



УДК 574.583:621.039(282.247.363.6)

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ РОСТОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

© 2021 Н. А. Шляхова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия

E-mail: shlyakhova_n_a@azniirkh.ru

Аннотация. Изучено влияние подогретых вод после прохождения через агрегаты Ростовской АЭС на количественные и качественные характеристики зоопланктона в пространственно-временном аспекте и его распределения по акватории водоема в зависимости от степени искусственного подогрева. Исследование проводили в весенний, летний и осенний периоды 2019 г. в зонах сильного и умеренного подогрева, влияния вод Цимлянского водохранилища, а также в подводящем и отводящем каналах. Планктонная фауна была представлена 30 видами. Основными элементами зоопланктонного сообщества среди коловраток явились представители р. *Brachionus* (Pallas, 1766) и р. *Keratella* Bory de St. Vincent, 1822, среди ветвистоусых — *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848), среди веслоногих ракообразных — солоноватоводная *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880), мелкие теплолюбивые виды р. *Mesocyclops* Sars, 1863 и р. *Microcyclops* Claus, 1893. Зона влияния цимлянских вод характеризовалась наибольшими количественными показателями зоопланктона: численность — 53493 экз./м³, биомасса — 287,9 мг/м³. Минимальные значения количественных показателей зоопланктона отмечены в отводящем канале РоАЭС: численность — 1826 экз./м³, биомасса — 13,6 мг/м³. В среднем за вегетационный сезон в самом водоеме-охладителе численность зоопланктона составляла 27853 экз./м³ и биомасса — 97,7 мг/м³, а в отводящем канале — 5267 экз./м³ и 25,0 мг/м³, соответственно. Несмотря на повышенный температурный фон и значительное снижение количественных показателей в отводящем канале, зоопланктонное сообщество водоема-охладителя характеризовалось богатым видовым составом и естественной сезонной динамикой количественных показателей, что соответствует водоемам Юга России. Проведенное исследование свидетельствует о незначительном влиянии подогретых вод на зоопланктонное сообщество водоема-охладителя РоАЭС.

Ключевые слова: водоем-охладитель, отводящий канал, зоопланктон, сезонная динамика, РоАЭС

CHARACTERIZATION OF THE ZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE COOLING POND OF THE ROSTOV NUCLEAR POWER PLANT

N. A. Shlyakhova

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: shlyakhova_n_a@azniirkh.ru*

Abstract. This research was aimed at the investigation of the impact exerted by the waters, heated after passing through the Rostov NPP power units, on quantitative and qualitative characteristics of the zooplankton both in spatial and temporal terms and on its distribution over the water body area in relation to the degree of artificial heating. The data were collected in the spring, summer and autumn seasons of 2019 in the areas of high and medium heating, as well as the ones influenced by the Tsimlyansk Reservoir waters, and in the head and tail races. The planktonic fauna was represented by 30 species. The main components of the zooplankton community were the members of the *Brachionus* (Pallas, 1766) and *Keratella* Bory de St. Vincent, 1822 genera for rotifers, *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848) for cladocerans, brackishwater *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880) and small thermophilic species of *Mesocyclops* Sars, 1863 and *Microcyclops* Claus, 1893 genera for copepods. The area influenced by Tsimlyansk Reservoir waters was characterized by the highest values of quantitative parameters of zooplankters; their abundance and biomass were 53,493 ind./m³ and 287.9 mg/m³, respectively. The lowest values of quantitative parameters have been registered in the tail race of the RoNPP; the abundance equaled 1,826 ind./m³, and the biomass was 13.6 mg/m³. On average, during the growing season, the zooplankton abundance in the cooling pond in general was 27,853 ind./m³, with its biomass being 97.7 mg/m³, while in the tail race those values amounted to 5,267 ind./m³ and 25.0 mg/m³, respectively. Despite an increased background temperature and a significant decrease in the quantitative parameters in the tail race, the zooplankton community of the cooling pond was characterized by rich species composition and regular seasonal dynamics of quantitative parameters, which is typical for the water bodies in Southern Russia. The results of this investigation indicate a slight impact of the heated waters on the zooplankton community in the cooling pond of the RoNPP.

Keywords: cooling pond, tail race, zooplankton, seasonal dynamics, Rostov Nuclear Power Plant

ВВЕДЕНИЕ

Атомные электростанции оказывают влияние на гидробиологический режим водоемов, воды которых они используют для охлаждения реакторов, выбрасывая в водоем массу воды в подогретом (обычно выше на 8–11 °С) состоянии. Водоемы-охладители являются необходимой частью атомных электростанций и используются для охлаждения технологической воды. Их гидродинамика характеризуется постоянной циркуляцией воды, в результате чего организмы зоопланктона вовлекаются в общий круговорот вместе с водами, охлаждающими конденсаторы станции. Влияние собственно подогрева и повышения температуры воды на водоем многообразно и сложно, поскольку температура является одним из наиболее мощных экологических факторов. Искусственное повышение температуры воды в водоемах называют «тепловым загрязнением» [1]. В результате исследова-

ний ряда авторов [2–9] выявлены особенности гидробиологического режима для водоемов-охладителей атомных электростанций. Сброс охлаждающих вод приводит к образованию в водоеме зоны постоянного подогрева. Подогрев может вызывать у водных организмов ускорение роста и развития, сдвиг фенологических фаз на более раннее время, а также удлинение вегетационного периода и изменение в соотношении видов (увеличение роли эвритермных и теплолюбивых). Сильный подогрев ведет к нарушению размножения, развития, структуры сообществ и к отмиранию организмов по достижении летальной температуры.

