

УДК 574.632:574.633

*М. Е. Макушенко, Д. В. Кулаков, Е. А. Верещагина*

**ЗООПЛАНКТОН КОПОРСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО  
ЗАЛИВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ  
АЭС**

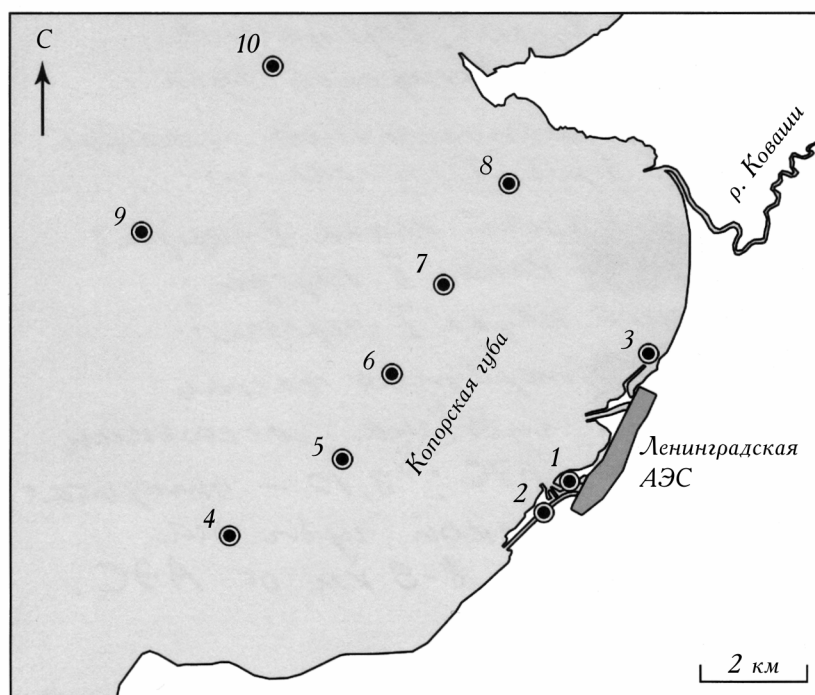
В результате воздействия Ленинградской АЭС на экосистему Копорской губы, в прибрежной зоне, примыкающей к сбросным каналам, в зоопланктоне наблюдается обеднение видового состава, сокращение численности и биомассы, упрощение трофической структуры сообщества. Среди доминантного комплекса видов массового развития достигают эвритермные и эвригалинные, тогда как stenothermные и stenogalinные виды выпадают из сообщества, либо их обилие значительно сокращается. Рассмотрено изменение структуры зоопланктона в пространстве по мере удаления от места сброса ЛАЭС в сторону открытой части Копорской губы.

*Ключевые слова:* зоопланктон, Ленинградская АЭС, Копорская губа Финского залива, тепловое воздействие, антропогенное воздействие, сбросные воды.

Копорская губа, будучи частью акватории Финского залива, в настоящее время испытывает высокую антропогенную нагрузку, связанную с воздействием предприятий атомно-промышленного комплекса и предприятий городской инфраструктуры (г. Сосновый Бор), расположенных на морском побережье. Использование больших объемов морской воды в охлаждающем цикле действующей Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС), вынос в залив речных вод, загрязненных бытовыми веществами, эксплуатация очистных сооружений в значительной степени нарушают естественный режим водного объекта. В этих условиях весьма актуальной проблемой является оценка воздействия антропогенных факторов на биоту Копорской губы, в частности на зоопланктон.

Одним из значимых факторов антропогенного воздействия на биоту Копорской губы является поступление теплых сбросов ЛАЭС, способствующее «термическому эвтрофированию» водоема [5, 3]. Годовой расход охлаждающей воды превышает условный объем Копорской губы (2,8 км<sup>3</sup>), достигая 4,4—5,3 км<sup>3</sup>. Это позволяет говорить о том, что ЛАЭС является мощным фактором, определяющим формирование гидродинамического, химического и биологического режима прибрежных вод [23].

© М. Е. Макушенко, Д. В. Кулаков, Е. А. Верещагина, 2014



1. Схема расположения станций отбора проб: 1 — водозаборный канал II очереди; 2 — сбросной канал II очереди; 3 — сбросной канал I очереди; 4—8 — открытая часть Копорской губы на расстоянии 3—5 км от АЭС; 9, 10 — открытая часть Копорской губы на расстоянии 8—9 км от АЭС.

Цель работы — выявление особенностей развития и функционирования зоопланктона в условиях теплового воздействия Ленинградской АЭС, а также оценка процессов самоочищения водоема.

