

ВЛИЯНИЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС НА ЗООПЛАНКТОН И ЗООБЕНТОС КОПОРСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА*

© 2015 г. Д.В. Кулаков¹, М.Е. Макушенко¹, Е.А. Верещагина²

¹ Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук, Санкт-Петербург

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург

Ключевые слова: зоопланктон, зообентос, Ленинградская АЭС, Копорская губа, тепловое воздействие, антропогенное воздействие, сбросные воды.



Д.В. Кулаков



М.Е. Макушенко



Е.А. Верещагина

Представлены результаты гидробиологических и гидрохимических исследований Копорской губы Финского залива в условиях влияния Ленинградской АЭС. Изучен видовой состав и распределение численности и биомассы зоопланктона и зообентоса. Проведена оценка качества воды Копорской губы по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Введение

В настоящее время Копорская губа Финского залива подвержена высокой антропогенной нагрузке, связанной с использованием больших объемов морской воды в охладительном цикле действующей Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС), выносом в залив речных вод, загрязненных бытовыми веществами, поступающими от предприятий городской инфраструктуры (г. Сосновый Бор) и эксплуатацией очистных сооружений. Эти факторы в значительной степени нарушают естественный режим водного объекта, поэтому весьма актуально исследование современного состояния экосистемы Копорской губы.

* Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ 3.39.138.2014.

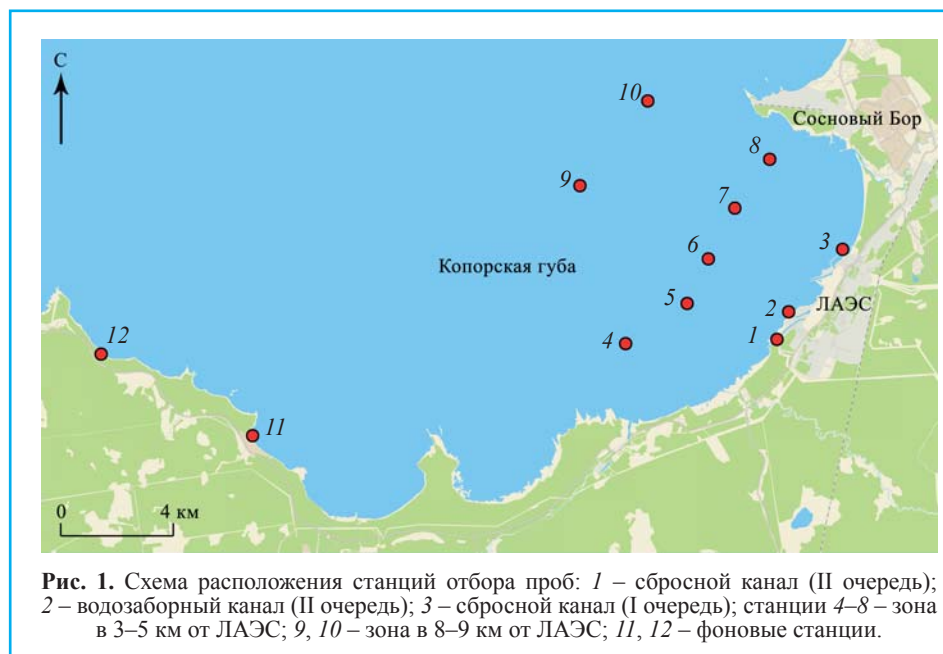
Одним из значимых факторов антропогенного воздействия на биоту Копорской губы является поступление теплых сбросов ЛАЭС, способствующее «термическому эвтрофированию» водоема [1, 2]. Годовой расход охлаждающей воды превышает условный объем Копорской губы ($2,8 \text{ км}^3$), достигая $4,4\text{--}5,3 \text{ км}^3$. Это позволяет говорить о том, что ЛАЭС является мощным фактором, определяющим формирование гидродинамического, химического и биологического режимов прибрежных вод [3].

Цель работы – исследование особенностей развития и функционирования зоопланктона и зообентоса Копорской губы в условиях влияния Ленинградской АЭС.

Материал и методы

Исследования Копорской губы в районе воздействия ЛАЭС проводили ежегодно с мая по сентябрь в 2010–2014 гг. в каналах атомной станции и в открытой части водоема (рис. 1). Анализ гидрохимических проб осуществляли в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга по стандартным методикам.

