toxic cyanobacterial blooms // *Limnol. Oceanogr.* 2006. Vol. 51, № 1, part 2. P. 715 – 727.
- Müller J., Seitz A.* Differences in allozyme patterns between *Diaphanosoma brachyurum* and *Diaphanosoma mongolianum*, as revealed in Central European populations // *Hydrobiologia*. 1995. Vol. 312, № 2. P. 107 – 114.
- Olenina I.* Long-term changes in the Kursiu Marios Lagoon: Eutrophication and phytoplankton response // *Ecologija*. 1998. № 1. P. 56 – 65.
- Radwan S., Popiolek B.* Percentage of rotifers in spring zooplankton in lakes of different trophy // *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 186 – 187, № 1. P. 235 – 238.
- Sladeček V.* Rotifer as indicators of water quality // *Hydrobiologia*. 1983. Vol. 100, № 2. P. 169 – 201.
- Voigt H., Hülsmann S.* Do fast increasing food conditions promote the midsummer decline of *Daphnia galeata*? // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 442, № 1 – 3. P. 253 – 259.