

УДК 574.633 + 574.56

А. А. Протасов¹, Е. И. Зубкова², А. А. Силаева¹

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМ ТЭС И АЭС¹**

Рассмотрены концептуальные положения, на которых должна быть основана разработка главных направлений гидробиологического мониторинга техно-экосистем энергетических объектов. Представлены объем биологического мониторинга, состав биологических объектов мониторинга, контролируемые показатели, периодичность и принципы размещения точек контроля. Рассмотрена связь задач гидробиологического мониторинга техно-экосистем с положениями Водной Рамочной Директивы ЕС.

Ключевые слова: гидробиологический мониторинг, ТЭС, АЭС, биоиндикация, экологический потенциал, приемлемые экологические условия.

Изучение закономерностей структурно-функциональной организации водных техно-экосистем, которое осуществляется на протяжении многих десятилетий [2, 7, 8, 13, 28], позволило выявить их своеобразие и специфику относительно природных водоемов. В связи с этим экологический мониторинг водных объектов техно-экосистем, являющийся неотъемлемой частью природоохранной деятельности, должен учитывать специфику техно-экосистем, как отдельных, так и в масштабах регионов [9, 18].

В рамках украинско-молдовского научного сотрудничества проведено обоснование некоторых принципов организации экологического мониторинга техно-экосистем, некоторые результаты которых изложены в данной статье. Международное сотрудничество в этой области является важным и в связи с тем, что существует несколько энергетических объектов (Молдавская ТЭС, Днестровский энергокомплекс), которые оказывают влияние на экологическую ситуацию в трансграничном аспекте.

Целью данной статьи является рассмотрение концептуальных подходов к организации комплексного гидробиологического мониторинга техно-экосистем тепловых и атомных электростанций.

¹ Работа выполнена при поддержке Украинско-Молдовского проекта научно-технического сотрудничества (с украинской стороны — М/112-2015, № рег. 0115U005535, с молдовской стороны — EQUAENERGO, № рег. 14.820.18.02.01/U).

Гидробиологический мониторинг определяется как система последовательных наблюдений, сбора и обработки данных о состоянии водных объектов, прогнозирования их изменений и разработки научно обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений, направленных на улучшение их состояния. Основная цель мониторинга — налаживание системы наблюдений и контроля за загрязнением водных объектов, получение информации о качестве воды и оценка ее изменений в результате действия антропогенных факторов. При определенном сходстве целей и задач мониторинга, его конкретная организация имеет разные варианты [5, 9, 16, 18].

Основные принципы организации и проведения гидробиологического мониторинга могут быть представлены в нескольких аспектах. Он должен рассматриваться как комплекс необходимых действий и мероприятий технического и методического обеспечения, предназначенный для контроля состояния водной части техно-экосистемы энергетической станции и фоновых водоемов. В рамках мониторинга проводится предварительный анализ баз гидробиологических данных, динамики и взаимосвязей гидробиологических процессов с факторами техногенного влияния и природными.

Важно подчеркнуть, что гидробиологический мониторинг техно-экосистем имеет двойную задачу: он выполняется с целью получения информации об экологическом состоянии водоема-охладителя (ВО), фоновых водоемов и возможных изменений в них в результате влияния естественных и техногенных факторов, а также с целью получения информации о возможных или существующих биологических помехах в водоеме-охладителе, системах охлаждения и технического водоснабжения ТЭС и АЭС.

В соответствии с Водной Рамочной Директивой № 2000/60/ЕС (ВРД) и Соглашением об ассоциации между Украиной и Европейским Союзом планируется, в частности, внедрение программ мониторинга состояния водных объектов. Однако сегодня в Украине не существует единой системы мониторинга поверхностных и подземных вод, функционирующей по бассейновому принципу и координирующей деятельность всех субъектов государственного мониторинга вод. Различают три вида мониторинга: общий, который осуществляется систематически на базовой сети наблюдений для установления статуса водных объектов; оперативный (кризисный) — в зонах повышенного риска и/или аварий; фоновый (научный) — в местах минимального антропогенного влияния, для установления естественного состояния водных объектов [18]. Дополнение V ВРД ЕС также устанавливает три типа мониторинга поверхностных вод: контрольный, оперативный и исследовательский.

Экологический мониторинг качества поверхностных вод регламентируется законодательными нормативными актами, в Украине — Законом «Про охорону навколишнього природного середовища» [21], ст. 16 Водного кодекса Украины, Порядком осуществления государственного мониторинга вод, Положением о государственной системе мониторинга окружающей среды и Положением о Государственном агентстве водных ресурсов Украины.