Отбор гидробиологических проб и их обработка шли по общепринятым методикам [4–6] гидробиологической лабораторией Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии РАН. Определение видов беспозвоночных осуществляли с использованием стандартных определителей [7–16]. Пробы зоопланктона брали путем фильтрации 50–100 л воды через



планктонную сеть Джели (размер ячеек 64 мкм). Пробы зообентоса отбирали с мягких грунтов при помощи дночерпателя Петерсена (площадь захвата $1/40 \text{ м}^2$), на твердых грунтах применяли количественный смыв. Выполнена оценка качества воды по структурным показателям гидробионтов [17–21].

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

Воды Копорской губы относятся к группе солоноватых бета-мезо-галосапробных, эстуарных вод. В среднем соленость составляет до 3 ‰, с возрастанием данного показателя в период летней межени и минимальным значением в весенний период при повышенном речном стоке. Исследования показали, что солевой состав вод в районе сбросных и водозаборных сооружений ЛАЭС близок к общему солевому составу вод Копорской губы. Отмечается относительно повышенная минерализация вод и незначительные изменения соотношения содержащихся в воде основных катионов (Na, Ca).

В период исследований отмечена однородность величин рН (по глубине и площади) – в среднем 7,8 ед. рН. В водах каналов ЛАЭС во все сезоны реакция рН была ниже – в среднем 7,5 ед. рН. Содержание растворенного кислорода удовлетворяло требованиям, предъявляемым к показателям качества воды рыбохозяйственных водных объектов [22]. Однако воды Копорской губы достаточно эвтрофны из-за высокой нагрузки биогенных веществ (фосфор, азот, железо), поступающих 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 [23].

В водах района исследований не зафиксировано превышение предельных значений по содержанию фосфатов и нитрат-анионов для объектов высшей рыбохозяйственной категории (ПДК_{рх}), к которым относится Копорская губа. Однако фиксировались единичные превышения ПДК_{рх} по содержанию ионов аммония и нитрат-аниона. Содержание общего железа практически во всех пробах превышает ПДК_{рх} или близко к этим значениям, что связано прежде всего с заболоченностью водосборов рек и озер и повышенным стоком рек в Копорскую губу в паводочные периоды.

Показатели органического загрязнения вод (ХПК и БПК₅) в Копорской губе достигали максимальных значений в весенний и начале летнего периода; минимальных значений, ниже порога обнаружения, – в период летней межени. Содержание взвешенных веществ в воде Копорской губы также велико – до 269 мг/дм³.

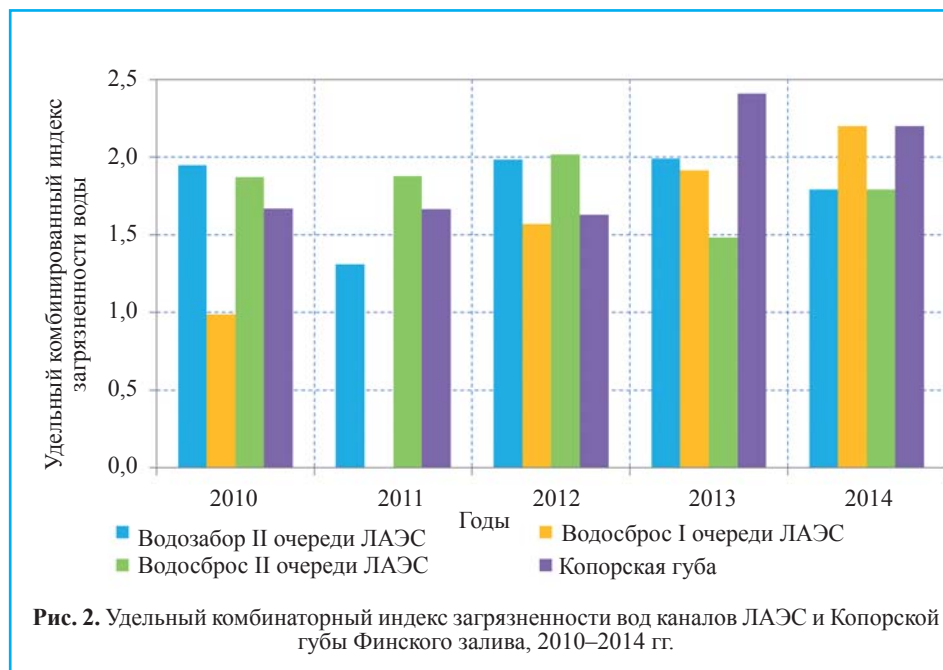
Величина показателя ХПК в водах каналов ЛАЭС изменялась от 8,3 до 366 мгО/дм³, максимальные значения наблюдались в районе водо-

забора. Во всех отобранных пробах значения БПК₅ варьировали от 2,2 до 80,6 мгО/дм³. Максимальных значений данные показатели достигали в весенний и начале летнего периода.