**Материал и методика исследований.** Мониторинг экосистемы Копорской губы Финского залива в районе воздействия ЛАЭС осуществляли ежемесячно с мая по сентябрь в период 2010—2012 гг. Исследования проводили на водозаборном и сбросных каналах атомной станции, а так же в открытой части Копорской губы (рис. 1).

Воду для гидрохимического анализа отбирали в пластиковые и стеклянные бутылки на прибрежных станциях на расстоянии 1,5—3,0 м от берега, а также в открытой части Копорской губы. Анализ отобранных проб проводили в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга (НПО «Тайфун» и ЗАО «Региональный аналитический центр Механобр инжиниринг аналит») по стандартным методикам.

Отбор проб зоопланктона в открытой части Копорской губы осуществляли с помощью планктонной сети Джеди (размер ячеек 64 мкм). В прибрежной зоне пробы отбирали путем фильтрации 50 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм. Фиксацию производили спиртом до крепости пробы 70°. Камене-

ральную обработку проводили в Санкт-Петербургском отделении Института геоэкологии РАН по стандартной методике [11] с использованием соответствующих определителей [4, 8, 10, 19]. Зоопланктон оценивали по количеству видов, численности ( $N$ ), биомассе ( $B$ ), доле таксономических групп от общей численности и биомассы (%). Видовое разнообразие сообществ определяли по информационному индексу Шеннона — Уивера, который рассчитывали по биомассе ( $H_B$ , бит/г) и численности ( $H_N$ , бит/экз.) [15], и по индексу сапробности Пантле — Букк ( $S$ ). Для оценки трофического статуса водоемов использовали фаунистический коэффициент трофности ( $E$ ) [14]. Доминантные виды выделяли по относительной численности и биомассе, принимая за нижнюю границу доминирования обилие  $\geq 10\%$  от суммарного количества.

### *Результаты исследований*

Интенсивность биологических процессов, протекающих в водной среде, в значительной степени определяется гидрофизическими и гидрохимическими особенностями водного объекта. Поэтому изучение данных характеристик дает достаточно полное представление о состоянии водной экосистемы.

В результате исследования было выяснено, что воды Копорской губы относятся к группе солоноватых олигогалобных эстуарных вод. В среднем соленость вод Копорской губы составляла 2,4‰, с возрастанием данного показателя в период летней межени (3,0‰) и минимальными значениями (1,7‰) в весенний период, при повышенном речном стоке.

В период исследований наблюдалась однородность величины рН (по глубине и площади) вод Копорской губы, которая составляла в среднем 7,8. Для вод водозаборных и сбросных каналов ЛАЭС во все сезоны была характерна пониженная реакция рН (7,5) по отношению к фоновым значениям.

Воды Копорской губы эвтрофны из-за довольно высокой нагрузки биогенными веществами (фосфором и азотом), поступающими в акваторию водоема с речным стоком. Из всего разнообразия соединений азота и фосфора наиболее лабильными и доступными для питания водных организмов являются нитраты и фосфаты, определяемые в ходе гидрохимического анализа воды. В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме. Концентрация нитратов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям: ее увеличение наблюдается в осенний период, а максимальные значения — зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта [6].

В воде рек, впадающих в Копорскую губу, зафиксированы единичные превышения предельно допустимой концентрации веществ (по рыбохозяйственным нормативам) по содержанию фосфатов и нитрит-анионов, содержание нитрат-аниона в воде также было высоко и варьировало от 0,6 мг/дм<sup>3</sup> в летний период до 5,7 мг/дм<sup>3</sup> в начале марта.

Для вод водозаборных и сбросных каналов ЛАЭС характерно высокое содержание соединений азота, часто превышающее предельно допустимую концентрацию (ПДК) (до 0,3 мг/дм<sup>3</sup> содержания нитрит-аниона). Хотя в водах Копорской губы наблюдались превышения ПДК по содержанию соединений азота (до 0,24 мг/дм<sup>3</sup> содержания нитрит-аниона), их нельзя назвать систематическими. Превышений ПДК по содержанию нитратов и аммонийного азота в воде зафиксировано не было.

Воды Копорской губы, как открытого водного объекта с интенсивным водообменном, загрязнены в меньшей степени. В период развития фитопланктона содержание соединений азота в воде снижалось, осенью — увеличивалось. Достаточно высокое содержание аммония в водах Копорской губы (до 0,23 мг/дм<sup>3</sup> азота аммонийного), скорее всего, связано с поступлением большого количества биогенных веществ с речным стоком и, в частности, со сбросами хозяйственно-бытовых вод в р. Коваши.