Ростовская атомная электростанция (РоАЭС), расположенная в Ростовской области в 13 км от г. Волгодонска на берегу Цимлянского водохранилища, является одним из крупнейших предприятий энергетики Юга России. Водоем-

охладитель РоАЭС образован отсечением глухой земляной плотиной в мелководной части Цимлянского водохранилища и предназначен для технического оборотного водоснабжения. Длина водоема-охладителя составляет 8 км, средняя ширина — 1,8 км, максимальная глубина — 6 м, средняя глубина — 3 м. Площадь зеркала — 18 тыс. км². Для снижения минерализации водоема-охладителя проводится продувка, т. е. частичная замена объема водоема сбросом воды в Приплотинный плес Цимлянского водохранилища и закачкой свежей воды из того же плеса. Таким образом, на РоАЭС ежегодно «продувают» водоем-охладитель и обновляют объем 30 млн м³ цимлянской воды. В процессе работы АЭС забирает из водоема-охладителя воду, которая затем сбрасывается в подогретом состоянии по отводящему каналу обратно в водоем-охладитель, внося большое количество дополнительного тепла. Водоем-охладитель РоАЭС относится к молодым водоемам; его строительство прошло с 1986 по 1989 г., а в 2000 г. он был принят в эксплуатацию. В классификации водоемов по уровню тепловой нагрузки этот водоем-охладитель относится к среднему уровню подогрева, т. е. ко второму классу, где температура воды составляет 27–38 °С [8]. Температуры воды в диапазоне от 25 до 35 °С для большинства видов пресноводного зоопланктона оказываются близкими к пороговым. М.Л. Пидгайко с соавт. [10] считают, что температуры 28–30 °С в поверхностных слоях воды представляют собой рубеж, при переходе через который начинаются отрицательные явления, т. е. ухудшение качества воды и понижение продуктивности водоема.

В рамках соблюдения природоохранного законодательства РФ на РоАЭС ежегодно выполняется экологический мониторинг, одним из основных направлений которого является гидробиологический контроль водоема-охладителя. Изучение гидробионтов, существующих в водоемах подобного типа, важно как для оценки воздействия подогретых вод АЭС на природные сообщества, так и для характеристики особенностей их существования в специфических условиях. Качественные и количественные показатели зоопланктонного сообщества являются одними из важнейших характеристик экологического состояния водных экосистем. Целью данного исследования было изучение влияния подогретых вод после прохождения через агрегаты РоАЭС на

количественные и качественные характеристики зоопланктона в пространственно-временном аспекте и его распределения по акватории водоема в зависимости от степени искусственного подогрева.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения зоопланктона водоема-охладителя были пробы, отобранные в апреле, августе и октябре 2019 г. в следующих зонах (рис. 1):

- зона влияния цимлянских вод;
- зона сильного подогрева (начинается за сбросом воды из отводящего канала);
- зона умеренного подогрева;
- подводящий канал;
- отводящий канал.

В зоне, прилегающей к дамбе с Цимлянским водохранилищем, проводится закачивание цимлянских вод, с зоной влияния которых граничит подводящий канал. Зона сильного подогрева — это участок, расположенный непосредственно у места поступления подогретых вод из отводящего канала; она отличается наиболее сильной проточностью, перемешиванием всей толщи воды и полным размывом донных отложений. За этой зоной располагается зона более слабого или умеренного подогрева (сюда входит и дополнительная). Эти зоны в течение года различаются по температуре (табл. 1).

В подводящем канале, в зонах влияния цимлянских вод и слабого подогрева температура воды имела близкие значения. В зоне сильного подогрева и в отводящем канале температура воды была на 4–6° выше, чем в других.

Отбор проб зоопланктона проводили сетью Апштейна с диаметром ячеи конуса 0,064 мм, фильтруя на каждой станции по 100 л воды. Сгущенные пробы фиксировали 40%-ным формалином до концентрации в пробе 4 %.