По сравнению с предыдущими периодами исследований [24], с 2013 г. заметно увеличилось содержание взвешенных веществ и биогенных элементов в водах Копорской губы в период летней межени. Минерализация и соотношение содержания основных анионов и катионов менялись мало. Содержание растворенного органического вещества и гидрофизические характеристики (в первую очередь, температура воды) испытывали незначительные изменения по сравнению с предыдущим годом, однако варьировали в значительных пределах.

Наибольшую долю в степень загрязненности вод вносили аммонийный и нитритный азот, общее железо и растворенные органические вещества (по показателям БПК₅ и ХПК). В 2010–2014 гг. на станциях отбора проб фиксировались единичные и несистематические превышения ПДК_{рх} по содержанию тяжелых металлов, таких как медь, цинк и мышьяк в приустьевых участках акватории и водах водозаборного канала ЛАЭС.

В целом воды на исследованных станциях отбора проб по величине удельного комбинаторного индекса загрязненности [25, 26] мало различаются и относятся к переходным между 2 и 3 классом качества, от «слабо загрязненных» к «загрязненным» (рис. 2).



В зоопланктоне Копорской губы в период исследования обнаружено 62 вида беспозвоночных (Rotifera – 25, Copepoda – 15, Cladocera – 22 вида). Наибольшее видовое разнообразие зафиксировано на фоновых станциях – до 18 видов в пробе. В открытой части Копорской губы и в водозаборном канале ЛАЭС в среднем встречалось 11 видов, в сбросных каналах количество видов было ниже в среднем в 1,3 раза.

В состав доминирующих по численности и биомассе видов на фоновых станциях и в открытой части Копорской губы входили: *Anuraeopsis fissa* Gosse, *Euchlanis dilatata lucksiana* Hauer, *Keratella quadrata platei* Jagerskiold, *K. cochlearis baltica* Imhof, *Polyarthra trigla* Ehrenberg, *Notholca acuminata* Ehrenberg, *Asplanchna priodonta* (Gosse), *Bosmina obtusirostris maritima* P.E. Müller, *B. longirostris* O.F. Müller, *Daphnia cucullata* Sars, *Pleopis poliphemoides* (Leuckart), *Eurytemora affinis* (Poppe), *Macrocylops albidus* (Jurine), *Acartia tonsa* Dana и ювенильные особи Calanoida и Cyclopoida.

В каналах ЛАЭС число доминирующих видов было ниже, чем в открытой части Копорской губы. Здесь доминировали *Keratella cochlearis baltica*, *K. quadrata platei*, *Bosmina obtusirostris maritima*, *B. longirostris*, *Pleopis poliphemoides*, *Eurytemora affinis* (Poppe) и ювенильные особи Calanoida и Cyclopoida. В водах, прошедших через охлаждающие агрегаты атомной станции, из зоопланктона выпадали наиболее подверженные механическому травмированию крупные ракообразные, обладающие вытянутой формой или длинными конечностями и выступающими придатками. В их числе *Sida crystallina* (O.F. Müller), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin), *Leptodora kindtii* (Focke), *Cercopagis pengoi* Ostroumov, *Bosmina coregoni* Baird, *Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski). Поэтому в подогретых водах преимущественно были представлены мелкие особи и эвритермные виды.

На фоновых станциях численность зоопланктона достигала максимальных значений на протяжении всего периода исследований, варьируя от 51,3 до 163,8 тыс. экз/м³; биомасса достигала 2,26 г/м³.

В открытой части Копорской губы в разные периоды исследований численность зоопланктона варьировала от 40,0 до 165,8 тыс. экз/м³, биомасса – от 0,06 до 2,99 г/м³. Наблюдалось увеличение численности зоопланктона по мере удаления от АЭС: на расстоянии 3–5 км по сравнению со средними значениями по сбросным каналам численность возрастала в 4, на расстоянии 8–9 км – в 6 раз. Наибольшие значения биомассы зарегистрированы на расстоянии 3–5 км от АЭС.

