

УДК 574.586:574.65 (621.311.22) (621.311.25)

И. А. Морозовская, А. А. Протасов

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

ЗООПЕРИФИТОН И ОБРАСТАНИЕ В ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ
АТОМНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Приводятся результаты исследований зооперифитона водоемов-охладителей АЭС и ТЭС. Рассматриваются процессы формирования сообществ на экспериментальных субстратах. Обсуждаются проблемы, связанные с возникновением биологических помех в работе электростанций.

Ключевые слова: зооперифитон, обрастание, водоем-охладитель, АЭС, ТЭС.

В водоемах-охладителях (ВО) сообщества перифитона играют особую роль. В них, как правило, существует значительное количество различных техногенных твердых субстратов, на которых развиваются организмы перифитона с достаточно высокими показателями обилия [1, 2]. Продолжением твердых субстратов водоема являются системы циркуляционного и технического водоснабжения самой станции. Обрастание — это часть сообществ перифитона, которые развиваются на антропогенных, в том числе техногенных, субстратах.

Перифитон в водоемах имеет характерную пространственную неоднородность, связанную с распределением и качеством твердых субстратов, температурой воды, локализацией субстратов в зависимости от расположения сброса подогретых вод, освещенностью. В водоемах-охладителях имеется большое количество твердых субстратов в виде облицовок берегоукрепления, дамб, сооружений водозабора и водовыпуска. Особенностью биотопов, в которых развиваются организмы перифитона, является их пространственная сложность. Например, значительно различаются бетонные облицовки берегоукрепления, дамб, гидросооружений, с одной стороны, и каменные отсыпки — с другой. Первые представляют собой двухмерный биотоп, а в каменной наброске, кроме поверхностей камней на ее внешней стороне, имеется много полостей, т. е. она представляет собой гораздо более пространственно сложный биотоп. Установлено, что в сложном биотопе каменной наброски под 1 м² может быть более 3 м² поверхностей с животными перифитона в нескольких слоях камней до глубины в толщу наброски более 1 м. Глубина заселения субстратов вглубь дамбы зависит от гидродинамических условий и кислородного режима в ВО [3]. В водоемах-охладителях металлические субстраты встречаются достаточно редко (опоры мостов, понтоны, трубопроводы и др.), однако они очень распространены в системах водоснабжения.

Организмы перифитона, будучи связаны с субстратом, в различных термических зонах не испытывают резких колебаний температуры, в отличие

от планктонных организмов при их прохождении через системы охлаждения. Однако мощные потоки циркуляционной воды могут способствовать дрейфу и прохождению бентосных и перифитонных организмов через охлаждающие системы [4].

Личиночные планктонные стадии организмов перифитона, пополняющие сообщества перифитона, находящиеся в зоне значительного подогрева, зависят от многих факторов, в первую очередь — от степени отрицательного воздействия на планктон работы насосов, резкого перепада давления, высокой температуры во время прохождения через системы водоснабжения.

В перифитоне ВО во всех температурных зонах интенсивно происходит как продуцирование органического вещества, так и его деструкция. Значительная роль в самоочищении принадлежит организмам-фильтраторам, в частности дрейссене, фильтрационная способность которой (совместно с дрейссеной бентоса) по объему осветляемой воды сопоставима с циркуляционными расходами станции. Так, в подводном канале Хмельницкой АЭС на 1 км его протяженности по одному откосу фильтрация дрейссеной составляла 246 тыс. м³/сут или около 0,8 млн. м³/сут во всем канале. Расход воды в канале в разные сезоны года варьирует от 4 до 9 млн. м³/сут.

Среди беспозвоночных в перифитоне ВО Украины встречаются губки, мшанки, личинки ручейников, личинки хирономид, малощетинковые черви, ракообразные, брюхоногие моллюски. Реакция разных видов и групп животных перифитона на подогрев воды специфична. Губки (*Spongilla lacustris* L.) и мшанки (*Paludicella articulata* (Ehrenb.)) проявляют повышенную чувствительность и, как правило, в зонах влияния подогретых вод не встречаются. Макробеспозвоночные перифитона более устойчивы к повышению температуры, чем бентосные. Так, в литорали оз. Лукомского под воздействием подогрева (на 8,5 °С) видовое богатство зооперифитона повысилось с 66 до 76 таксонов ранга вида, в то время как зообентоса, наоборот, снизилось с 47 до 39 видов и форм [4].

На организмы перифитона существенное влияние оказывает температура. Например, при повышении температуры в ВО Криворожской ТЭС до 31—32 °С отмечалась гибель отдельных особей дрейссены, при повышении до 33 °С — её массовое отмирание. В сбросном отсеке, где температура воды была ниже, структура перифитона оставалась стабильной в связи со стабильностью популяции дрейссены [5].