Камеральную обработку проб проводили в лабораторных условиях с использованием стандартной количественно-весовой методики [11] с помощью камеры Богорова под стереоскопической лупой МБС-10. Для определения видовой принадлежности зоопланктона пользовались определителями зоопланктона [12–18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения зоопланктона водоема-охладителя РоАЭС в вегетационный период

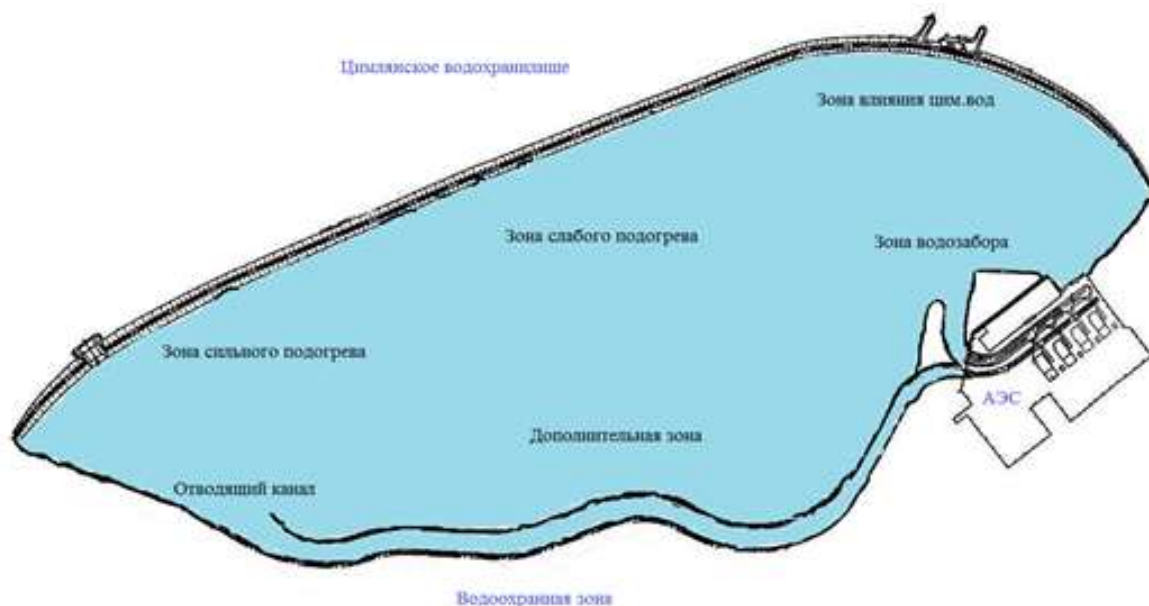


Рис. 1. Зоны отбора проб зоопланктона водоема-охладителя РоАЭС в 2019 г.

Fig. 1. Zooplankton sampling areas in the cooling pond of RoNPP in 2019

Табл. 1. Температура воды (°C) в водоеме-охладителе РоАЭС в 2019 г.

Table 1. Water temperature (°C) in the cooling pond of RoNPP in 2019

Месяц Month	Зоны отбора проб зоопланктона Zooplankton sampling areas				
	Подводящий канал Head race	Влияние Цимлянского водохранилища Area influenced by Tsimlyansk Reservoir waters	Слабый подогрев Low heating	Сильный подогрев High heating	Отводящий канал Tail race
Апрель April	24,2	24,3	25,1	30,0	31,5
Август August	27,1	26,2	25,7	31,8	34,0
Октябрь October	16,9	17,0	17,2	18,2	21,6
Средняя Average	22,7	22,5	22,7	26,7	29,0

2019 г. было обнаружено 30 видов, среди которых идентифицировано по 10 видов коловраток и веслоногих, 6 видов ветвистоусых ракообразных, а также 4 представителя временного планктона (табл. 2). Коловратки характеризовались доминированием видов р. *Brachionus* (Pallas, 1766). Среди ветвистоусых ракообразных основным видом была теплолюбивая *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin,

1848), среди веслоногих рачков — мелкие теплолюбивые виды родов *Mesocyclops* Sars, 1863 и *Microcyclops* Claus, 1893. Временные планктеры в основном были представлены личинками пластинчатожабрных моллюсков, единично отмечены личинки нематод и полихет, а также остракоды.

В весенний период в собственно водоеме-охладителе количественные показатели зоопланк-

Таблица 2. Видовой состав зоопланктона водоема-охладителя РоАЭС в 2019 г.
Table 2. Species composition of the zooplankton in the cooling pond of RoNPP in 2019