Численность зоопланктона в водозаборном канале АЭС в среднем за период исследований составила 42,26 тыс. экз/м³, биомасса – 0,90 г/м³. В водах сбросных каналов численность сокращалась в 2,5, а биомасса – в 3 раза, при этом температура сбрасываемой воды в течение вегетационного сезона в среднем была выше температуры воды водозаборного канала на 5,1 °С (табл. 1).

Таблица 1. Динамика температуры воды (T), численности (N) и биомассы (B) зоопланктона в каналах ЛАЭС в среднем за 2010–2013 гг.

Месяц	Водозаборный канал			В среднем по сбросным каналам		
	N , тыс. экз/м ³	B , г/м ³	T , °С	N , тыс. экз/м ³	B , г/м ³	T , °С
Июнь	38,06±7,13	0,91±0,68	16,00±2,79	11,17±4,45	0,30±0,22	20,04±3,33
Июль	48,93±14,08	1,05±0,49	22,17±1,16	30,73±16,76	0,37±0,16	27,93±3,02
Сентябрь	39,79±2,04	0,74±0,91	15,90±1,70	9,02±3,70	0,23±0,16	21,65±3,69

В открытой части Копорской губы и на фоновых станциях в зоопланктоне по численности преобладали Rotifera (60,5–68,5 %). В водозаборном канале АЭС основу численности составляли Copepoda (47,0 %). В сбросных каналах, по сравнению с водозабором, наблюдалось сокращение численности ракообразных, за счет чего в сообществе первенствовали коловратки (53,4–63,7 %).

По биомассе 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 сокращалась, а доля Cladocera (61,4–74,9 %) увеличивалась, что свидетельствует о протекающем процессе эвтрофирования в данной акватории [17].

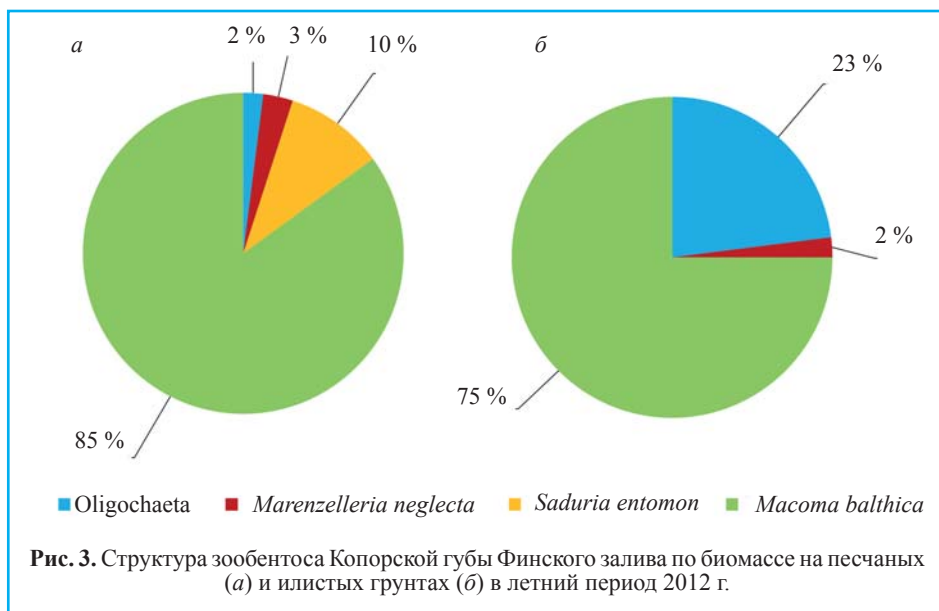
Значения индекса видового разнообразия Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности и биомассе зоопланктона, в открытой части Копорской губы в среднем составляли 1,9 бит/экз и 1,7 бит/г соответственно. В каналах ЛАЭС значения данного индекса были ниже и составляли в среднем 1,8 бит/экз. и 1,2 бит/г, что свидетельствует о снижении выравненности и упрощении структуры сообщества в зоне воздействия подогретых вод.

Макрозообентос Копорской губы в качественном отношении довольно беден [27, 28] и распределен неравномерно: богатые участки (биомасса до 90 г/м²) чередуются с малонаселенными. К основным факторам, лимитирующим развитие зообентоса в Финском заливе, относятся структура поверхностных донных биотопов, состав грунтов, соленость, а также содержание кислорода в придонном водном слое.

