

УДК 574.621.311.25

А. А. Протасов<sup>1</sup>, А. А. Немцов<sup>2</sup>, А. Н. Масько<sup>3</sup>, А. А. Силаева<sup>1</sup><sup>1</sup> Інститут гідробіології НАН України, г. Київ<sup>2</sup> Отдел экологии исполнительной дирекции по ядерной и радиационной безопасности и научно-технической поддержке ГП НАЭК «Энергоатом», г. Киев<sup>3</sup> ГП «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования» (ГП «ГНИЦ СКАР») Минэнергоугля Украины, г. Киев

## КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЫ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ УКРАИНЫ

Приведены положения концепции техно-экосистемы применительно к объектам атомной энергетики. Обсуждаются некоторые вопросы усовершенствования системы экологического контроля в атомной энергетике Украины.

**Ключевые слова:** атомная электростанция, техно-экосистема, водоемы-охладители, биологические помехи, экологический и гидробиологический мониторинг.

При проектировании и эксплуатации водоемов-охладителей АЭС практически не учитывается тот факт, что водоемы-охладители представляют собой сложную гидроэкосистему — комплекс множества взаимосвязанных между собой биотических (организмы-гидробионты), абиотических (среда их обитания) и техногенных элементов. На основании многолетнего опыта изучения гидробиологического режима водоемов-охладителей энергетических станций, различных элементов систем водоснабжения была сформулирована концепция техно-экологической системы, которая представляет собой совокупность биотопов природного и антропогенного характера, их живого населения, объединенных системой прямых и обратных связей, изменяющихся в пространстве и во времени [8].

Становится все более очевидной необходимость кроме гидрохимических, гидрофизических и климатических факторов учитывать и биологические факторы, которые могут влиять на надежность эксплуатации энергоблоков АЭС, систем охлаждения конденсаторов турбин, систем технического водоснабжения [3].

**Биологические помехи при работе теплообменного оборудования АЭС.** Массовое развитие некоторых видов гидробионтов (двустворчатых моллюсков, мшанок, губок, нитчатых водорослей и др.) может вызывать так называемые биологические помехи, нарушающие нормальный режим эксплуатации различных систем водоснабжения АЭС [8].

Биологические помехи в работе оборудования и систем водоснабжения представляют собой естественный процесс взаимодействия экологических и техногенных процессов. В разных участках системы в зависимости от условий среды в специфических биоценозах развиваются те или иные организмы. На участках и в агрегатах, куда проникает свет, развиваются водоросли; в разветвленных трубопроводах с относительно невысокими скоростями течения воды поселяются моллюски (в основном дрейссена); на различных поверх-

ностях элементов систем водоснабжения развиваются плесневые, дрожжеподобные, высшие грибы. Теплообменные поверхности заселяются различными организмами — от бактерий до мшанок и моллюсков.

Одними из наиболее распространенных биологических объектов, вызывающих биологические помехи, являются прикрепляющиеся к твердому субстрату моллюски. Вселение двустворчатого моллюска дрейссены (*Dreissena polymorpha* Pall.) в водоем-охладитель Хмельницкой АЭС вызвало значительные биопомехи в работе насосного оборудования, систем технического водоснабжения.

Как правило, наибольшие биологические помехи вызывают организмы, формирующие обрастание на различных поверхностях, но в качестве вызывающих биологические помехи встречаются и другие организмы, в том числе и беспозвоночные планктона. На Южно-Украинской АЭС при массовом развитии планктонного рачка *Cercopagis pengoi* (Ostroumov) на вращающихся сетках блочных насосных станций накапливалось большое количество рачков. Значительные биологические помехи вызывали гидробионты на объектах энергетики в Западной Европе и США [9, 10].

**Методы борьбы с биологическими помехами.** Специфичность работы тех или иных систем водоснабжения предопределяет различные способы борьбы с обрастанием. Нельзя рассматривать вопросы борьбы с обрастанием с точки зрения уничтожения их во всем водоеме-охладителе. Методы и средства борьбы с этим явлением могут быть условно разделены на физические, химические, биологические. Средства борьбы с обрастанием могут применяться периодически и постоянно [4, 9].

В соответствии с концепцией техно-экосистемы такая важная проблема, как формирование биологических помех в системах водоснабжения, должна рассматриваться не локально, а во всей взаимосвязи биологических и технических факторов.

