



УДК 574.583; 592

**СЕЗОННАЯ СУКЦЕССИЯ ЗООПЛАНКТОЦЕНОЗОВ
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОДОГРЕТЫХ ВОД КОСТРОМСКОЙ ГРЭС
(ПО ДАННЫМ 2023-2024 ГГ)**

Колесников Антон Александрович, аспирант кафедры экологии?

Специалист лаборатории водных биоресурсов

ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»)

603116, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 31

Моисеев Алексей Владимирович, ведущий специалист лаборатории водных биоресурсов

Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»)

603116, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 31

Шурганова Галина Васильевна, д.б.н., профессор кафедры экологии

ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

Работа выполнена на базе

Нижегородского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»)

Аннотация. В работе проведен анализ современного состояния сообществ зоопланктона, подверженных влиянию подогретых вод на акватории Костромской ГРЭС. Было идентифицировано 43 таксона, большая часть которых являются типичными для европейской части России. Кроме того, обнаружены виды-вселенцы. Анализ видовой структуры зоопланктона исследованных акваторий показал трансформацию сообществ зоопланктона антропогенного характера. Установлено, что в условиях воздействия подогретых вод наблюдается увеличение смертности планктона относительно фоновых величин преимущественно в летний и осенний периоды.

Ключевые слова: зоопланктон, Горьковское водохранилище, Костромская ГРЭС, подогретые воды, смертность зоопланктона, обеднение фауны.

Экологическая сукцессия представляет собой процесс трансформации биологических сообществ во времени вследствие различных естественных или антропогенных воздействий. Этот процесс продолжает оставаться в центре внимания современной экологической теории [1]. В водоемах умеренной зоны сезонные сукцессии сообществ происходят на фоне изменений ключевого фактора среды — температуры. Температура оказывает влияние на количественное развитие и видовую структуру сообществ гидробионтов, в частности зоопланктоценозов [2, 3, 4, 5]. Сезонная динамика сообществ зоопланктона зависит также от трофических взаимодействий [6, 7] и

характеристик среды обитания [8].

Искусственное вмешательство в естественные колебания температуры приводит к значительной перестройке видовой структуры ценозов и оказывает заметное влияние на процесс сукцессий. Скорость и направление сукцессий сообществ гидробионтов в водоемах-охладителях являются одними из недостаточно исследованных аспектов влияния искусственного подогрева на биоту [9]. Анализ литературных данных показывает, что именно температура оказывает наиболее сильное воздействие на зоопланктонные сообщества в водоемах-охладителях ГРЭС [3, 10, 11, 12, 13].

Кроме непосредственного воздействия подогрева на беспозвоночных, которое вызывает их частичную гибель, косвенное влияние высоких температур в сочетании с высокой динамикой водных масс проявляется, в частности, в увеличении концентрации взвешенных веществ в воде, включая разрушенный планктон и минеральные частицы, вымываемые с берегов [9]. Такая смертность зоопланктона называется «не связанной с хищничеством» [14, 15]. Ввиду особенностей жизнедеятельности и окраски красителями, среди организмов зоопланктона наиболее подходящими группами для оценки не связанной с хищничеством смертности являются ветвистоусые (Cladocera) и веслоногие (Copepoda) ракообразные.

Целью работы была оценка влияния подогретых вод Костромской ГРЭС на динамику численности и биомассы зоопланктона, а также на динамику количества мертвых особей зоопланктона в разные сезоны года.

Исследования проводились в речной части Горьковского водохранилища на участке влияния теплых вод Костромской ГРЭС в период зима-осень 2023-2024 гг. Сброс теплых вод осуществляется по каналу из водоема-охладителя и по боковому притоку реки Шача. Отбор проб зоопланктона проводили на шести станциях: 1 – фоновая станция выше устья р. Шача (Горьковское водохранилище); 2 – ниже выпуска №2; 3 – перед дамбой в Горьковском водохранилище; 4 – в зоне влияния подогретых вод между дамбой и рыбозащитными установками (РЗУ); 5 – устье р. Шача, непосредственно в потоке теплой воды на устьевом участке сбросных каналов; 6 – контрольная точка ниже устья р. Шача (Горьковское водохранилище). Пробы зоопланктона собирали планктонной сетью (ячей 70 мкм) тотальными ловами от дна до поверхности.