Количественное развитие макрозообентоса тесно связано с механическим составом донных осадков. На открытой акватории Копорской губы, вблизи ЛАЭС, можно выделить следующие участки [27, 29].

– Практически лишенные макрозообентоса безжизненные черные илы, залегающие на глубинах, превышающих 17 м, и испытывающие дефицит кислорода, периодически возникающий в придонных слоях воды. Здесь встречаются немногочисленные олигохеты, биомасса которых, как правило, не превышает 0,1 г/м².

– Песчаные грунты и глина с железомарганцевыми конкрециями, характеризующиеся высокой биомассой зообентоса (от 3 до 90 г/м²),



где преобладают *Macoma balthica* (Linnaeus) (до 80–85 % общей биомассы), *Saduria entomon* (Linnaeus) (10 %), *Marenzelleria neglecta* Sikorski (3 %) и *Oligochaeta* (до 2 %) (рис. 3).

– Илистые грунты в закрытых мелководных участках на глубинах около 7 м, без гипоксии. Биомасса животных здесь может составлять до 90 г/м², где на долю *Macoma balthica* приходится около 75 % общей биомассы бентоса. Также многочисленны олигохеты – до 23 %, биомасса *Marenzelleria neglecta* составляла около 2 % (см. рис. 3).

На станциях, расположенных в открытой части Копорской губы, средняя численность макрозообентоса в вегетационный период варьирует в пределах от 1,25 до 7,94 тыс. экз/м², биомасса – от 3,34 до 17,78 г/м² (на некоторых участках с песчаными грунтами – более 88 г/м²). В целом показателями относительного «благополучия» можно считать присутствие достаточно большого количества моллюсков. Наличие в бентосе двустворчатых моллюсков-фильтраторов *Macoma balthica*, образующих стабильные поселения, указывает на устойчивость бентосных сообществ [27].

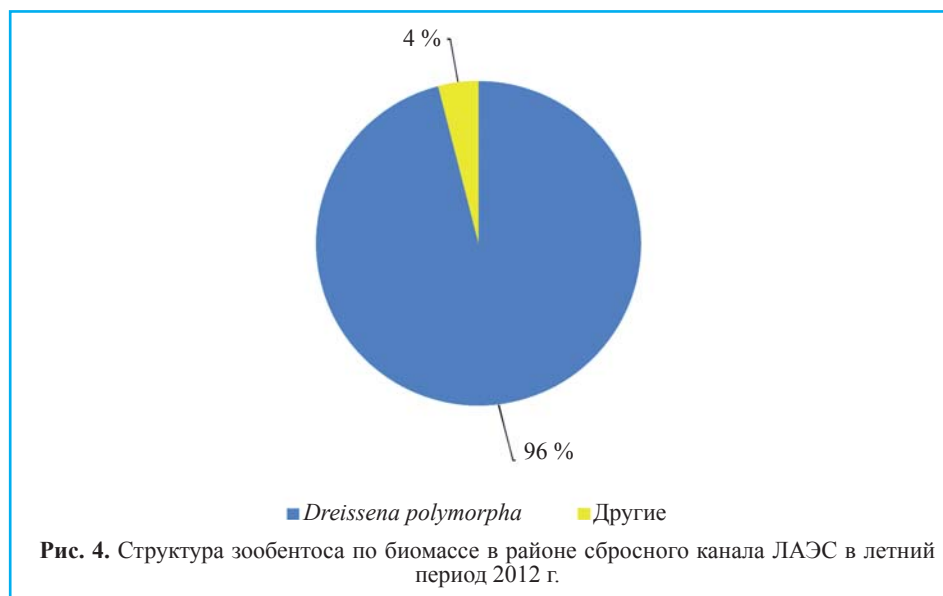
Наиболее разнообразные в видовом отношении сообщества зообентоса обнаружены на прибрежных участках Копорской губы, прилегающих к устьям рек, особенно в зарослях высшей водной растительности, где субстраты представляют собой пески, смешанные с илом и мелким гравием. На фоновых станциях 11 и 12 обнаружено наибольшее число видов (29 и 28 соответственно), среди которых встречались типичные обитатели высшей

водной растительности, такие как *Anisus spirorbis* (Linnaeus) и обитатели довольно чистых вод *Gammarus pulex* (Linnaeus). Интересно присутствие моллюска-вселенца из Новой Зеландии *Potamopyrgus antipodarum* (J.E. Gray), обитающего на песчаных и смешанных грунтах. Численность организмов зообентоса на фоновых станциях достигала 1,21 тыс. экз/м², биомасса – до 2,34 г/м².