В Республике Молдова мониторинг водных объектов регламентируется «Законом о воде» [10] и рядом Постановлений [19, 20]. Эти документы о тре-

бованиях к качеству окружающей среды для поверхностных вод адаптированы к нормам ВРД ЕС. Оценка состояния водных экосистем базируется как на физико-химических параметрах, так и на биологических (бактерио-, фито- и зоопланктон, фито- и зообентос, макрофиты, ихтиофауна, их разнообразие, состав, биомасса, сапробность, наличие индикаторных (чувствительных) и инвазийных видов, отношение между первичной продукцией фитопланктона и деструкцией органического вещества, ряд экологических индексов). Предусмотрен систематический (постоянный) и оперативный мониторинг. Регламенты устанавливают не только показатели и сеть обязательного отбора для государственного мониторинга, но и методику отбора материала и методы исследования в лабораториях в соответствии со стандартами ISO. Рабочие программы мониторинга уточняются и дополняются ежегодно.

Основной упор в мониторинге природной среды делается на выявление реального или потенциального природного и антропогенного воздействия на различные экосистемы. Однако для техно-экосистем такой подход представляется односторонним, поскольку экологический мониторинг и его составляющая — гидробиологический, построены на принципах оценки только прямого антропогенного воздействия на окружающую среду [23, 24, 28]. Концепция техно-экосистемы, в частности техно-экосистем энергетических станций, предполагает воздействие как технических объектов на биотическую составляющую, так и обратное. Поэтому, кроме мониторинга возможных последствий воздействия на водные экосистемы необходим мониторинг факторов биотической и экологической природы, которые могут негативно влиять на работу оборудования технических объектов и вызывать биологические помехи и повреждения. Необходимо подчеркнуть, что биопомехи снижают надежность работы технических объектов, что, в свою очередь, увеличивает опасность негативного воздействия последних на окружающую среду.

Для борьбы с биологическими помехами, в частности с обрастанием, используют механические, химические и физические методы [4, 29]. В этом плане значимость комплексного мониторинга трудно переоценить, так как техногенная водная экосистема требует постоянного контроля и мероприятий по предотвращению или смягчению неблагоприятных ситуаций как для экосистемы, так и для энергетического предприятия путем регулируемого достижения биологического и абиотического равновесия в техно-экосистеме.

Таким образом, должен быть учтен экосистемный принцип [17], который применимо к техно-экосистеме заключается в необходимости контроля элементов и связей, а не влияния отдельных техногенных факторов. В настоящее время экологический мониторинг на водных объектах, связанных с ТЭС и АЭС, направлен на контроль изменений гидрохимических показателей и возможного радиационного воздействия. В рамках этого мониторинга не учитываются принципы биологической индикации, как того требует, в частности, ВРД [6].

Техно-экосистема представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов: абиотических природных и техногенных, и

биотических, в частности для ТЭС и АЭС — это водоем-охладитель (ВО), подводящие и отводящие каналы, системы циркуляционного и технического водоснабжения. На некоторых электростанциях роль охладителя выполняют градирни со своей системой водоснабжения. Техно-экосистемы ГЭС и ГАЭС включают как специально созданные (водохранилища), так и природные водоемы, на которые непосредственно воздействуют эти станции, а также гидросооружения и системы водоснабжения.

Технические системы водоснабжения ТЭС и АЭС отличаются большим разнообразием местообитаний для гидробионтов, условия в которых характеризуются значительной изменчивостью и непредсказуемостью, пространственной сложностью, неоднородностью термических и гидродинамических условий, которые могут быть близки к экстремальным [23].

Генезис водоемов-охладителей различен, что накладывает свой отпечаток как на состав биоты, так и на функционирование всей техно-экосистемы. В качестве ВО могут использоваться природные водные объекты (оз. Лукомское — Лукомльская ТЭС, Беларусь, оз. Имандра — Кольская АЭС, РФ, Конинские озера — Конинская и Патновская ТЭС, Польша), трансформированные природные водоемы (оз. Лиман — Змиевская ТЭС, оз. Белое — Березовская ТЭС, Беларусь). Ладыжинская и Трипольская ТЭС используют воду водохранилищ на средней и крупной реке и работают в прямоточном режиме. В качестве ВО используются и специально созданные, искусственные водные объекты (Криворожская ТЭС, Чернобыльская и Хмельницкая АЭС, Ростовская АЭС, РФ). При этом каждая техно-экосистема и ее водные объекты имеют специфические индивидуальные технические особенности, связанные с конструкцией и режимом эксплуатации. К примеру, в первые годы становления Кучурганского лимана в качестве водоема-охладителя Молдавской ТЭС из-за повышения температуры воды и поступления большого количества биогенных элементов с полей орошения наблюдали интенсивное «цветение» воды синезелеными водорослями. Среди показателей качества воды основополагающими были значения рН, концентрация растворенных газов, неорганических и органических соединений азота, фосфора, кремния и разнообразие и биомасса фитопланктона, а также направленность продукционно-деструкционных процессов [12].