В водах Копорской губы максимальные значения БПК<sub>5</sub> наблюдались в прибрежной зоне (до 25 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) в районе водозабора и отводящего канала ЛАЭС, а также в устье р. Коваши (13 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Во всех точках наблюдения также были зарегистрированы крайне высокие показатели ХПК (в среднем от 30 до 88 мг О/дм<sup>3</sup>), что говорит о сильном воздействии хозяйственной деятельности на воды Копорской губы.

Величины СПАВ и содержание нефтепродуктов не превышали предельно-допустимых значений. По результатам натурных исследований, содержание взвешенных веществ в водах Копорской губы региона ЛАЭС в среднем было невелико (до 1,0—1,5 мг/дм<sup>3</sup>), с нерегулярными единичными значениями до 8,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Загрязнение вод Копорской губы тяжелыми металлами было не постоянно: в водах сбросных и водозаборных каналов ЛАЭС и Копорской губы зафиксированы единичные превышения ПДК по содержанию меди, кобальта, свинца. Содержание растворимых форм остальных изученных микроэлементов (ртуть, никель, хром, кадмий, мышьяк) удовлетворяло нормативным требованиям.

Содержание железа в водах Копорской губы связано прежде всего с поступлением речных вод с заболоченных водосборов рек Коваши и Систа. Таким образом, динамика поступления соединений железа в Копорскую губу связана с динамикой водности рек в различные фазы водного режима. Несмотря на превышение ПДК по содержанию железа, данная ситуация характерна для речных вод вследствие высокой степени заболоченности водосборов, а значит, и достаточно высокого содержания железа в прибрежной части Копорской губы (до 0,1 мг/дм<sup>3</sup> железа общего). Воды в сбросных и водозаборных каналах действующей ЛАЭС характеризовались повышенным по отношению к водам Копорской губы содержанием железа (до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> железа общего).

Температура воды — важнейший фактор, влияющий на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процес-

сы, от которого в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. В Копорской губе наблюдалось существенное увеличение температуры воды в поверхностном слое в районе расположения сбросных каналов ЛАЭС. В зимние месяцы температура воды в сбросном канале составляла не менее 13—15°C, а на водозаборе не снижалась ниже 3°C. В летние месяцы в отдельные годы температура сбросных вод достигала 30—35°C. В среднем же по Копорской губе температура воды составляла 10,9°C в начале июня и 18°C — в середине августа 2012 г. Считается, что за период работы ЛАЭС средняя температура воды в губе повысилась, однако полных данных по термическому режиму водного объекта на данный момент не существует [10].

Средняя за год величина насыщения кислородом вод Копорской губы составляла 115—120%. Такое высокое содержание кислорода в совокупности с пониженным количеством фосфатов (0—3 мкг/дм<sup>3</sup>) свидетельствует об интенсивном развитии фитопланктона в Копорской губе и обеспечивает хорошие условия для жизни гидробионтов.

Всего за период исследований в Копорской губе было обнаружено 48 видов планктонных беспозвоночных, среди которых Rotifera — 19, Copepoda — 12, Cladocera — 17 видов.

Наибольшее видовое разнообразие зоопланктона обнаруживалось в открытой части Копорской губы на расстоянии 3—5 и 8—9 км от АЭС. Самым бедным видовым составом характеризовались сбросные каналы ЛАЭС, где количество видов было в 1,2—1,6 раза ниже, чем в водах водозаборного канала.

Доминирующими по численности и биомассе видами зоопланктона в открытой части Копорской губы были коловратки: *Anuraeopsis fissa* Gosse, *Euchlanis dilatata lucksiana* Hauer, *Keratella quadrata platei* Jagerskiold, *K. cochlearis baltica* Imhof, *Polyarthra trigla* Ehrenberg, *Notholca acuminata* Ehrenberg, *Synchaeta* sp. Ehrenberg, *Asplanchna priodonta* (Gosse); ветвистоусые: *Bosmina obtusirostris maritima* P.E.Müller, *B. longirostris* O.F.Müller, *Daphnia cucullata* Sars, *Pleopis poliphemoides* (Leuckart) и веслоногие ракообразные: *Eurytemora lacustris* Poppe и ювенильные особи Calanoida и Cyclopoida.

В водозаборном и сбросных каналах ЛАЭС состав доминирующих по численности и биомассе видов был сходен, но число доминантов было ниже, чем в открытой части Копорской губы. Здесь наблюдалось доминирование мелких коловраток: *Keratella cochlearis baltica* и *K. quadrata platei*; ветвистоусых: *Bosmina obtusirostris maritima*, *B. longirostris*, *Pleopis polyphemoides* и веслоногих ракообразных: *Eurytemora lacustris* и ювенильных особей Calanoida и Cyclopoida.