Например, если в системе технического водоснабжения обнаружено обрастание дрейссеной, необходимо выяснить распространение и характер поселений этого моллюска в водоеме-охладителе, периодичность его размножения, чтобы профилактические мероприятия были проведены в оптимальные сроки, в период, когда происходит оседание личинок.

Другой пример. Процессы накипеобразования чрезвычайно сильно влияют на характеристики теплообменного оборудования. Для борьбы с отложениями на трубках конденсаторов широко используется шарикоочистка, другие механические способы. Однако более целесообразны экологические мероприятия. Так, снижение поступления биогенных элементов (соединений азота, фосфора) в охладитель, улучшение работы очистных сооружений сточных вод приводит к снижению развития водорослей, фотосинтетическая деятельность которых способствует увеличению уровня рН, что, в свою очередь, сдвигает карбонатное равновесие в сторону выпадения в осадок нерастворимых соединений кальция, т. е. образования накипи. Таким образом, процессы накипеобразования можно определенным образом контролировать биологическим путем.

**Мониторинг экологического состояния техно-экосистем АЭС.** Водоемы-охладители АЭС являются техническими объектами, однако их экосистемы связаны с другими водными и наземными экосистемами. Поэтому постоянно должен осуществляться контроль экологического состояния водоемов-охладителей не только в аспекте возможного воздействия на технические системы биологических факторов, но и воздействия техно-экосистем на так называемые фоновые системы.

Получение достоверной информации о гидробиологическом режиме водоемов-охладителей АЭС осложняется отсутствием нормативных документов, регламентирующих мероприятия по гидробиологическому мониторингу, отсутствием специалистов биологического профиля и специализированных лабораторий.

Недостаточное количество систематически собранных данных о состоянии гидробиоценозов в водоемах-охладителях при многолетней их эксплуатации и важность изучения биологического блока техно-экосистемы вызывает необходимость организации гидробиологического мониторинга, который должен осуществляться в соответствии с разработанным для каждой АЭС регламентом. Особенно ценна такая информация тогда, когда необходимо прогнозировать возможные последствия воздействия АЭС, связанные с пуском новых энергоблоков, текущим и плановым ремонтом отдельных узлов и блоков, введением в строй новых гидротехнических сооружений и другими ситуациями.

На основе концепции техно-экосистемы был создан стандарт ГП НАЭК «Энергоатом» — «Порядок разработки регламента гидробиологического монито-

ринга», определяющий направления деятельности по охране окружающей среды, а также защиты технических систем АЭС от негативного влияния биологических факторов, биологических помех [2].

В отдельные разделы регламента выделены характеристика водных и технических объектов гидробиологического мониторинга, фоновый мониторинг, мониторинг водоема-охладителя и систем охлаждения и водоснабжения АЭС. Важным является выделение в отдельный раздел так называемого фонового мониторинга — наблюдений за состоянием фоновых водоемов, связанных с водоемом-охладителем, но не испытывающих прямого влияния АЭС.

Например, для Ровенской АЭС фоновым объектом является р. Стырь, для Запорожской АЭС — участок Каховского водохранилища. Вопрос определения перечня фоновых водоемов применительно к Южно-Украинской АЭС достаточно сложен. Первоначально проект создания Южно-Украинского комплекса предусматривал создание кроме водоема-охладителя, который служил бы верхним водоемом ГАЭС, реконструкцию Александровского и создание Константиновского водохранилищ и двух ГАЭС. В этом случае в качестве фонового водоема для всего энергокомплекса и для всей техно-экосистемы служила бы р. Южный Буг, выше и ниже по течению от энергокомплекса. Однако в настоящее время система водоснабжения ГАЭС не находится в прямой связи с водоемом-охладителем АЭС, поэтому фоновыми водоемами для техно-экосистемы АЭС можно считать участок р. Южный Буг, Александровское водохранилище и верхний водоем Ташлыкской ГАЭС, а также р. Арбузинку.

В перечень показателей для гидробиологического мониторинга включены важные для биоты гидрохимические характеристики среды, выделены биологические объекты мониторинга, определены периодичность и возможное расположение пунктов гидробиологического контроля в фоновых водоемах, водоеме-охладителе и системах охлаждения и водоснабжения.