Присутствие некоторых видов в тех или иных водоемах-охладителях можно объяснить степенью близости к источникам распространения или удаленностью от границ обычного ареала. Так, виды каспийского происхождения — *Cordilophora caspia* (Pallas), *Hypania invalida* Grube — обычны в водоеме-охладителе Криворожской ГРЭС, водосточник которого — канал Днепр — Кривой Рог, начинающийся в Каховском водохранилище, где обитает большое количество видов каспийского происхождения [6]; в водоеме Чернобыльской АЭС эти виды не встречались [3]. В водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС отмечено более 10 видов-вселенцев, из которых наиболее существенное значение в экосистеме имели именно организмы перифитона и бентоса — два вида дрейссены.

Перифитон в водоемах-охладителях является биофондом для обрастания в системах водоснабжения [7]. В состав зооперифитона водоемов-охладителей, представляющего потенциальную угрозу в аспекте биологических помех, кроме дрейссены, входят также губки *Spongilla lacustris*, мшанки *Plumatella emarginata* Alm., *P. fungosa* Pallas, полип *Cordilophora caspia*. Так, в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС были отмечены массивные колонии мшанки *P. fungosa* на входе в подводный канал, с биомассой более 1 кг/м². В 2008 году в подводном канале Хмельницкой АЭС отмечены колонии губки *Eunapius carteri* (Bowerbank), покрывающие субстрат на 50—90 % [8].

Биопомехи, возникающие в водоеме-охладителе, могут привести к отклонениям его характеристик от проектных. Так, скопление на дне водоема биогенных отложений в виде раковин моллюсков, остатков высших водных растений приводит к уменьшению глубины водоема, созданию предпосылок массового поступления в системы водоснабжения вредных биогенных наносов [8]. Биопомехи в системах подведения и отведения циркуляционной охлаждающей воды, устройствах дополнительного охлаждения (подводящий, отводящий каналы, брызгальные бассейны, градирни) наиболее опасны, так как они сказываются непосредственно на работе блочной насосной станции и систем водоснабжения. Биопомехи вызываются личинками дрейссены, которые с током воды могут распространяться по техническим водоводам и формировать обрастание. Поселение в канале одних организмов, вызывающих

биопомехи, может создавать условия для поселения других. Так, поселение дрейссены на твердом бетонном субстрате создает условия для произрастания укореняющихся высших водных растений.

Для перифитона качество субстрата очень важно, но, как отмечено многими исследователями [9—11], заселяются практически все субстраты, попадающие в воду. В этом состоит сложность борьбы с обрастанием. Однако состав и обилие организмов перифитона на разных субстратах может значительно различаться даже в одном водоеме и при сходных прочих условиях [6].

Большое значение имеет обрастание на различных теплообменных поверхностях, в частности в системах водоснабжения тепловых и атомных электростанций. Так, вследствие образования на трубках конденсаторов электростанции слоя обрастания всего 0,1 мм теплоотдача снижается с 3700 до 900 ккал/(м²·ч·°С), т. е. более чем в 4 раза [12].

Одним из важных организмов-обрастателей является дрейссена. Бурно развиваясь в водохранилищах, моллюск оседает на различные субстраты, в том числе на поверхности различных гидротехнических сооружений. Интенсивность развития дрейссены приводит в ряде случаев к серьезным помехам в работе промышленных установок. Дрейссенное обрастание трубопроводов, водозаборов, водоводов может привести к полной остановке подачи воды и сложным аварийным ситуациям [1].

Так, в системе циркуляционного водоснабжения напорных бассейнов водоема-охладителя Чернобыльской АЭС [5] были отмечены массовые поселения друз дрейссены, которая поступала при отрыве от субстрата в системы водоснабжения. На Криворожской ТЭС значительные обрастания формировались на фильтрующих элементах и стенках водного фильтра ФС-400. Биомасса животных (дрейссены, полипа кордилофоры, губки) здесь достигала 7,5 кг/м² (в среднем 1,8 кг/м²). Наибольший негативный эффект для работы фильтра оказывали дрейссена, мшанка, полипы кордилофоры. На Змиевской ТЭС биологические помехи возникали в районе водозабора в результате массового развития живородок (в летний период на вращающихся сетках фиксировалось до 0,6 м³ раковин живородок в сутки). На водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС существенные биопомехи наблюдались в системах технического и циркуляционного водоснабжения станции. Они были связаны в первую очередь с развитием обрастания, сформированного дрейссеной. В подводном канале биомасса дрейссены достигала 22, а локально — 30 кг/м² [8]. Серьезные биологические помехи были отмечены также на блочных насосных станциях, на вращающихся сетках из-за массового сноса по подводному каналу скоплений нитчатых водорослей, а начиная с 2011 года — и высших водных растений.

В водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС, с целью выяснения особенностей формирования сообществ перифитона, в период оседания личинок дрейссены, были поставлены экспериментальные субстраты в подводном канале водоема. Эти субстраты рассматривались как модель поверхностей различных систем технического водоснабжения АЭС. Экспериментальные субстраты представляли собой прямоугольные пластины из нержавеющей стали размером 8,0×2,6 см, закрепленные на специальной установке на глубине 2, 4 и 6 м.