Количество видов коловраток в сбросных каналах АЭС было заметно выше, чем ракообразных. В зоне теплового воздействия атомной станции, по сравнению с открытой частью Копорской губы, отсутствовали такие виды, как *Sida crystallina* (O.F.Müller), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin), *Lepidodora kindtii* (Focke), *Cercopagis pengoi* Ostroumov, *Bosmina coregoni* Baird,

*Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski), *Cyclops scutifer* Claus, *Macrocyclus albidus* (Jurine), *Temora longicornis* (O.F.Müller), *Paracyclops affinis* (Sars), *Asplanchna priodonta*. Эти представители зоопланктона испытывали наиболее сильное повреждающее воздействие при прохождении через охлаждающие агрегаты атомной станции.

Следует также отметить виды, встречающиеся как в зоне теплового воздействия атомной станции, так и в открытой части Копорской губы — это коловратки: *Keratella cochlearis baltica*, *K.c.cochlearis*, *Keratella quadrata*, *K.q.platei*, *Notholca acuminata*, *Polyarthra trigla* и ракообразные: *Acartia tonsa* Dana, *Eurytemora affinis* (Poppe), *Eu. lacustris*, *Cyclops vicinus* Uljanin, *Mesocyclops leuckarti* Claus, *Bosmina obtusirostris maritima*, *Daphnia cristata* Sars, *Pleopis polyphemoides*.

В водозаборном канале атомной станции средняя за период исследований численность зоопланктона составляла  $42,8 \pm 9,0$  тыс. экз/м<sup>3</sup>. В водах, прошедших через охлаждающую систему атомной станции, по сравнению с водозабором, численность сокращалась в 2,2—2,6 раза (таблица), при этом температура сбрасываемой воды в течение вегетационного сезона в среднем была выше температуры воды водозаборного канала на 8,0° (рис. 2).

Численность зоопланктона открытой части Копорской губы варьировала в пределах от 40,0 до 165,8 тыс. экз/м<sup>3</sup> в разные периоды исследований. Наблюдалось закономерное увеличение численности планктонных беспозвоночных по мере удаления от АЭС. Так, на расстоянии 3—5 км численность возрастала в 4 раза, на расстоянии 8—9 км — в 6 раз, по сравнению с усредненными данными по сбросным каналам (см. таблицу).

Биомасса зоопланктона открытой части Копорской губы в период исследования варьировала от 0,057 до 2,986 г/м<sup>3</sup>, наибольшие ее значения были зарегистрированы на расстоянии 3—5 км от АЭС. В водозаборном канале биомасса зоопланктона составляла в среднем  $1,05 \pm 0,28$  г/м<sup>3</sup>. В водах, прошедших через систему охлаждения электростанции, по сравнению с водозабором, биомасса уменьшалась в 5 раз (см. таблицу). Наибольшие различия в численности и биомассе зоопланктона водозаборного и сбросных каналов АЭС наблюдались в начале и в конце вегетационного периода; в середине лета, при максимальном прогреве воды, различия по численности и биомассе были наименьшими (см. рис. 2).

Во всех точках наблюдения, расположенных в открытой части Копорской губы, в зоопланктоне по численности преобладали Rotifera (60,5—68,5%). В водозаборном канале в течение всего вегетационного периода основу численности составляли Copepoda (47,0%). В сбросных каналах атомной станции, по сравнению с водозабором, наблюдалось сокращение численности ракообразных, за счет чего в сообществе первенствовали коловратки (53,4—63,7%) (см. таблицу).

По соотношению биомассы таксономических групп в среднем за период исследований в каналах ЛАЭС лидировали Copepoda (42,1—66,3%), однако, в водах Копорской губы их доля в общей биомассе зоопланктона сокраща-