Таким образом, полученная в результате мониторинга информация послужит основой для принятия решений относительно режима эксплуатации, мероприятий по реконструкции технических систем АЭС и др. Необходимо предпринимать шаги к тому, чтобы природоохранная деятельность из сугубо контролирующей трансформировалась в управляющую [3].

Техно-экосистема в значительной мере зависит от антропогенного фактора, человеческой деятельности, и в силу этого в определенной мере может быть управляемой. Такое управление должно быть направлено на формирование гидробиологического, гидрохимического, гидротермического режима, который в минимальной степени будет оказывать негативное влияние на технические системы АЭС в виде биологических помех и в то же время — ограничивать негативное влияние АЭС на водные и наземные экосистемы окружающих территорий.

Наивным было бы полагать, что при значительной сложности как технических, так и экологических систем управление это может быть простым, легким и абсолютно эффективным. Тем более важно найти ключевые факторы управления, биоценозы организмов, от жизнедеятельности которых зависит формирование гидробиологического режима в водоеме, степень опасности возникновения биопомех.

**Принципы экологической оценки антропогенного воздействия на водные экосистемы.** Необходимо отметить мировые и европейские тенденции в разработке принципов именно биологической экологической индикации антропогенного воздействия на водные экосистемы. Экологический мониторинг на АЭС в настоящее время строится, прежде всего, на оценке факторов загрязнения. Эта логика вполне понятна: чем больше различных факторов техногенного воздействия, тем больше вероятность совокупного негативного влияния. Существует система оценки предельно допустимых концентраций (ПДК) различных веществ, и основной задачей ставится контроль концентраций, а также сравнение их с ПДК. Система такого контроля не только весьма затратна, но и в принципе малоэффективна. Определяя отдельные факторы, мы такими методами не можем судить о совокупном эффекте. Кроме того, вряд ли стоит тратить средства на определение множества химических показателей, если основным экологическим фактором выступает, например, температура. Необходимо знание биологической реакции целостной экосистемы на комплекс техногенных факторов.

Следовательно, нужна информация о биологическом эффекте воздействия различных факторов. Водной рамочной директивой Европейского Сообщества 2000/60/ЕС [1] рекомендовано определение эффекта антропогенного воздействия по биологическим показателям — по состоянию популяций водорослей, водных животных и высших растений.

Для естественных, в той или иной мере нарушенных человеком, водотоков и водоемов предлагается установление экологического состояния, которое сравнивается с так называемыми референтными условиями, т. е. экологическим состоянием, которое было или вероятно могло быть у данного объекта до вмешательства человека. Мероприятия по оздоровлению экологической ситуации имеют, таким образом, соответствующий «ориентир» — состояние, близкое к референтному.

**Принцип экологического потенциала и его использование для комплексной оценки состояния техно-экосистем АЭС.** Для искусственных водоемов и водотоков или сильно нарушенных водных объектов вводится понятие «экологический потенциал». Согласно ВРД [1] экологический потенциал представляет некоторое приемлемое как для пользователя, так и для окружающей среды, состояние водного объекта.

Это связано с тем, что для сильно измененных или искусственных водоемов сравнение с референтными условиями, естественным состоянием невозможно.

Условия в каждом отдельно взятом водоеме, в частности в водоеме-охладителе, кардинально различаются, поэтому экологический потенциал должен разрабатываться для каждого водоема-охладителя, каждой техно-экосистемы с учетом технологической схемы эксплуатации, с целью обеспечения отсутствия биопомех и минимизации экологических рисков для окружающей среды [5]. Создание разработанных экологических потенциалов для техно-экосистем АЭС создает и определенную «систему отсчета», определенный «эталон», с которым происходит постоянное сравнение получаемых при мониторинге данных.

Следующим этапом после организации мониторинга должна быть разработка системы постоянного автоматизированного сравнения реального экологического состояния с принятым экологическим потенциалом.

Очевидно, что объем работ по гидробиологическому мониторингу и его особенности различны для каждой АЭС, каждой техно-экосистемы. Например, для Хмельницкой АЭС ключевыми объектами гидробиологического мониторинга являются популяции моллюска дрейссены, которая вызывает биологические помехи, нитчатые водоросли, планктонные водоросли, которые могут вызывать «цветение» воды, высшие водные растения [5, 8]. Постоянные гидробиологические исследования на водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС дали возможность оценить запасы дрейссены не только в технических объектах (подводящий канал), но и во всем охладителе. Проведенная в 2005 и 2008 годах механическая очистка откосов подводящего канала оказалась весьма эффективной, количество извлеченной дрейссены (до 1000 т) было близко к расчетным величинам.