С целью дифференциации живых и мертвых особей сразу после отбора пробы окрашивали анилиновым голубым красителем [16, 17, 18, 19]. После окрашивания пробы промывали и фиксировали 4%-ным раствором формалина. В качестве показателя не связанной с хищничеством смертности использовали долю численности или биомассы мертвых особей от общей численности или биомассы живых (окрашенных) и мертвых (не окрашенных) рачков, выраженную в процентах [19, 20].

В ходе работы в зоопланктоне в акватории Костромской ГРЭС было идентифицировано 43 таксона, относящихся к трем систематическим группам (Rotifera, Cladocera, Copepoda). Коловраткам принадлежало 17 (40%) от общего числа видов, ветвистоусым ракообразным – 20 (48%) и веслоногим ракообразным – 5 (12%). Видовой состав зоопланктона в зоне сброса теплых вод не отличался от видового состава в местах отбора выше и ниже устья р. Шача по течению Горьковского водохранилища. Существенные изменения в видовом составе зоопланктона наблюдались по сезонам. Наименьшее число видов было зафиксировано в весенний период, наибольшее – в осенний период. В декабре общее число видов было сравнимо с числом видов в июне, станции № 5 и № 6, подверженные влиянию подогретых вод, имели наибольшее сходство со станциями №5 и № 6 в октябре. В декабре в видовом составе доминировали коловратки. В июне и октябре преобладали ветвистоусые ракообразные. Наименьшее число видов было зафиксировано в мае, при этом наибольшее число видов принадлежало коловраткам. Большая часть видов являлись космополитами. Встречались теплолюбивые виды в летний период отбора проб, а также на участках влияния подогретых вод Костромской ГРЭС. Анализ экологических групп идентифицированных видов зоопланктона показал, что в целом в фауне зоопланктона верхней речной части Горьковского водохранилища чаще

других встречались облигатно-планктонные виды. В составе зоопланктона исследованного участка водохранилища были идентифицированы трансконтинентальные виды-вселенцы из Северной Америки – коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908), веслоногий рачок *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1892).

По данным полевых исследований было выявлено, что на количественные показатели сообщества зоопланктона влияние притока теплых вод было неоднозначным и соответствовало сезонным изменениям (табл. 1). В зоне сброса теплых вод в декабре и мае наблюдалось стимулирующее воздействие на зоопланктон по сравнению с обычными показателями. Максимальные значения численности и биомассы зоопланктона в декабре были зафиксированы на станции № 5 и составляли $10,5 \pm 1,1$ тыс. экз./м³ и $116,70 \pm 8,82$ мг/м³ соответственно. По результатам нашего исследования было показано, что теплые воды в зимний период оказывали стимулирующее воздействие на численность и биомассу зоопланктона. При повышении температуры на 8 °С на участке сброса показатели статистически значимо отличались и были в 5 раз больше, чем на фоновом участке. В данный период зоопланктон характеризовался низкой численностью и преобладанием коловраток родов *Brachionus* и *Keratella*. Следует отметить, что в зоне влияния подогретых вод в зимний период были идентифицированы представители ветвистоусых, в частности, виды *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785) и *Daphnia cucullata* (Sars, 1862). В мае максимальные значения численности и биомассы зоопланктона также были зафиксированы на станции № 5 и составляли $11,0 \pm 1,5$ тыс. экз./м³ и $49,87 \pm 6,16$ мг/м³ соответственно. В июне повышенная температура оказывала негативное влияние на развитие зоопланктона по сравнению с предыдущими сезонами. Самые высокие показатели численности и биомассы зафиксированы на станции № 4 ($72,7 \pm 12,9$ тыс. экз./м³ и $1525,52 \pm 302,89$ мг/м³ соответственно), которая расположена в заводи между РЗУ и дамбой, отделяющей спускной канал от р. Волга. В осенний период наибольшие значения численности и биомассы были аналогичны летнему периоду, изменились лишь показатели зоопланктона на станции № 4 ($7,5 \pm 0,4$ тыс. экз./м³ и $33,34 \pm 2,01$ мг/м³ соответственно).