Название видов зоопланктона Name of the zooplankton species	Зоны водоема-охладителя / Cooling pond areas														
	Умеренного подогрева Medium heating		Подводящий канал Head race		Влияния цимлянских вод Area influenced by Tsimlyansk Reservoir waters		Сильного подогрева High heating		Отводящий канал Tail race						
	04	08	10	04	08	10	04	08	10	04	08	10			
	Месяцы отбора проб / Months of sampling														
	Rotifera														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. <i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. <i>Brachionus calyciflorus</i> v. <i>calyciflorus</i> (Pallas, 1766)	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
3. <i>Brachionus calyciflorus</i> v. <i>anuraeformis</i> (Brehm, 1909)	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-
4. <i>Brachionus calyciflorus</i> v. <i>amphiceros</i> (Ehrenberg, 1838)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
5. <i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
6. <i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
7. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-
8. <i>Keratella quadrata</i> (O.F. Müller, 1786)	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-
9. <i>Keratella valga</i> (Klausener, 1908)	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-
10. <i>Polyarthra remata</i> (Skorikov, 1896)	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Количество видов Number of species	3	4	1	5	4	2	2	7	3	2	4	3	3	4	1
	Copepoda														
11. <i>Acanthocyclops</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+
12. <i>Calanipeda aquaedulcis</i> (Kritsagin, 1873)	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+
13. <i>Cyclopoida</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14. <i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-
15. <i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
16. <i>Harpacticoidae</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
17. <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+

Таблица 2 (окончание)
Table 2 (finished)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18. <i>Mesocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+
19. <i>Microcyclops gracilis</i> (Lilljeborg, 1853)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20. <i>Microcyclops varicans</i> (Sars, 1863)	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Количество видов Number of species	4	3	6	3	3	6	2	4	6	3	2	6	3	3	5
Cladocera															
<i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Lephodora kindtii</i> (Focke, 1844)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Moina rectirostris</i> (Leydig, 1860)	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Количество видов Number of species	0	4	1	0	3	1	0	4	1	0	3	1	0	4	1
Временные планктеры / Temporary plankters															
Lamellibranchia личинки Lamellibranchia larvae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Nematoda личинки Nematoda larvae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Ostracoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Polychaeta личинки Polychaeta larvae	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Количество видов Number of species	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	2	2
Всего видов по сезонам Total number of species by season	8	12	10	9	10	10	5	16	11	6	9	11	7	13	9
Всего видов по зонам за вегетационный сезон Total number of species during a growing season, by area		20		20				19			15			21	

тона составляли 32345 экз./м³ по численности и 60,7 мг/м³ по биомассе (табл. 3). По зонам эти показатели изменялись значительно: численность варьировала от 3715 до 53493 экз./м³, а биомасса — от 23,9 до 153,3 мг/м³. Наибольшие значения отмечены в зоне влияния цимлянских вод, минимальные — в зоне сильного подогрева. Планктонная фауна представлена коловратно-копеподным комплексом. Основной биомассообразующей группой зоопланктона были веслоногие ракообразные, составляющие 91 % от общей биомассы; среди них доминировала *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880). Группа коловраток характеризовалась повсеместным интенсивным развитием вида *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), составляющего в этой группе, как по численности, так и по биомассе, около 90 %. Среди временных планктеров отмечены высокие значения численности личинок пластинчатожаберных моллюсков.

В отводящем канале количественные показатели зоопланктона были значительно ниже, чем в водоеме-охладителе. Так, численность зоопланктеров составляла 1826 экз./м³, а биомасса — 13,5 мг/м³. Среди коловраток доминировали виды *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783, *Keratella*

cochlearis (Gosse, 1851) и *K. quadrata* (O.F. Müller, 1786). Веслоногие ракообразные были представлены видами р. *Eurytemora* Giesbrecht, 1881. В группе меропланктона отмечены личинки пластинчатожаберных моллюсков, характеризующиеся низкими количественными показателями. В отводящем канале, как и в водоеме-охладителе, веслоногие ракообразные были основными в формировании биомассы зоопланктона и составляли 97 % от общей биомассы. В весенний период представители ветвистоусых ракообразных не обнаружены ни в водоеме-охладителе, ни в отводящем канале.

В летний период общая численность зоопланктеров в водоеме-охладителе осталась на прежнем уровне (31530 экз./м³), изменяясь в широких пределах по разным зонам от 9606 до 89905 экз./м³; биомасса увеличилась в 2 раза и составила 122,6 мг/м³, колеблясь от 46,0 до 207,2 мг/м³. Отмечены значительные изменения в развитии зоопланктона по группам. Так, наблюдалось интенсивное развитие коловраток, которые составляли 51 % от общей численности и 30 % от общей биомассы. Среди них доминировали *Brachionus calyciflorus calyciflorus* Pallas, 1766 и *Br. calyciflorus anuraeformis* (Brehm, 1909). Ветвистоусые ракообразные,

Таблица 3. Количественные показатели зоопланктона в водоеме-охладителе и отводящем канале РоАЭС в вегетационный период 2019 г. (N — численность, экз./м³; B — биомасса, мг/м³)

Table 3. Quantitative parameters of the zooplankton in the cooling pond and tail race of RoNPP during the growing season of 2019 (N is the abundance, ind./m³; B is the biomass, mg/m³)