Структурные показатели зообентоса в водозаборном канале ЛАЭС и в прибрежной зоне Копорской губы схожи. Здесь в массе развивались *Nais communis* Piguet, *Tubifex tubifex* (Müller), *Piscicola geometra* (Linnaeus), *Polypedilum scalaenum* (Schrank), *Dreissena polymorpha* (Pallas) и пресноводные моллюски рода *Lymnaea*. Лимитирующим фактором развития зообентоса на данной станции является то, что донные беспозвоночные заселяют в данном случае не естественные субстраты, а дно водозаборного канала ЛАЭС.

В районе сбросных каналов ЛАЭС в макрозообентосе по численности и биомассе доминировала *Dreissena polymorpha* (рис. 4), также встречались *Chironomus halophilus* Kieffer и *Tubifex tubifex*. За счет массового развития *Dreissena polymorpha* численность и биомасса зообентоса были достаточно велики и достигали до 4,11 тыс. экз/м² и 11,38 г/м² соответственно.

Оценка качества воды по гидробиологическим показателям позволяет отнести воды Копорской губы к эвтрофно-мезотрофным. Наибольшие значения фаунистического коэффициента трофности Мяэметса [19], рассчитанного по показателям зоопланктона, обнаруживались на расстоянии 3–5 км от ЛАЭС, где происходит накопление органического вещества и, как следствие, процесс эвтрофирования.



Величины индекса сапробности, рассчитанного по зоопланктону, составляли 1,5–1,7 баллов, что характеризует воды Копорской губы и каналов ЛАЭС, как соответствующие β -мезосапробной зоне – «слабозагрязненная вода».

По показателям зообентоса водам Копорской губы можно присвоить III класс качества («слабозагрязненные воды»), β -мезосапробные, по трофическому уровню – мезотрофные. Значения индекса Гуднайта–Уитлея в открытой части Копорской губы и водозаборном канале ЛАЭС в среднем составляли 34–40, индекса Балускиной 4,8–5,6. Наиболее существенные изменения в структуре зообентоса отмечались на станциях отбора проб, непосредственно примыкающих к сбросным каналам ЛАЭС, где отмечено худшее качество вод, высокие олигохетные индексы, в среднем 60–66.

Обсуждение результатов

На основании общего анализа данных исследований Копорской губы по степени влияния подогретых вод атомной станции можно условно выделить три зоны: зона, непосредственно примыкающая к сбросным каналам; зона на расстоянии 3–5 км от ЛАЭС и зона открытой части Копорской губы в 8–9 км от АЭС. В зависимости от направления и скорости ветра конфигурация и площадь зоны подогрева может меняться. В непосредственной близости от сбросных каналов, по сравнению с фоновыми станциями, различия по температуре могут достигать 15 °С (например, в ранне-весенний период). Такой перепад является шоковым для большинства гидробионтов и негативно влияет на условия их существования и развития.

Сброс подогретых вод атомных станций оказывает угнетающее воздействие на зоопланктон, численность и биомасса которого снижаются при увеличении температуры воды на 6–10 °С. Наблюдается замещение холодолюбивых видов планктонных беспозвоночных эвритермными и теплолюбивыми [30–32]. В зоопланктоне зоны, примыкающей к сбросным каналам ЛАЭС, отмечено массовое развитие эвритермного и эвригалинного вида *Acartia tonsa* (численность и биомасса которого достигала 61,5 и 77,0 % в сообществе), в то время как ранее многочисленный в зоопланктоне Балтики [33] стенотермный и стеногалинный *Pseudocalanus elongatus* (Voeck) не был обнаружен. В зоне сброса подогретых вод постоянно встречались метанауплиусы и более взрослые личинки теплолюбивых усоногих раков рода *Balanus*. Довольно часто обнаруживали понто-каспийский вид-вселенец *Cercopagis pengoi*, впервые зарегистрированный в акватории Балтийского моря в 1992 г. [34].

