

УДК 554.63:621

*А. А. Протасов, А. А. Силаева**Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев***ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМА АЭС И ЕЁ БИОТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ\***

Приведена специфика биотических элементов в техно-экосистемах АЭС при сравнении их с природными экосистемами. Обсуждаются взаимосвязи между биотическими сообществами и факторами среды, характерными для техно-экосистем. Рассмотрены вопросы ограничения биологических помех в работе оборудования, принципы организации гидробиологического и экологического мониторинга.

**Ключевые слова:** техно-экосистема, гидробиологический режим, биопомехи, мониторинг экологический и гидробиологический.

Проблемы комплексного воздействия ТЭС, а затем и АЭС на окружающую среду, в частности на гидроэкосистемы, привлекали пристальное внимание ученых еще с 1950—1960 годов. Это было вызвано интенсификацией строительства энергетических объектов во многих странах мира. В начале 1960-х годов сотрудники Института гидробиологии АН УССР и Института биологии внутренних вод АН СССР развернули комплексные гидробиологические исследования практически на всех водоемах-охладителях крупных ТЭС Украины и ТЭС в бассейне р. Волги. В конце 1970-х годов начались исследования на украинских объектах атомной энергетики (на водоемах-охладителях Чернобыльской и Южно-Украинской АЭС).

Производство электроэнергии на ТЭС и АЭС технологически предусматривает использование значительных объемов охлаждающей воды, источником которой могут служить как естественные водоемы, так и специально построенные, с аккумуляцией воды рек или заполненные дополнительной водой. Водоемы-охладители (ВО) — это специфические водоемы, в которых на биологическую составляющую экосистем (биотические сообщества) кроме природных воздействует и широкий спектр техногенных факторов — термический, гидродинамический, гидрохимический и др. Экологическая специфичность этих экосистем, которые могут быть названы композитными, определяется тем, что они входят в техно-экосистему [3, 4].

В водоемах-охладителях и техно-экосистемах в целом под воздействием сброса значительного количества подогретых вод и других техногенных факторов происходят существенные изменения как физико-химического, так и гидробиологического

режимов. В частности, можно указать на такие важные в экологическом плане явления:

образуется термический градиент между зонами сброса подогретых вод и зоной отбора воды на охлаждение;

существует повышенная турбулизация потоков воды, особенно в отводящих каналах;

гидрохимический режим определяется как внутриводоемными процессами, так и аллохтонным поступлением химических веществ, в частности со сбросными водами очистных сооружений, сбросами из шламонакопителей;

формируется сложная система логических и лентических элементов;

формируется система техногенных биотопов с твердыми субстратами, где могут активно функционировать группировки перифитона, формируя в системах водоснабжения крайне нежелательное обрастание.

При сравнении условий обитания гидробионтов в естественных и технических водоемах следует обратить внимание как на их сходство, так и на существенные различия. Естественные и техногенные факторы взаимодействуют друг с другом, как бы накладываются друг на друга. Например, температура является постоянным и неустраняемым экологическим фактором для любых биотических сообществ, однако в водоемах-охладителях влияние подогретых сбросных вод на фоне высоких естественных температур может приводить к формированию совершенно специфического термического режима. Для него характерен не только высокий уровень температуры, несвойственный данной климатической зоне, но и значительное удлинение вегетационного сезона. Донные биотопы в водоемах технического назначения могут существенно изменяться за счет различных действий при гидротехническом строительстве.

Техно-экосистемы АЭС и ТЭС, включающие водоем-охладитель, подводящий и отводящий каналы, систему охлаждения и технического водоснабжения, градирни и подводящие и отводящие

\* Данная статья открывает цикл работ в этом номере журнала, посвященных отдельным биотическим группировкам техно-экосистем, в который вошли статьи Т. Н. Новоселовой, Т. Н. Дьяченко, И. А. Морозовской, А. А. Протасова, А. А. Силаевой.

каналы к ним, имеют свои особенности конструкции, режима и длительности эксплуатации. Экосистемы ВО имеют разную структуру, сложность, находятся на разных стадиях развития. В техноэкосистемах, кроме техногенных, существенное, а иногда определяющее значение играет биотический фактор. Массовое развитие некоторых гидробионтов может существенно влиять на работу оборудования электростанции.