Группа Group	Весна / Spring				Лето / Summer				Осень / Autumn			
	Водоем-охладитель Cooling pond		Отводящий канал Tail race		Водоем-охладитель Cooling pond		Отводящий канал Tail race		Водоем-охладитель Cooling pond		Отводящий канал Tail race	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Rotifera Rotifers	892	0,2	160	0,1	16030	37,0	1944	2,7	327	0,44	87	0,3
Cladocera Cladocerans	Не обн. Not found				3655	63,4	698	19,7	1454	43,5	131	5,2
Copepoda Copepods	15574	55,1	923	13,2	11431	21,9	4869	14,2	10634	61,5	2752	13,8
Прочие Others	15879	5,4	743	0,2	415	0,3	1114	0,2	7270	11,4	2380	5,3
Всего Total	32345	60,7	1826	13,5	31530	122,6	8625	36,8	19685	110,1	5350	24,6
Число видов Number of species	15		9		15		13		10		9	

которые не были обнаружены в весенний период, летом интенсивно развивались и составили 52 % от общей биомассы, основу которой формировала *D. brachyurum* (Liévin, 1848). Веслоногие ракообразные, как обычно в летний период, были представлены в основном мелкими теплолюбивыми видами рр. *Mesocyclops* и *Microcyclops*, но, несмотря на высокую численность, их роль в общей биомассе была невысока, поскольку они имеют невысокие индивидуальные массы. В целом распределение зоопланктона по акватории водоема-охладителя соответствовало весеннему периоду. Наибольшие значения численности и биомассы зоопланктеров отмечены в зоне влияния цимлянских вод.

В отводящем канале количественные показатели зоопланктона также увеличились по сравнению с весенним периодом, однако были значительно ниже, чем в водоеме-охладителе, и составили 8625 экз./м³ и 36,8 мг/м³, соответственно. Соотношение групп зоопланктона и доминирующих видов однотипно как в водоеме-охладителе в целом, так и в отводящем канале.

Осенью количественные показатели зоопланктона незначительно снизились и составляли в среднем по водоему-охладителю 19685 экз./м³ и 110,1 мг/м³, изменяясь от 5722 до 51829 экз./м³ и от 34,6 до 287,9 мг/м³, соответственно. Максимальные значения отмечены в зоне влияния цимлянских вод, минимальные — в зоне сильного подогрева. По сравнению с летним периодом закономерно изменилось соотношение в развитии групп зоопланктона. Так, основными в формировании общей биомассы зоопланктона водоема-охладителя стали веслоногие ракообразные, что характерно для осеннего периода. Их доля в общей биомассе составила 53 %, доля ветвистоусых ракообразных — 37 %. Коловратки, как обычно в осенний период, характеризовались низкими количественными показателями; среди них, как и в предыдущие периоды, доминировал *Br. calyciflorus calyciflorus*. Среди ветвистоусых ракообразных преобладал *D. brachyurum*, среди веслоногих ракообразных — мелкие теплолюбивые виды рр. *Mesocyclops* и *Microcyclops*.

В отводящем канале количественные показатели были значительно ниже, чем в водоеме-охладителе, и составили 5350 экз./м³ и 24,6 мг/м³, соответственно. Среди коловраток был отмечен только *Br. calyciflorus calyciflorus*, среди ветвистоусых — *D. brachyurum*, среди веслоногих доминировал

Mesocyclops leuckarti. Соотношение в развитии групп было таким же, как и в водоеме-охладителе.

Для оценки сходства видового разнообразия зоопланктона в водоеме-охладителе в целом и отводящем канале использовали индекс Жаккара [19, 20], который весной составил 0,60, летом — 0,59, осенью — 0,47 и в среднем за период исследования — 0,55, что свидетельствует о высоком сходстве сравниваемых сообществ.

В весенне-летний период в водоеме-охладителе в целом отмечены близкие значения по численности зоопланктона, а в летне-осенний — по биомассе. В отводящем канале значения этих показателей были значительно ниже, чем в водоеме-охладителе, и максимальные значения отмечены летом (рис. 2, 3).

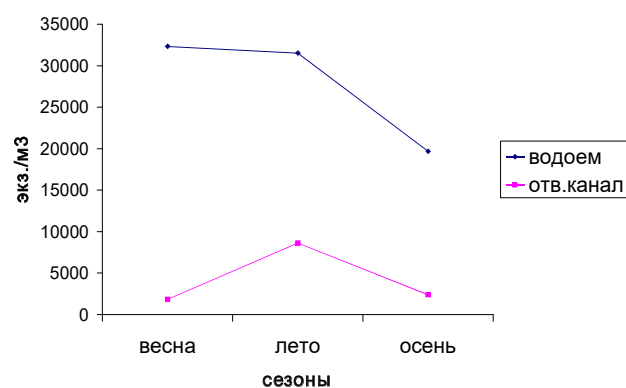


Рис. 2. Сезонная динамика численности зоопланктона в водоеме-охладителе РoАЭС в вегетационный период 2019 г.