Таблица 1

Численность (N), биомасса (B) и показатели смертности зоопланктона в акватории Костромской ГРЭС Горьковского водохранилища

Показатель		Участок водохранилища вблизи Нижегородской ГЭС			
		Зима	Весна	Лето	Осень
N, тыс. экз/ м ³	Rotifera	0,5±0,3	1,5±0,8	0,3±0,1	2,9±1,5
	Cladocera	2,9±1,7	0,6±0,2	34,1±20,2	2,2±0,8
	Copepoda	1,1±0,7	3,2±2,8	6,7±3,1	0,6±0,3
	total	4,5±2,7	5,3±3,4	41,1±20,2	5,6±2,3
	max	10,5±1,1	11,0±1,5	72,7±12,9	7,5±0,4
	min	1,9±0,2	0,1±0,1	22,1±1,5	1,5±0,1
B, г/м ³	Rotifera	1,45±0,47	8,30±4,91	0,00±0,00	6,66±4,51
	Cladocera	25,74±12,53	1,14±0,67	0,67±0,52	7,66±1,87
	Copepoda	23,62±19,55	10,54±9,31	0,11±0,05	10,12±6,08
	total	50,81±30,93	19,98±14,88	0,79±0,52	24,40±7,33
	max	116,70±8,82	49,87±6,16	1525,52±302,89	33,34±2,01
	min	19,56±1,28	9,31±0,64	0,32±0,03	11,29±0,59
N _{mort.} , экз./м ³		234,0±200,0	38,0±13,0	705,0±501,0	1100,0±830,0
B _{mort.} , мг/м ³		4,48±3,69	0,33±0,25	13,11±9,99	3,61±2,53
N _{mort.} × 100 / N, %		6,88±5,93	1,00±0,79	1,27±1,24	15,79±15,59
B _{mort.} × 100 / B, %		4,48±3,69	0,32±0,25	10,97±9,01	3,61±2,52

Из ранних исследований (Герасимов и др., 2023) воздействия теплых вод на зоопланктон в районе Костромской ГРЭС следует, что в летний период в условиях

подогретых вод возрастает уровень смертности планктона по сравнению с фоновыми значениями. Результаты нашего исследования показали, что наибольшее летальное действие теплых вод на зоопланктон проявлялось в осенний и зимний периоды. Доля погибшего зоопланктона в осенний период достигала 27,2 % и 22,5 % соответственно на участках сброса теплых вод Костромской ГРЭС № 4 и № 5. Высокая смертность достигалась при доминировании теплолюбивого вида коловраток *Brachionus quadridentatus* (Hermann, 1783). Это обусловлено изменениями условий среды обитания, т.к. оптимальные условия жизни для него создаются в летний период, в осенний период при постепенном снижении температуры до 6-10 °C продолжительность жизни снижается. Доля мертвых особей зоопланктона в зимний период на участке влияния теплых вод была низкой и не имела существенных отличий от станций отбора проб, расположенных на акватории Горьковского водохранилища. Однако, высокая смертность наблюдалась в водоеме-охладителе, расположенном за дамбой.

Влияние теплых вод оказывало положительное воздействие на развитие зоопланктона в зимний, весенний и осенний периоды. При этом высокая доля мертвого зоопланктона была связана со смертностью крупных особей веслоногих ракообразных, испытывающих угнетающее воздействие температурного фактора среды в зимний и осенний периоды. Весной и летом доля мертвых особей под влиянием теплых вод снижалась, на большинстве участков она не достигала 3%. В результате наших исследований было выявлено, что влияние теплового воздействия локальное и не распространяется по акватории речной части Горьковского водохранилища более чем на 3 км ниже устья р. Шача.

Список литературы:

1. Chang C.C., Turner B.L. Ecological succession in a changing world // *Journal of Ecology*. 2019. Vol. 107. P. 503–509.
2. Havens K.E., Pinto-Coelho R.M., Beklioglu M. et al. 2014. Temperature effects on body size of freshwater crustacean zooplankton from Greenland to the tropics // *Hydrobiologia*. V. 743. P. 27. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2000-8>
3. Лунева Е.В. 2014. Оценка влияния атомных электростанций России на экосистемы водоемов-охладителей // *Изв. Калининградского гос. техн. ун-та*. № 34. С. 20.
4. Вербицкий В.Б., Курбатова С.А., Вербицкая Т.И. 2017. Реакции зоопланктона на температурные воздействия. I. Динамика численности популяций Cladocera при непериодических изменениях температуры // *Тр. ИБВВ РАН*. Вып. 78(81). С. 14.
5. Герасимова А.А., Герасимов А.Г., Шарапова Т.А. 2021. Колониальные беспозвоночные в зооперифитоне водоема-охладителя ТЭЦ (Западная Сибирь) // *Биология внутр. вод*. № 3. С. 253. <https://doi.org/10.31857/S0320965221020042>
6. Romagnan J.B, Legendre L., Guidi L., Jamet J.L., Jamet D., Mousseau L. et al. Comprehensive Model of Annual Plankton Succession Based on the Whole-Plankton Time Series Approach // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10 (3). P. e0119219.
7. Kenitz K.M., Visser A.W., Mariani P., Andersen K.H. Seasonal succession in zooplankton feeding traits reveals trophic trait coupling // *Limnology and Oceanography*. 2017. Vol. 62. P. 1184–1197.
8. Fu H., Özkan K., Yuan G., Johansson L.S., Søndergaard M., Lauridsen T.L., Jeppesen E. Abiotic and biotic drivers of temporal dynamics in the spatial heterogeneity of zooplankton communities across lakes in recovery from eutrophication // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 778. P. 146368.
9. Скальская, И. А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги / И. А. Скальская ; Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – Рыбинск : Рыбинский дом печати, 2002. – 256 с. – ISBN 5-88697-078-9. – EDN UEQGUN.
10. Животова Е.Н. 2007. Влияние атомной электростанции на зоопланктон охлаждающих водоемов (на примере Нововоронежской АЭС): Автореф. Дис. ... канд. биол. наук. Воронеж.

11. Протасов А.А., Силаева А.А. 2012. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. Киев: Институт гидробиологии НАН Украины.
12. Девятков В.И., Евсеева А.А., Куанышбекова Г.К. 2017. Зоопланктон, макрозообентос и ихтиофауна водоемов-охладителей экибастузских ГРЭС // Экология водоемов – охладителей энергетических станций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Чита: Забайкал. гос. ун-т. С. 65.
13. Герасимов Ю.В., Болотов С.Э., Цветков А.И., Борисенко Э.С. Обилие, распределение и смертность гидробионтов на речном участке в зоне влияния подогретых вод ГРЭС // Биология внутренних вод. - 2023. - №6. - С. 747-761. doi: 10.31857/S0320965223060116
14. Elliott D.T., Tang K.W. Influence of carcass abundance on estimates of mortality and assessment of population dynamics in *Acartia tonsa* // Marine Ecology Progress Series. – 2011.– Vol. 427. – DOI:10.3354/meps09063.
15. Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P., Kirillin G., Grossart H.P. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments // Journal of Plankton Research. – 2014. –Vol. 36. – № 3. – P. 596-612. – DOI: 10.1093/plankt/fbu014.
16. Seepersad B., Crippen R. W. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. – 1978. – Vol. 35. № 10. – P. 1363-1366.
17. Дубовская О. П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия биология. – 2008.– № 2. – С. 145-161.
18. Bickel S. L., Tang K. W., Grossart H. P. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters // Freshwater biology. – 2009. – Vol. 54. – № 5. – P. 971-981. – DOI: 10.1111/j.1365-2427.2008.02141.x.
19. Семенова А.С. 2010. Индикаторная роль зоопланктона в оценке экологического состояния Куршского залива: Дис. ... канд. биол. наук. Борок. 280 с.
20. Дубовская О. П. Вертикальное распределение живого и мертвого зоопланктона формирующегося Саяно-Шушенского водохранилища // Гидробиологический журнал. – 1987. –Т. 23. – № 6. – С. 84-88.

**SEASONAL SUCCESSION OF ZOOPLANKTOCENOSES IN THE ZONE OF
INFLUENCE OF THE HEATED WATERS OF THE KOSTROMA GRES
(ACCORDING TO DATA FROM 2023-2024)**

Anton A. Kolesnikov, Alexey V. Moiseev, Galina V. Shurganova

Annotation. The paper provides an analysis of the current state of zooplankton communities affected by heated waters on the reservoir of the Kostroma GRES. 43 taxa were identified, the majority of which are typical for the European part of Russia. In addition, alien species were detected. The analysis of the species structure of zooplankton in the studied reservoirs showed a transformation of anthropogenic zooplankton communities. It was found that under the influence of heated waters, there is an increase in plankton mortality relative to background levels, mainly in the summer and autumn periods.

Keywords: zooplankton, Gorky reservoir, Kostroma GRES, heated waters, zooplankton mortality, depletion of fauna.