Нередко в водоемах-охладителях наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона соответствуют зонам умеренного и слабого подогрева [35]. При незначительном повышении температуры воды (на 1,5–3,0 °С

от фоновых значений) также отмечается изменение структурных показателей зоопланктона, однако в этом случае величина отклика планктонных организмов зависит от комплекса разнообразных условий и зачастую неоднозначна [36].

В водоемах, испытывающих тепловое воздействие, наблюдается изменение количественной структуры зоопланктона: происходит замещение крупных форм мелкими, что связано с гибелью части зоопланктона при прохождении через водозаборные устройства АЭС и с интенсивным выеданием их рыбой. Последнее часто наблюдается в водоемах с рыбохозяйственным использованием – при выращивании рыб с искусственным кормлением, например, в водосбросных каналах. При незначительных повышениях температуры также отмечается стимуляция количественного роста теплолюбивых видов [36].

Быстрый подогрев воды и травмирование гидробионтов в результате прохождения их с охлаждающей водой через насосные установки и конденсаторные трубки атомной станции приводит к накоплению ниже водосброса погибающих или мертвых животных [37]. Погибшие организмы превращаются в детрит, который вместе с подогретыми водами поступает обратно в водоем-охладитель, что способствует повышению трофности водоема [31].

Организмы зообентоса водоемов-охладителей в меньшей степени испытывают влияние подогретых вод, поскольку в придонных слоях температура изменяется слабо, однако при повышении среднегодовой температуры происходит снижение видового богатства, стабильности и устойчивости сообществ, общей численности и биомассы сообщества, среднего веса особей [38]. Развитие гетеротопных гидробионтов может подавляться из-за нарушения жизненных циклов. По мере усиления теплового загрязнения в зообентосе увеличивается доля эврибионтных и эвритермных видов [32]. Подобную картину можно наблюдать в пробах, отобранных в сбросных каналах ЛАЭС, где в сообществе доминировали такие эврибионтные виды, как *Dreissena polymorpha*, *Tubifex tubifex*, *Chironomus* sp.: эти виды имеют обширные ареалы или являются космополитами. Показатели обилия донных беспозвоночных в зоне влияния сбросных вод были достаточно высоки, по биомассе преобладал моллюск *Dreissena polymorpha*.

В последние годы *Dreissena polymorpha* расширяет свой ареал в Финском заливе и является активным обитателем антропогенных субстратов. В сбросных каналах обнаружены массовые плотные поселения этого моллюска в виде друз, сформированные взрослыми организмами и молодью. Дрейссены – активные фильтраторы. В случаях, когда их поселения оказываются достаточно большими, они способны существенно обеднять планктонные сообщества. Кроме того, выделяемые моллюсками продукты жизнедеятельности содержат значительное количество биогенных элементов,

что, в свою очередь, может приводить к вспышкам роста фитопланктона, в частности, синезеленых водорослей.

Таким образом, на гидробионтов водоема-охладителя ЛАЭС в зоне, непосредственно примыкающей к сбросным каналам, действуют, главным образом, температурный и механический факторы. 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 наблюдается снижение воздействия подогретых вод. В зоне на расстоянии 3–5 км от ЛАЭС, где изменения температуры не превышают в среднем 1,0 °С от фоновых значений, наблюдаются крайне незначительные изменения видового состава, численности и биомассы гидробионтов. 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 еще меньше. Взвешенные вещества, содержащиеся в сбросах ЛАЭС, также практически не оказывали влияния на зоопланктон Копорской губы, т. к. вследствие крупных размеров они выпадали на дно водоема в ближней зоне от устьев сбросных каналов.

Выводы

В результате теплового воздействия Ленинградской АЭС на экосистему Копорской губы Финского залива в водоеме-охладителе образовалась зона интенсивного воздействия на гидробионтов. Отмечено обеднение видового состава зоопланктона и зообентоса, сокращение численности, биомассы и среднего веса особей, снижение выравненности и упрощение структуры сообществ.

В районе сброса подогретых вод массового развития достигали эвритермные и эвригалинные виды (многие из которых имеют обширные ареалы или являются космополитами), тогда как стенотермные и стеногалинные виды выпадали из сообщества либо их обилие значительно сокращалось.