В начальный период исследований водоемов-охладителей преобладала концепция природоохранного характера, в центре внимания были чаще всего отдельные элементы экосистем ВО, реже — целостная экосистема. Основные задачи определялись необходимостью выяснить, какова степень нарушения в отдельных группировках — планктоне, бентосе, перифитоне, нектоне — под воздействием техногенных факторов. Например, для оценки так называемого теплового загрязнения, связанного со сбросами подогретых вод ТЭС, а затем и АЭС, предлагался тот же подход, что и для оценки загрязнения химическими веществами, а именно принцип ПДК — предельно допустимых концентраций, т. е. предельно допустимых воздействий. Согласно принципу ПДК, до определенного «допустимого» предела воздействия не происходит существенных изменений в биотической составляющей экосистем (т. е. с ним можно мириться). Экологическая абсурдность этого принципа очевидна, во всяком случае, — для фактора температуры: ведь для организмов важна не столько максимальная температура, близкая к пределам выживания, сколько, как показала практика, сумма температур за определенный период времени. Практически требования санитарных норм и правил (СанПин), которые сводились к недопустимости превышения температуры на сбросе в 3—5 °С, технологически выполнены быть не могли. Это привело к тому, что водоемы-охладители были выделены в объекты обособленного водопользования и фактически выпали из-под контроля природоохранных органов.

Концепция техно-экосистемы рассматривает ВО как один из элементов сложной системы, состоящей из природных и техногенных компонентов. Все эти элементы тесно взаимосвязаны, поэтому нормальное функционирование всей техно-экосистемы зависит от функционирования всех элементов. В несколько упрощенной форме можно выразиться так: эффективность работы оборудования АЭС зависит от функционирования сообществ планктона, бентоса, перифитона так же, как и жизнь в ВО от техногенных факторов.

В настоящее время экологический контроль состояния ВО проводится на всех АЭС Украины. В основе экологического мониторинга лежит, по сути, мониторинг основных гидрохимических

параметров. В состав контролируемых характеристик входят более трех десятков гидрохимических показателей. Многие из них действительно информативны в плане характеристики среды для гидробионтов. Одним из ключевых является содержание кислорода в воде. Этот показатель особенно важно контролировать в ВО, поскольку при высоких температурах растворимость кислорода в воде существенно снижается. В ВО АЭС неоднократно наблюдались летние заморы [2]. К очень важным относятся показатели содержания биогенных элементов, таких как азот, фосфор, железо, кремний. Содержание соединений этих элементов определяет трофность водоема — его потенциальную и реальную продуктивность. Поскольку ВО в большинстве своем не используются как рыбохозяйственные, их продуктивность в общепринятом смысле не имеет существенного значения. Однако трофность может быть очень важна как фактор, влияющий на формирование биологических помех. С общей трофностью водоема напрямую связано «цветение» воды водорослями планктона. Высокая трофность ВО служит предпосылкой развития биологических отложений и обрастания на теплообменных поверхностях. Степень зарастания высшими водными растениями определяется морфометрией водоема, наличием или отсутствием мелководий и общим содержанием биогенных элементов.

Для оценки экологического состояния водоема определение некоторых гидрохимических показателей необходимо. Тем не менее, контроль возможных причин ухудшения экологического состояния на основании большого количества гидрохимических показателей затратен и малоэффективен. Поэтому в настоящее время в странах Евросоюза для экологических оценок используются в основном биологические характеристики [1]: показатели обилия тех или иных группировок гидробионтов, наличие или отсутствие в сообществах индикаторных видов организмов и др. Для оценки экологического состояния используется принцип референсных условий (*reference conditions*), которые устанавливают такое состояние экосистемы, которое можно считать эталонным, приемлемым, к которому следует стремиться при проведении мероприятий по управлению гидроэкосистемами, которое может рассматриваться как естественное, близкое к ненарушенному.

Для искусственных, сильно нарушенных экосистем, Водной рамочной директивой (ВРД) [1] вводится понятие «хороший экологический потенциал», который для сильно модифицированных или искусственных водных объектов дифференцируется на три категории: максимальный, достаточный, умеренный. Отметим, что, на наш взгляд, концепция экологического потенциала разработана еще недостаточно из-за огромного разнообразия

техногенных водных объектов и их использования. Если говорить о хорошем экологическом потенциале водной части техно-экосистемы АЭС, то это такое состояние, при котором: 1) техно-экосистема, её биотические, абиотические и технические элементы не оказывают негативного воздействия на окружающие экосистемы и здоровье человека; 2) функционирование техно-экосистемы не приводит к негативным явлениям для биотических сообществ, технических систем, обсуживающего персонала. Экологический потенциал — это эталон сравнения оценок реального состояния с необходимым, приемлемым, это критерий оценки экологического состояния при экологическом и гидробиологическом мониторинге.