Исследования показали, что в весенний период на пластинах были отмечены личинки ручейников, хирономид, малощетинковые черви, большая часть пластины была покрыта гидрами. Их биомасса составляла до 84 %. Дрейссена была отмечена в небольших количествах.

В летний период на пластинах была отмечена дрейссена, с появлением которой пространственная структура поселений усложняется. Кроме дрейссены, появились колонии губки, покрытие субстрата которыми в отдельных случаях достигало 90 %. Значительно снизилась численность гидр. На всех глубинах отмечены осевшие велигеры. По численности и биомассе доминировала дрейссена, составляя до 69 % численности и 99 % биомассы. Численность перифитона в среднем составила 45868 экз./м², при этом численность дрейссены — 35595 экз./м². Биомасса колебалась от 472 до 848 г/м².

В осенний период состав перифитона изменился. Олигохеты практически отсутствовали, отмечалось большое количество крупных личинок ручейников *Ecnomus tenellus* (Rambur). Друзы дрейссены состояли из особей старших размерных групп, на которых отмечено достаточно много мелких моллюсков (1—2 мм) и осевших велигеров. Пластины были покрыты дрейссеной на 50—70 %, а также губкой. По численности доминировали гидры (62,6—87,6 %), по биомассе — дрейссена (до 99,1 %).

На основании результатов исследований динамики обрастания экспериментальных пластин можно судить о процессах, которые происходят и в системах водоснабжения АЭС. Если считать, что в начале весны системы водоснабжения полностью очищены, а формирование обрастаний начнется уже в апреле, то в мае можно ожидать появления дрейссены; к лету биомасса перифитона, вероятнее всего, достигнет сотен граммов, к октябрю — килограммов на квадратный метр. Следует также указать на опасность появления в системах водоснабжения губки, однако, учитывая особенности её биологии, биологические помехи, вызываемые ею, будут носить временный характер, поскольку колонии в конце летнего периода отмирают.

Таким образом, в системах технического водоснабжения для контроля формирования возможных биопомех и разработки рекомендаций для их устранения необходима организация гидробиологического мониторинга. Существует довольно большое количество методов ограничения биологических помех. Ведется разработка различных необрастающих или малообрастающих покрытий, основанная, в основном, на биоцидных свойствах некоторых неорганических и органических соединений. Наиболее действенна периодическая механическая очистка трактов водоснабжения (при возможной доступности мест очистки) либо периодическая очистка под воздействием различных химических (например, растворенного в воде хлора) или физических факторов (в первую очередь, температуры). Применение этого подхода также требует определенного мониторинга ситуации. Необходимы контроль процесса обрастания и периодическое удаление организмов еще до их массового развития.

Подчеркнем, что организмы перифитона далеко не во всех элементах техно-экосистем являются нежелательным компонентом, поскольку они активно участвуют во внутриводоемных процессах, в процессах самоочищения.

Список использованной литературы

1. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред. М. Ф. Поливанная; АН УССР; Ин-т гидробиологии. — К.: Наук. думка, 1991. — 192 с.
2. Протасов А. А. Пресноводный перифитон / А. А. Протасов. — К.: Наук. думка, 1994. — 307 с.
3. Протасов А. А. Гидробиологические исследования как научная основа для разработки принципов управления экосистемами водоемов-охладителей ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, О. А. Сергеева, С. И. Кошелева // Развитие гидробиологических исследований в Украине. — К. Наук. думка, 1993. — 216 с.
4. Каратаев А. Ю. Экология макробеспозвоночных водоемов-охладителей Белоруссии / А. Ю. Каратаев. — Минск, 1988. — 178 с. — (Деп. в ВИНТИ, № 8758-B88).
5. Протасов А. А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева. — К.: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2012. — 274 с.
6. Плигин Ю. В. Итоги акклиматизации беспозвоночных каспийской фауны в Днепре и его водохранилищах / Ю. В. Плигин, Л. В. Емельянова // Гидробиол. журн. — 1989. — Т. 35, № 1. — С. 3—11.
7. Протасов А. А. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типиза-

- ция и основные гидробиологические принципы ограничения / А. А. Протасов, Г. А. Панасенко, С. П. Бабарига // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 36—53.
8. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — К. : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. — 234 с.
9. *Дуплаков С. Н.* Материалы к изучению перифитона / С. Н. Дуплаков // Тр. «Лимнол. станции в Косине». — 1933. — Вып. 16. — С. 3—160.
10. *Жадин В. И.* Общие вопросы, основные понятия и задачи гидробиологии пресных вод / В. И. Жадин // Жизнь пресных вод СССР. — М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1950. — Т. 3. — С. 7—112.
11. *Зевина Г. Б.* Обрастание в морях СССР / Г. Б. Зевина. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1972. — С. 216.
12. *Лудянский М. Л.* Методы борьбы с биологическими обрастаниями в системе водоснабжения металлургического предприятия / М. Л. Лудянский, А. П. Выскребец // Пром. энергетика. — 1981. — № 11. — С. 123—129.

Получено 22.11.2013