Протяженность зоны интенсивного влияния подогретых вод не превышала расстояния нескольких сотен метров от сбросных каналов ЛАЭС. За период исследований на расстоянии 3–5 км от станции изменений в структуре сообществ гидробионтов выявлено не было.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веригин Б.В.* О явлении термического эвтрофирования водоемов // Гидробиол. журн. 1977. Т. 13. № 5. С. 98–105.
2. *Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.Л.* Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 610–615.
3. *Черновская Е.Н., Пастухова Н.М., Буйневич А.Г., Кудрявцева М.Э., Ауниньи Э.А.* Гидрохимический режим Балтийского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 168 с.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при ведении мониторинга биологического загрязнения на Финском заливе / ред. А.Ф. Алимов, Т.М. Флоринская. СПб. 2005. 67 с.
6. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 2. 215 с.
7. *Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР // Тр. зоол. ин-та АН СССР. 1970. Вып. 104. 742 с.
8. *Мамаев Б.М.* Определитель насекомых по личинкам. М.: Просвещение, 1972. 412 с.
9. *Мануйлова Е.Ф.* Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.–Л.: Наука, 1964. 328 с.
10. *Монченко В.И.* Шелепнороти циклоподібні циклопи (Cyclopidae). Фауна України. Киев: Наукова думка, 1974. Вып. 27. № 3. 452 с.
11. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2010. 495 с.
12. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Л.: Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
13. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1994. 394 с.
14. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1995. 627 с.
15. *Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С.* Определитель Calanoida пресных вод СССР. СПб.: Наука, 1991. 503 с.
16. *Рылов В.М.* Cyclozoidea пресных вод. Фауна СССР. Ракообразные. Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. III. Вып. 3. 320 с.
17. *Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
18. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 286 с.
19. *Мяэметс А.Х.* Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
20. ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Введ. с 01.01.83. М.: Изд-во стандартов, 1982. 12 с.
21. Методы биологического анализа пресных вод / ред. Г.Г. Винберг. Л.: ЗИН АН СССР, 1976. 168 с.
22. Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства от 04 августа 2009 г. № 695.
23. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 240 с.
24. *Макушенко М.Е., Кулаков Д.В., Верецагина Е.А.* Зоопланктон Копорской губы Финского залива в зоне воздействия Ленинградской АЭС // Гидробиол. журн. 2014. Т. 50. № 2. С. 3–15.

25. Справочник по гидрохимии. Справочник специалиста / под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 390 с.
26. РД 52.24.643-2002. «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» от 01.01.2004. Ростов-на-Дону. 2002. 21 с.
27. Природная среда побережья и акватории Финского залива (район порта «Приморск») / ред. Е.А. Волков, В.Н. Храмцов, Г.А. Исаченко. СПб. 2003. 128 с.
28. Максимов А.А. Многолетние изменения макрозообентоса как показатель эвтрофирования восточной части Финского залива // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. Т. 2. С. 77–91.
29. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. Вып. 2. С. 131–142.
30. Баранушкене А.М., Будрене 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.
31. Тимофеев С.Ф., Бардан С.И. Влияние Кольской АЭС на сообщество коловраток озера Имандра в летний период // Экология. 1995. № 5. С. 407–408.
32. Влияние теплового и органического загрязнения на биоту водоемов-охладителей. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1995. 358 с.
33. 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. Кольского научн. центра РАН, 2007. 633 с.
34. 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, № 5 (1/2). P. 20–25.
35. Лаврентьева Г.М., Романова А.П., Терешенкова Т.В., Мещерякова С.В., Гуренович А.М., Орлова М.И., Огородникова В.А., Убаськин А.В. Характеристика водоема-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 // Влияние теплового и органического загрязнения на биоту водоемов-охладителей. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1995. № 314. С. 7–69.
36. 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.
37. Куликов Н.В., Ожегов Л.Н., Чеботина М.Я., Боченин В.Ф. Накопление радионуклидов пресноводными гидробионтами при разной температуре воды // Проблемы радиэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций. Свердловск, 1978. С. 65–69.
38. Воронин М.Ю. Экологический мониторинг макрозообентоса водоемов-охладителей электростанций: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2005. 157 с.

Сведения об авторах:

Кулаков Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, научный сотрудник, Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (СПБО ИГЭ РАН), 199004, Санкт-Петербург, Средний пр., 41; e-mail: dvkulakov@mail.ru

Макушенко Мария Евгеньевна, научный сотрудник, Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (СПБО ИГЭ РАН), 199004, Санкт-Петербург, В.О., Средний пр., 41; e-mail: maria@hgergo.ru

Верещагина Елена Андреевна, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; e-mail: ea.grigorieva@gmail.com