Относительно установления потенциалов, в ВРД [1] предлагается использовать «значения соответствующих биологических качественных показателей, которые отражают, насколько это возможно, те, что связаны с наиболее сравнимым типом поверхностного водного объекта». Такой подход нельзя считать приемлемым, поскольку техно-экосистемы, как правило, представляют собой особый тип экосистем, биокосных систем в биосфере, которые не могут быть аналогами естественным. Поэтому установление приемлемых экологических потенциалов для техно-экосистем представляет собой сложную задачу, которая может решаться для узкого типа водных объектов и техно-экосистем, а также индивидуально для каждой из них.

Поскольку основными критериями оценки экологического потенциала выступают биотические показатели, чрезвычайно важно исследование отдельных биотических группировок. К таким в техно-экосистемах АЭС относятся группировки, которые могут в первую очередь рассматриваться по топическому признаку: контурные и пелагические. Они образуют две большие подсистемы: контурную и пелагическую. К первой относятся совокупности биотических сообществ, локализованные в зоне контактов, пограничных зонах: на границах вода — берег, донные отложения — вода, гидротехнические сооружения — вода. Вторая — это сообщества гидробионтов, обитающих в водной толще.

В контурной подсистеме ВО наиболее обширными являются сообщества бентоса, которые локализируются на различных донных грунтах. В их состав входят моллюски, личинки насекомых, черви, а также (в зоне достаточного освещения) водоросли, в том числе нитчатые, которые относятся к макрофитам. В прибрежной зоне и на небольших глубинах сообщества зообентоса соседствуют с фитocenозами — сообществами водных макрофитов. В водоемах-охладителях, системах водоснабжения присутствует большое количество различных твердых субстратов: облицовок гидросооружений,

трубопроводов, различных конструкций берегоукрепления и т. п. Здесь, а также на растительных поверхностях, на естественных твердых субстратах (камни, скалы) формируются сообщества перифитона, часть из которых, связанных непосредственно с техногенными субстратами, представляет собой обрастание. Обрастание формируется различными прикрепленными организмами: нитчатыми формами бактерий, водорослей, такими беспозвоночными, как гидроидные полипы, моллюски, мшанки, губки, а также подвижными формами. Особое значение имеют организмы перифитона, которые обитают в системах водоснабжения. Здесь они становятся причиной обрастания различных поверхностей. Это одни из наиболее опасных сообществ гидробионтов в плане формирования биологических помех.

В пелагической подсистеме выделяют две группировки: планктон и нектон. К первым относятся микроскопические и субмикроскопические организмы: бактерии, водоросли, ракообразные, коловратки. Нектон представлен крупными подвижными формами, в пресных водах — рыбами.

Таким образом, биотическая часть техно-экосистемы имеет сложную структуру, где каждое сообщество выполняет определенную функцию. Знание определенных характеристик биотической структуры техно-экосистем необходимо по многим причинам. В первую очередь, только на основании достаточной информации о составе и структуре сообществ можно разрабатывать экологические потенциалы для отдельных техно-экосистем. Очевидно, что добиться абсолютного совпадения реального экологического состояния с установленным «эталонным» потенциалом невозможно, поэтому следует определить границы, пределы возможных колебаний характеристик и параметров, в частности показателей обилия гидробионтов той или иной группировки. Экологический и гидробиологический мониторинг представляет собой весьма кропотливую и сложную процедуру. Поэтому важно определить небольшое количество наиболее показательных характеристик, на основании которых можно было бы судить о состоянии отдельных гидробиологических группировок и экосистемы в целом.

## Выводы

Техно-экосистема представляет собой сложный комплекс элементов неживой природы, живых организмов, технических систем, агрегатов. Как в любой системе, эти элементы связаны множеством прямых и обратных связей, которые и определяют функционирование целостной системы. Биологические объекты играют важную роль в функционировании всей техно-экосистемы. Контроль

и гидробиологический мониторинг в техно-экосистемах АЭС должен быть направлен как на получение информации о текущем состоянии популяций

и сообществ гидробионтов, так и на выявление адвентивных видов, появление которых может привести к непредсказуемым последствиям.

#### Список использованной литературы

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К. : Твій формат, 2006. — 240 с. — (Вид. офіційне).
2. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред. М. Ф. Поливанная. — К. : Наук. думка, 1991. — 192 с.
3. Концепция техно-экосистемы и ее значение для развития экологической политики в атомной энергетике Украины / А. А. Прогасов, А. А. Немцов, А. Н. Масько, А. А. Силаева // Ядерна енергетика та довкілля. — 2013. — № 1. — С. 59—62.
4. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Прогасова. — К. : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. — 234 с.

*Получено 27.11.2013*