Структурные показатели зоопланктона Копорской губы в районе ЛАЭС

Показатели	Таксоны	1	2	3	Зона — I	Зона — II
Общее количество видов	Rotifera	12	11	8	19	15
	Copepoda	11	7	7	9	8
	Cladocera	11	9	6	15	15
	Всего	34	27	21	43	38
Среднее количество видов в пробе	Rotifera	5,500 ± 1,800	3,000 ± 0,800	3,000 ± 0,700	4,900 ± 1,400	6,500 ± 3,000
	Copepoda	4,000 ± 1,000	2,800 ± 1,300	3,000 ± 1,400	2,900 ± 1,000	4,800 ± 1,100
	Cladocera	4,200 ± 1,400	2,500 ± 0,800	2,300 ± 0,800	3,600 ± 1,200	7,800 ± 4,800
	Всего	13,70 ± 4,100	8,300 ± 2,200	8,300 ± 2,800	11,50 ± 3,200	19,00 ± 8,400
Средняя численность ( $N$ , тыс. экз/м <sup>3</sup> )		42,80 ± 9,000	16,40 ± 10,80	19,70 ± 18,20	77,70 ± 29,20	103,7 ± 44,30
Средняя биомасса ( $B$ , г/м <sup>3</sup> )		1,050 ± 0,280	0,270 ± 0,110	0,230 ± 0,230	1,080 ± 0,490	0,830 ± 0,550
Доля в средней численности (%)	Rotifera	33,20 ± 17,20	63,70 ± 27,50	53,40 ± 20,80	60,50 ± 10,20	68,50 ± 19,00
	Copepoda	47,00 ± 22,10	23,70 ± 21,40	20,90 ± 16,40	22,40 ± 4,900	16,80 ± 8,000
	Cladocera	19,90 ± 8,400	12,60 ± 11,80	25,70 ± 11,30	17,10 ± 8,200	14,70 ± 22,50
Доля в средней биомассе (%)	Rotifera	5,200 ± 3,800	10,10 ± 9,200	11,10 ± 6,100	2,600 ± 5,700	12,10 ± 4,900
	Copepoda	64,90 ± 10,90	66,30 ± 17,90	42,10 ± 17,10	22,50 ± 11,40	26,40 ± 15,50
	Cladocera	29,90 ± 9,300	23,60 ± 17,30	46,90 ± 21,60	74,90 ± 14,00	61,40 ± 13,50
Индекс Шеннона — Уивера ( $H_N$ , бит/экз)		2,100 ± 0,100	2,000 ± 0,400	2,100 ± 0,200	1,900 ± 0,300	2,200 ± 0,100



Продолжение табл.

Показатели	Таксоны	1	2	3	Зона — I	Зона — II
Индекс Шеннона — Уивера ( $H_B$ , бит/г)		1,400 ± 0,100	1,400 ± 0,100	1,400 ± 0,300	1,500 ± 0,300	1,400 ± 0,800
Индекс трофности Мяэметса ( $E$ )		1,300 ± 0,500	1,400 ± 0,600	1,500 ± 0,500	2,400 ± 0,500	1,300 ± 0,300
Индекс сапробности Пантле — Букк ( $S$ )		1,700 ± 0,100	1,600 ± 0,010	1,500 ± 0,060	1,600 ± 0,030	1,600 ± 0,060

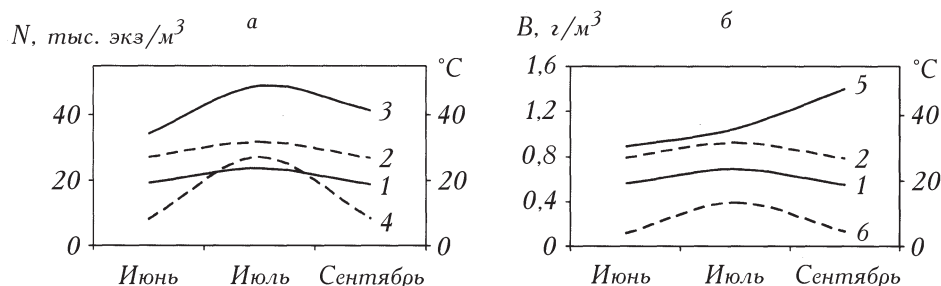
Примечание. 1 — водозаборный канал II очереди; 2 — сбросной канал II очереди; 3 — сбросной канал I очереди; Зона — I — в среднем по станциям 4, 5, 6, 7, 8; Зона — II — в среднем по станциям 9, 10. Средние значения даны за весь период исследования.

лась, а доля Cladocera (61,4—74,9%) увеличивалась (см. таблицу), что свидетельствует о протекающем процессе эвтрофирования в данной акватории.

В целом, в водах, прошедших через охлаждающую систему ЛАЭС, наблюдалось сокращение обилия всех групп зоопланктона. Особенно чувствительными к воздействию подогретых вод оказались веслоногие ракообразные: их численность и биомасса после прохождения через охлаждающую систему атомной станции сокращались в 5 раз. По сравнению с водозабором, численность Cladocera в сбросных каналах была ниже в 2,3 раза, биомасса — в 3,5 раза. Наименьшее влияние повышенных температур испытывали коловратки: после прохождения через циркуляционную систему АЭС их численность и биомасса сокращались всего в 1,3 и 2,0 раза, соответственно. В открытой части Копорской губы наблюдалось значительное увеличение численности коловраток и биомассы Cladocera (по сравнению с каналами ЛАЭС — соответственно в 5 и 4 раза).