Fig. 2. Seasonal dynamics of the zooplankton abundance in the cooling pond of RoNPP in the growing season of 2019

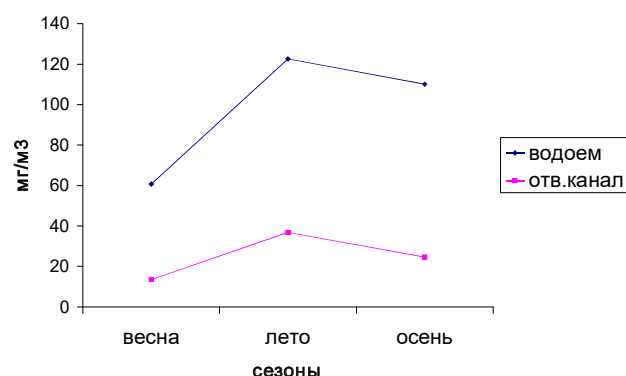


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы зоопланктона водоема-охладителя РoАЭС в вегетационный период 2019 г.

Fig. 3. Seasonal dynamics of the zooplankton biomass in the cooling pond of RoNPP in the growing season of 2019

В течение всего вегетационного периода в зоне влияния цимлянских вод наблюдались самые высокие значения численности и биомассы, которые в среднем составляли 65076 экз./м³ и 216,1 мг/м³, соответственно. Наши данные согласуются с результатами Горской и др. [9], полученными в Верхнем приплотинном плесе Цимлянского водохранилища, где численность зоопланктона составляла 23000 экз./м³, а биомасса — 383 мг/м³.

Зона сильного подогрева характеризовалась самыми низкими значениями количественных показателей; в среднем за вегетационный сезон численность здесь составила 6348 экз./м³, биомасса — 38,9 мг/м³.

Сравнение количественных показателей зоопланктеров водоема-охладителя и отводящего канала свидетельствует о том, что в течение всего вегетационного сезона численность и биомасса зоопланктона были значительно ниже в отводящем канале, чем в водоеме-охладителе в целом, что отмечено также в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС до ее остановки [19] и в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования зоопланктонного сообщества водоема-охладителя РоАЭС в вегетационный период 2019 г. показали, что его видовой состав включает 30 видов. В водоеме-охладителе в среднем за вегетационный сезон общая численность зоопланктона составляла 27853 экз./м³, а биомасса — 97,7 мг/м³; в отводящем канале эти значения были 5267 экз./м³ и 25,0 мг/м³, соответственно.

Сравнение количественных показателей зоопланктеров водоема-охладителя и отводящего канала свидетельствует о том, что в течение всего вегетационного сезона численность и биомасса зоопланктона были значительно ниже в отводящем канале, чем в водоеме-охладителе в целом.

Несмотря на повышенный по сравнению с естественными природными водоемами температурный фон, в водоеме-охладителе отмечена сезонная динамика развития зоопланктона, характерная для юга России. По-видимому, с одной стороны, собственно водоем-охладитель РоАЭС в значительной степени подвержен влиянию притока цимлянских вод, а с другой — теплые воды отводящего канала не создают высокого уровня «теплого загрязнения», в результате чего развитие зоопланктона происходит как в природном водоеме.

Отводящий канал и зона сильного подогрева закономерно характеризуются более низкими значениями количественных показателей зоопланктона. Это обусловлено повышенным температурным фоном, сильной проточностью и, вследствие этого, активным перемешиванием всей толщи воды, а также разрушающим воздействием в агрегатах АЭС. Таким образом, в водоеме-охладителе образуется только одна зона повышенного подогрева, непосредственно прилегающая к отводящему каналу, а на остальной части водоема-охладителя термические зоны не оказывают заметного влияния.

Соответственно, несмотря на значительную разницу в количественных показателях зоопланктона в собственно водоеме-охладителе и в отводящем канале, сброс подогретых вод не оказывает активного негативного влияния на зоопланктонное сообщество водоема-охладителя в целом, что выражается в видовом составе и естественной сезонной динамике количественных и качественных показателей зоопланктеров.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Сбор материала зоопланктона в водоеме-охладителе Ростовской АЭС проводил Начальник отдела государственного мониторинга биоресурсов и среды их обитания ФГБНУ «ВНИРО» Стрельченко О.В., за что автор выражает ему искреннюю благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов (обзор) // Труды Института биологии внутренних вод Академии наук СССР. 1975. Вып. 27 (30). С. 7–69.
2. Сергеева О.А. Сезонная динамика зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской атомной станции // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21, № 1. С. 32–36.
3. Животова Е.Н. Использование зоопланктона в биоиндикации теплового загрязнения водоемов-охладителей АЭС // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2007. № 1. С. 73–75.
4. Протасов А.А. Состав и распределение зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиологический журнал. 2004. Т. 40, № 1. С. 35–44.
5. Протасов А.А., Гулейкова Л.В. Разнообразие зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиологический журнал. 2011. Т. 47, № 1. С. 33–41.