Многолетние исследования техно-экосистемы Южно-Украинской АЭС показали, что в водоеме-охладителе происходили существенные периодические перестройки. В связи с изменениями режимов эксплуатации возможно развитие популяций дрейссены в Ташлыкском водохранилище и водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС, что может вызвать биологические помехи. Для Запорожской АЭС и Ровенской АЭС большое значение имеет мониторинг фоновых водоемов, их гидробиологического режима, поскольку техно-экосистема оказывает на них практически постоянное воздействие.

К важным явлениям, которые необходимо контролировать, относится процесс биологических инвазий, т. е. спонтанного вселения чужеродных видов организмов, иногда даже из водоемов других континентов. В водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС обнаружены два вида моллюсков американского происхождения, один редкий южно-азиатский вид губки, биомасса которой достигла очень высоких значений [6]. В охладителе Южно-Украинской АЭС в массе развиваются

донные брюхоногие моллюски тропического происхождения [7]. Очевидно, что важной задачей гидробиологического мониторинга является постоянный контроль так называемого биологического загрязнения, процессов возможного вселения новых видов.

В процессе разработки экологического потенциала устанавливается определенная критериальная база для определения степени отклонения состояния техно-экосистемы от приемлемого. При этом необходим мониторинг достаточно небольшого количества гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров. Таким образом, использование принципа экологического потенциала существенно меняет систему экологического контроля и делает ее более эффективной.

### Выводы

Концепция техно-экосистемы позволяет по-новому подойти к рассмотрению основных принципов,

на которых строится природоохранная деятельность на объектах атомной энергетики. Необходимо учитывать не только возможные негативные влияния технических систем, энергетического объекта в целом на окружающую среду, но и обратное влияние биотических факторов на надежность работы оборудования.

Этот подход требует изменений в критериальной основе экологических оценок, которая в настоящее время строится на базе сравнения с предельно допустимыми концентрациями отдельных веществ и соединений. Необходима разработка комплексных оценок экологического состояния техно-экосистем с экологическими потенциалами, т. е. состояниями, которые рассматриваются как приемлемые, при которых минимизированы экологические риски для окружающих экосистем и минимальны биологические помехи в работе оборудования.

Разработка таких потенциалов для всех АЭС Украины, как и для наиболее крупных тепловых электростанций, является одной из важнейших задач природоохранной деятельности.

### Список использованной литературы

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К., 2006. — 240 с.
2. *СТП 0.03.088-2010*. Порядок разработки регламента гидробиологического мониторинга водоема-охладителя, систем охлаждения и системы технического водоснабжения АЭС с реакторами типа ВВЭР. Методические указания. — К., 2010. — 47 с.
3. Протасов А. А. Настало ли время для смены экологических концепций в атомной энергетике? / А. А. Протасов // Энергоатом Украины. — 2006. — № 4 (22). — С. 24–25.
4. Протасов А. А. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения / А. А. Протасов, Г. А. Панасенко, С. П. Бабарига // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 36–53.
5. Протасов А. А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева / Ин-т гидробиологии НАН Украины. — К., 2012. — 274 с.
6. Инвазийные виды водорослей и беспозвоночных в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов, Л. П. Ярмошенко, С. П. Бабарига // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 45, № 6. — С. 13–24.
7. Слепнев А. Зообентос водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС. — Озера та штучні водойми України: сучасний стан й антропогенні зміни / Слепнев А., Силаева А. // Матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф., 22–24 травня 2008 р. — Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту, 2008. — С. 342–345.
8. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова / Ин-т гидробиологии НАН Украины. — К., 2011. — 234 с.
9. Cooling water management in European power stations: Biology and control of fouling / Jenner H., Whitehouse J., Taylor C., Khalanski M. // Hydroecologie appliqué. — 1998. — 10, № 1–2. — P. 1–225.
10. Zebra mussels: Biology, impacts, and control / Ed. by T.F. Nalepa, D.W. Schloesser. — Boca Raton: Lewis Publ., 1993. — 810 p.

Получено 08.02.2013