Значения индекса видового разнообразия Шеннона — Уивера, рассчитанного по численности зоопланктона, в водах Копорской губы на расстоянии 8—9 км от ЛАЭС в среднем составляли 2,2 бит/экз., в водозаборном и сбросных каналах атомной станции — в среднем 2,1 бит/экз. Наименьшие значения этого параметра наблюдались в водах на расстоянии 3—5 км от ЛАЭС — в среднем 1,9 бит/экз. Значения индекса Шеннона — Уивера, рассчитанного по биомассе зоопланктона, в открытой части Копорской губы и в каналах ЛАЭС были примерно равны и в среднем составляли 1,4 бит/г., что соответствует водоемам эвтрофно-мезотрофного типа [1]. Средние значения коэффициента трофности характеризуют исследованные воды как эвтрофные. Наибольшие значения этого показателя регистрировали на расстоянии 3—5 км от ЛАЭС, где происходит накопление органического вещества, и, как следствие, процесс эвтрофирования. По величине индек-





2. Сезонная динамика температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ), численности (а) и биомассы (б) зоопланктона в каналах ЛАЭС. Водозаборный канал: 1 — температура; 2 — численность; 3 — биомасса; в среднем по сбросным каналам: 4 — температура; 5 — численность; 6 — биомасса.

са сапробности, значения которого варьировали от 1,5 до 1,7, воды Копорской губы и каналов ЛАЭС соответствуют  $\beta$ -мезосапробной зоне (умеренно чистая вода).

### Обсуждение результатов исследований

Исследования теплового воздействия атомных станций на биоту водоемов — приемников сбросных вод часто свидетельствуют о следующих тенденциях, наблюдающихся в сообществах зоопланктона [9, 17].

Показатели обилия зоопланктона (численности и биомассы) снижаются при увеличении температуры воды на  $6\text{--}10^{\circ}$ , что объясняется угнетающим воздействием перегрева воды. При подобном увеличении температуры в сообществе зоопланктона отмечается замещение холодолюбивых видов эвритермными и теплолюбивыми.

При незначительном повышении температуры воды (на  $1,5\text{--}3,0^{\circ}$  от фоновых значений) также отмечают изменение структурных показателей зоопланктона. Однако направленность и величина отклика организмов зоопланктона на незначительную термофикацию зависят от комплекса разнообразных условий и зачастую неоднозначны. Например, при незначительных повышениях температуры отмечается стимуляция количественного роста теплолюбивых видов.

В водоемах, служащих приемниками сбросных вод, еще одним важным аспектом формирования зоопланктона является изменение его количественной структуры. Смена крупных форм на мелкие вызвана двумя причинами: во-первых, гибелью части зоопланктона при прохождении через водозаборные устройства АЭС, во-вторых интенсивным выеданием их рыбами (что часто отмечается в водоемах с интенсивным рыбохозяйственным использованием — при выращивании рыб с искусственным кормлением, например в водосбросных каналах).

Нередко в водоемах — приемниках сбросных вод наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона соответствуют зонам умеренного и слабого подогрева [9].