6. Вехов Д.А. Рыбное население водоема-охладителя Ростовской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2012. Спецвып. 3. С. 35–42.
7. Макушенко М.Е., Кулаков Д.В., Верещагина Е.А. Зоопланктон Копорской губы Финского залива в зоне воздействия Ленинградской АЭС // Гидробиологический журнал. 2014. Т. 50, № 2. С. 3–15.
8. Афонина Е.Ю. Структура и распределение зоопланктона гидротермальной зоны водоемов-охладителей (Забайкальский край) // Амурский зоологический журнал. 2020. Т. 12, № 2. С. 117–131. doi: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-117-131.
9. Горская О.И., Яковлев С.В., Черешнева Л.А., Сапельников В.М. Результаты многолетнего биологического мониторинга в Цимлянском водохранилище в районе продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2017. № 2 (23). С. 7–20.
10. Пидгайко М.Л., Гринь В.Г., Поливанная М.Ф., Виноградская Т.А., Сергеева О.А. Итоги изучения гидробиологического режима пресных водоемов-охладителей юга УССР // Гидробиологический журнал. 1970. Т. 6, № 2. С. 23–26.
11. Студеникина Е.И., Мирзоян З.А., Мартынюк М.Л., Сафронова Л.М., Фроленко Л.Н., Шляхова Н.А., Афанасьев Д.Ф. Методы сбора и обработки гидробиологических проб // Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне / Под ред. С.П. Воловика, И.Г. Корпаковой. Краснодар: Изд-во АЗНИИРХ, Просвещение-Юг, 2005. С. 50–78.
12. Определитель организмов пресных вод СССР. Вып. 1. Пресноводные Calanoida СССР / Сост. В.М. Рылов. Л.: Изд-во Академии сельскохозяйственных наук, 1930. 288 с.
13. Бенинг А.Л. Кладоцеры Кавказа. Тбилиси: Грузмедгиз, 1941. 383 с.
14. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Материалы по среднему весу водных беспозвоночных бассейна Дона // Труды проблемных и тематических совещаний Зоологического института АН СССР. 1954. Вып. 2. С. 223–241.
15. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / Под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.
16. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные / Под ред. С.Я. Цалолыхина. СПб: Наука, 1995. 627 с.
17. Коровчинский Н.М. Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 410 с.
18. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолыхина. М.–СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
19. Пашкова О.В. Зоопланктон водоема-охладителя Чернобыльской АЭС до и после остановки станции // Гидробиологический журнал. 2009. Т. 45, № 5. С. 31–45.
20. Jaccard P. Distribution de la Flore Alpine le Bassin des Dranses et dans quelques régions voisines // Bulletin de la Societe Vaudoise des Sciences Naturelles. 1901. Vol. 37, no. 140. Pp. 241–272. doi: 10.5169/seals-266440.

REFERENCES

1. Mordukhay-Boltovskoy F.D. Problema vliyaniya teplovykh i atomnykh elektrostantsiy na gidrobiologicheskiy rezhim vodoemov (obzor) [Problems of the influence of thermal and nuclear power stations on the hydrobiological regime of water bodies (review)]. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the Institute of Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences], 1975, issue 27 (30), pp. 7–69. (In Russian).
2. Sergeeva O.A. Sezonnaya dinamika zooplanktona vodoema-okhladitelya Chernobyl'skoy atomnoy stantsii [Seasonal dynamics of zooplankton of the cooling pond of the Chernobyl Nuclear Power Plant]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal* [Hydrobiological Journal], 1985, vol. 21, no. 1, pp. 32–36. (In Russian).
3. Zhivotova E.N. Ispol'zovanie zooplanktona v bioindikatsii teplovogo zagryazneniya vodoemov-okhladiteley AES [The using of a zooplankton in bioindication of a warm pollution of cooling reservoirs]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], 2007, no. 1, pp. 73–75. (In Russian).
4. Protasov A.A. Sostav i raspredelenie zooplanktona vodoema-okhladitelya Khmel'nitskoy AES [Composition and distribution of zooplankton of the cooling pond of the Khmelnitskiy Nuclear Power Station]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal* [Hydrobiological Journal], 2004, vol. 40, no. 1, pp. 35–44. (In Russian).
5. Protasov A.A., Guleykova L.V. Raznoobrazie zooplanktona vodoema-okhladitelya Khmel'nitskoy AES [Zooplankton diversity in the cooling pond of the Khmelnitskiy NPS]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal* [Hydrobiological Journal], 2011, vol. 47, no. 1, pp. 33–41. (In Russian).
6. Vekhov D.A. Rybnoe naselenie vodoema-okhladitelya Rostovskoy AES [Fish assemblage in water cooling reservoir of Rostov NPP]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety], 2012, spec. issue 3, pp. 35–42. (In Russian).
7. Makushenko M.E., Kulakov D.V., Vereshchagina E.A. Zooplankton Koperskoy guby Finskogo zaliva v zone vozdeystviya Leningradskoy AES [Zooplankton of Koperskaya Bay of the Gulf of Finland in the zone of the influence of the Leningrad NPS]. *Gidrobiologicheskiy*

- zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 3–15. (In Russian).
8. Afonina E.Yu. Struktura i raspredelenie zooplanktona gidrotermal'noy zony vodoemov-okhladiteley (Zabaykal'skiy kray) [Zooplankton structure and distribution in the hydrothermal zone of cooling reservoirs (Trans-Baikal Territory)]. *Amurskiy zoologicheskii zhurnal [Amurian Zoological Journal]*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 117–131. doi: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-117-131. (In Russian).
 9. Gorskaya O.I., Yakovlev S.V., Cheresheva L.A., Sapelnikov V.M. Rezul'taty mnogoletnego biologicheskogo monitoringa v Tsimlyanskom vodokhranilishche v rayone produvki vodoema-okhladitelya Rostovskoy AES [Results of long-term biological monitoring in the Tsimlyansk Reservoir in the cooling pond purge of Rostov NPP]. *Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]*, 2017, no. 2 (23), pp. 7–20. (In Russian).
 10. Pidgayko M.L., Grin V.G., Polivannaya M.F., Vinogradskaya T.A., Sergeeva O.A. Itogi izucheniya gidrobiologicheskogo rezhima presnykh vodoemov-okhladiteley yuga USSR [Results of the investigation of hydrobiological regime of the freshwater cooling ponds in the Southern USSR]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 1970, vol. 6, no. 2, pp. 23–26. (In Russian).
 11. Studenikina E.I., Mirzoyan Z.A., Martynyuk M.L., Safronova L.M., Frolenko L.N., Shlyakhova N.A., Afanasyev D.F. Metody sbora i obrabotki gidrobiologicheskikh prob [Methods of collection and processing of hydrobiological samples]. In: *Metody rybokhozyaystvennykh i prirodookhrannykh issledovaniy v Azovo-Chernomorskom bassejne [Methods of fisheries and conservation research in the Azov-Black Sea Basin]*. S.P. Volovik, I.G. Korpakova (Eds.). Krasnodar: AzNIIRKH Publ., Prosveshcheniye-Yug [Awareness-South], 2005, pp. 50–78. (In Russian).
 12. Opredelitel' organizmov presnykh vod SSSR. Vyp. 1. Presnovodnye Calanoida SSSR [Identification guide to freshwater organisms of the USSR. Issue 1. Freshwater Calanoida of the USSR]. V.M. Rylov (Ed.). Leningrad: Akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk [Academy of Agriculture Sciences] Publ., 1930, 288 p. (In Russian).
 13. Bening A.L. Kladotsery Kavkaza [Cladocerans of the Caucasus]. Tbilisi: Gruzmedgiz [Medical Publishing House of the Georgian Republic], 1941, 383 p. (In Russian).
 14. Mordukhay-Boltovskoy F.D. Materialy po srednemu vesu vodnykh bespozvonochnykh basseyna Dona [Materials on average weight of invertebrates of the Don Basin]. *Trudy problemnykh i tematicheskikh soveshchaniy Zoologicheskogo instituta AN SSSR [Proceedings of the Problem-Solving and Thematic Meetings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences]*, 1954, issue 2, pp. 223–241. (In Russian).
 15. Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR [Guide to the freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. L.A. Kutikova, Ya.I. Starobogatov (Eds.). Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1977, 510 p. (In Russian).
 16. Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy. T. 2. Rakoobraznye [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands. Vol. 2. Crustacea]. S.Ya. Tsalolikhin (Ed.). Saint-Petersburg: Nauka [Science], 1995, 627 p. (In Russian).
 17. Korovchinskiy N.M. Vetvistousye rakoobraznye otryada Ctenopoda mirovoy fauny (morfologiya, sistematika, ekologiya, zoogeografiya) [Cladocerans of the order Ctenopoda of the world fauna (morphology, systematics, ecology, biogeography)]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [KMK Scientific Press Ltd.], 2004, 410 p. (In Russian).
 18. Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. T. 1. Zooplankton [Guide of freshwater zooplankton and zoobenthos of European Russia. Vol. 1. Zooplankton]. V.R. Alekseev, S.Y. Tsalolikhin (Eds.). Moscow-Saint Petersburg: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [KMK Scientific Press Ltd.], 2010, 495 p. (In Russian).
 19. Pashkova O.V. Zooplankton of the cooling pond of the Chernobyl NPS prior and after its removal from service. *Hydrobiological Journal*, 2010, vol. 46, issue 1, pp. 31–45. doi: 10.1615/HydrobJ.v46.i1.30.
 20. Jaccard P. Distribution de la Flore Alpine le Bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Societe Vaudoise des Sciences Naturelles*, 1901, vol. 37, no. 140, pp. 241–272. doi: 10.5169/seals-266440.

Поступила 09.02.2021

Принята к печати 28.06.2021