На основании общего анализа данных натурных исследований Копорской губы по степени влияния подогретых вод атомной станции можно условно выделить три зоны: зону, непосредственно примыкающую к сбросным каналам, зону на расстоянии 3—5 км от ЛАЭС и зону открытой части Копорской губы на расстоянии 8—9 км от АЭС. В зависимости от направления и скорости ветра конфигурация и площадь зоны подогрева может изменяться. В непосредственной близости от сбросных каналов, по сравнению с «фоновыми» водами, различия по температуре могут достигать 15° (например, в ранневесенний период). Такой перепад является шоковым для большинства представителей зоопланктона и негативно влияет на условия их существования и нормального развития. По сравнению с зоопланктоном водозаборного канала в данной зоне наблюдалось обеднение видового состава в 1,2—1,6 раза, снижение численности в 2,2—2,6 раза и сокращение биомассы в 5 раз. Подобная реакция зоопланктона ожидаема и подтверждается многочисленными литературными данными [2, 9, 12, 13, 16, 17, 20—22]. В системе охлаждения ЛАЭС происходит гибель части организмов зоопланктона. В результате термального загрязнения наблюдается уменьшение средних размеров особей и, как следствие, — ухудшение состояния кормовой базы рыб; кроме того, из-за поступления в водоем дополнительного количества органических веществ в результате гибели животных происходит эвтрофирование водоема — приемника сбросных вод [21]. Увеличение температуры воды на 6—10°, по сравнению с фоновыми показателями, приводит к замещению холодолюбивых видов эвритермными и теплолюбивыми [17]. Так, в зоопланктоне зоны, примыкающей к сбросным каналам ЛАЭС, наблюдалось массовое развитие эвритермного и эвригалинного вида *Acartia tonsa*, доля численности и биомассы которого в сбросном канале достигала 61,5 и 77,0%, в то время как стенотермный и стеногалинный *Pseudocalanus elongatus* (Воеск), ранее многочисленный в зоопланктоне Балтики [18], обнаружен не был. В зоне сброса подогретых вод постоянно встречались метанауплиусы и более взрослые личинки теплолюбивых усоногих раков рода *Balanus*. Довольно часто встречался понто-каспийский вид-вселенец *Cercopagis pengoi*, впервые зарегистрированный в акватории Балтийского моря в 1992 г. [24]. В зоне воздействия теплых вод происходило упрощение трофической структуры сообщества: крупные Cladocera и Calanoida замещались мелкими грубыми фильтраторами — коловратками и мелкими особями Cladocera [4, 8, 10, 19]. Доля численности коловраток *Polyarthra trigla* в сообществе на некоторых станциях в открытой части Копорской губы достигала 78,6%, а доля биомассы *Bosmina longirostris* в июле на большинстве станций достигала 64,9—90,0%. Быстрый подогрев воды и травмирование гидробионтов в результате прохождения их с охлаждающей водой через насосные установки и конденсорные трубки атомной станции приводит к накоплению ниже водосброса погибающих или мертвых животных [7]. Погибшие организмы превращаются в детрит, который вместе с подогретыми водами поступает обратно в водоем — приемник сбросных вод, что способствует повышению трофности водоема. В водах сбросных каналов отсутствовали коловратки рода *Asplanchna* и крупные виды ветвистоусых ракообразных: *Leptodora kin-*

*dtii*, *Cercopagis pengoi*, *Sida crystallina*, *Diaphanosoma brachyurum*. Эти организмы обладают вытянутой формой тела или выступающими придатками и конечностями, поэтому они в большей степени испытывают повреждающее действие циркуляционной системы электростанции.

Таким образом, показано, что на сообщество зоопланктона водоема — приемника сбросных вод ЛАЭС в зоне, непосредственно примыкающей к сбросным каналам, действует комплекс факторов, главным образом температурный и механический.

Однако протяженность зоны такого экстремального влияния не превышает нескольких сотен метров от сбросных каналов ЛАЭС. Так как объемы теплых сбросов атомной станции незначительны по сравнению с объемами вод Финского залива, происходит интенсивное перемешивание водных масс, и по мере отдаления от сбросных каналов ЛАЭС мы наблюдаем снижение воздействия подогретых вод. В зоне на расстоянии 3—5 км от ЛАЭС, где изменения температуры не превышают в среднем  $1,0^{\circ}$  от фоновых значений, наши наблюдения показали крайне незначительные изменения видового состава, численности и биомассы зоопланктона.

Сильного изменения солености вод Копорской губы в результате воздействия ЛАЭС не наблюдалось: средние по ближней зоне ее значения уменьшались всего на 0,2—0,4%. В других зонах эти изменения оказывались еще меньше. Взвешенные вещества, содержащиеся в сбросах ЛАЭС, также практически не оказывали влияния на зоопланктон Копорской губы, так как, вследствие крупных размеров, они выпадали на дно водоема в ближней зоне от устьев сбросных каналов.

### **Заключение**

В результате теплового воздействия Ленинградской АЭС на экосистему Копорской губы Финского залива, в водоеме — приемнике сбросных вод образовалась зона интенсивного воздействия на зоопланктон. Здесь отмечено обеднение видового состава, сокращение численности и биомассы (в среднем соответственно на 59 и 71%), снижение выравненности и упрощение структуры сообщества. Среди доминантного комплекса видов в районе сброса подогретых вод массового развития достигали эвритермные и эвригалинные виды (многие из которых имеют обширные ареалы или являются космополитами), тогда как стено-термные и стеногалинные виды выпадали из сообщества, либо их обилие значительно сокращалось.

Протяженность зоны интенсивного влияния подогретых вод не превышало расстояния нескольких сотен метров от сбросных каналов ЛАЭС. За период исследований на расстоянии 3—5 км от АЭС изменений в структуре сообщества зоопланктона не выявлено. Также не выявлено воздействия на зоопланктон Копорской губы изменения солености и содержания взвешенных веществ в сбросных водах.

\*\*

Внаслідок впливу Ленінградської АЕС на екосистему Копорської губи, в прибережній зоні, яка примикає до скидових каналів, у зоопланктоні спостерігається збіднення видового складу, скорочення чисельності та біомаси, спрощення трофічної структури угруповання. Серед домінуючого комплексу видів масового розвитку досягають евритермні і евригалінні, в той час як стенотермні та стеногалінні види випадають із угруповання, або їхня рясність значно зменшується. Розглянуто зміну структури зоопланктону в просторі з віддаленням від місця скиду ЛАЕС у бік відкритої частини Копорської губи.

\*\*

*The zooplankton community was studied in Korporskaya bay (Gulf of Finland) as a cooling-pond of Leningrad NPP to assess the importance of environmental factors as determinants of zooplankton dynamic in a water body. The water temperature and hydrology variations affect the distribution of zooplankton across the water area. It was observed that proximate zone of power plant is characterized with pauperization of zooplankton structure, reduction of number of species and biomass, simplification of trophic structure of community. Dominant species are of great tolerance to temperature and salinity of the water. Stenothermic and stenohaline species decrease in zooplankton structure.*

\*\*

1. Андрико́ва И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. — СПб.: Наука, 1996. — 189 с.
2. Баранаскене А.М., Бугрене С.Ф., Каспиравичене Ю.Р. Состояние фито-зоо-бактериопланктона и продукционно-деструкционные процессы в водоеме-охладителе Игналинской АЭС // Экология регионов атомных станций. — М., 1994. — С. 213—254.
3. Безносов В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.А. Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Вод. ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 5. — С. 610—615.
4. Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. — СПб.: Наука, 1991. — 503 с.
5. Веригин Б.В. О явлении термического эвтрофирования водоемов // Гидробиол. журн. — 1977. — Т. 13, № 5. — С. 98—105.
6. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988 г. — 240 с.
7. Куликов Н.В., Ожегов Л.Н., Чеботина М.Я, Боченин В.Ф. Накопление радионуклидов пресноводными гидробионтами при разной температуре воды // Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций. — Свердловск, 1978. — С. 65—69.
8. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. — Л.: Наука, 1970. — 744 с.
9. Лаврентьева Г.М., Романова А.П., Терешенкова Т.В. и др. Характеристика водоема-охладителя Экибастузской ГРЭС—1 // Влияние теплового и органического загрязнения на биоту водоемов-охладителей. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. — 1995. — № 314. — С. 7—69.
10. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. — М.; Л.: Наука, 1964. — 327с.

11. *Методика* изучения биогеоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. — 240 с.
12. *Митрахович П.А.* Динамика и факторы формирования зоопланктона водоема-охладителя тепловой электростанции: Дис. ... канд. биол. наук. — Минск. 1984. — 193 с.
13. *Мордухай-Болтовской Ф.Д.* Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов: (обзор) // *Экология организмов водохранилищ охладителей.* — Л., 1975. — С. 7—70.
14. *Мяэметс А.Х.* Изменения зоопланктона // *Антропогенное воздействие на малые озера.* — Л.: Наука, 1980. — С. 54—64.
15. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. — М.: Наука, 1982. — 286 с.
16. *Пугайко М.Л.* Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. — М., 1984. — 207 с.
17. *Погребов В.Б., Рябова В.Н.* Индикация экосистемных нарушений в условиях антропогенного термального градиента в Финском заливе по планктону // *Экология.* — 1988. — № 4. — С. 39—45.
18. *Полунина Ю.Ю., Матвий С.Г.* Зоопланктон в прибрежных водах Калининградского взморья (Балтийское море) // *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна.* — Вып. 2. — Апатиты: Изд. Кольск. науч. центра РАН, 2007. — 633 с.
19. *Рылов В.М.* Cuscloroida пресных вод. Фауна СССР. Ракообразные. Т. III, вып. 3. — Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — 320 с.
20. *Сергеева О.А., Калиниченко Р.А, Ленчина Л.Г., Месяник Е.В.* Влияние системы охлаждения тепловой электростанции на планктон // *Гидробиол. журн.* — 1989. — Т. 25, № 6. — С. 37—42.
21. *Тимофеев С.Ф., Барган С.И.* Влияние Кольской АЭС на сообщество коловраток озера Имандра в летний период // *Экология.* — 1995. — № 5. — С. 407.
22. *Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В.* Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 173 с.
23. *Черновская Е.Н., Пастухова Н.М., Буйневич А.Г. и др.* Гидрохимический режим Балтийского моря. — Л.: Гидрометеодат, 1965. — 168 с.
24. *Ojaveer H., Lumberg A.* On the role of *Cercopagis (Cercopagis) pengoi* (Ostroumov) in Parnu Bay and the NE part of the Gulf of Riga ecosystem // *Proc. Estonian Acad. Sci. Ecol.* — 1995. — N 5 (1/2). — P. 20—25.