Существенное значение в Кучурганском ВО имело массовое развитие дрейссены, биомасса которой увеличилась в сотни раз, что стало негативно отражаться на функционировании электростанции. Результаты комплексных исследований позволили принять решение о вселении растительноядных рыб (белый толстолобик, белый амур) и бентофагов (черный амур, канальный сом), что улучшило ситуацию и повысило рыбопродуктивность ВО. В настоящее время увеличилась минерализация и соотношение главных ионов, по многим причинам водоем практически не зарыбляется, наблюдается интенсивное зарастание акватории водоема макрофитами, имеет место процесс вторичного загрязнения [11, 31, 32, 35, 36]. Водоем приобрел трансграничный статус и вопросы «продувки» или водообмена в нем стали определяющими как в решении экологических проблем самой экосистемы охладителя, так и для его рационального использования теплоэнергетиками.

В Украине комплексные гидробиологические исследования ВО проводятся на протяжении нескольких десятилетий. На первых этапах доминировала концепция изучения техногенного как основного фактора влияния на функционирование экосистемы водоема-охладителя [8], однако далее становилось все более очевидным, что речь должна идти о единой техно-экосистеме с учетом сложных взаимосвязей между абиотическими, биотическими и техническими элементами [28]. Водоемы-охладители имеют индивидуальные особенности, связанные с различной географической зональностью, конструкцией, спецификой эксплуатации, морфометрии и др., однако существуют и общие закономерности этапов экологической и техногенной сукцессии — изменение количественных показателей при воздействии техногенных факторов, влияние инвазийного процесса и пр. [3, 26]. Таким образом, для контроля процессов, происходящих в отдельных элементах и техно-экосистеме в целом необходим постоянный мониторинг с учетом как индивидуальных особенностей, так и общих закономерностей их функционирования.

В этой связи необходимо учитывать некоторые характеристики техно-экосистем, важные при гидробиологическом мониторинге:

— конструкцию и генезис водной техно-экосистемы (водоем, водоток, канал, подводящие, отводящие каналы станции, градирни, брызгальные устройства и др.);

— особенности конструкции и режима эксплуатации самого энергетического предприятия (тип топлива, наличие или отсутствие шламо- и золоотвалов, сброса промывочных вод и сбросных вод с очистных сооружений).

Большое разнообразие водных экосистем и энергетических предприятий требуют использования разных методов и подходов при гидробиологическом мониторинге техно-экосистем. Несмотря на определенную ограниченность, гидробиологический мониторинг должен быть комплексным. Под комплексностью нужно понимать контроль абиотических и биотических параметров и взаимосвязи между ними с учетом воздействия энергетического предприятия.

Таким образом, для формирования структуры гидробиологического мониторинга следует выделить такие блоки: биологические объекты и их показатели, периодичность, локализация точек, типы мониторинга, влияние биотического фактора на эксплуатацию оборудования (биопомехи). Кроме того, необходимо постоянно получать информацию об изменениях среды обитания гидробионтов.

Биологические объекты мониторинга. При выборе биологических объектов следует учитывать экотопические группировки гидробионтов, которые индицируют изменения в экосистеме, в том числе наличие, характер и степень техногенного влияния, а также группировки, потенциально способные вызывать или вызывающие в данный период биопомехи.

Одним из биологических объектов мониторинга является *фитопланктон*. Уровень развития и таксономический состав водорослей служат осно-

вой определения трофического статуса водоема, отдельные виды являются индикаторами сапробности. Одной из наиболее важных групп являются синезеленые водоросли, которые могут вызывать «цветение» воды, в частности *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Из других отделов в весенне-осенний период «цветение» могут вызывать динофитовые водоросли *Ceratium hirundinella* и *Peridinium* sp., кроме того, в различные периоды года могут массово развиваться диатомовые, в том числе их нитчатые формы (*Aulacoseira granulata*), способные вызывать биопомехи.

Большое значение для мониторинга имеют *макроводоросли перифитона*, так как их массовое развитие также может вызывать биопомехи. Контроль биомассы нитчатых водорослей, например р. *Cladophora*, должен осуществляться в биотопах их возможного наибольшего развития (в подводящем и отводящем каналах, на плотинах). В зонах ВО, подверженных влиянию подогрева, в составе фитоперифитона обычно появляются синезеленые водоросли р. *Lyngbya*. Фитомасса нитчатых водорослей в различных, в том числе и техногенных биотопах, может достигать нескольких кг/м².

Мониторинговыми объектами являются сообщества *высших водных растений* (ВВР), вегетирующие в прибрежной зоне. Наблюдения должны быть многолетними, что позволит оценивать степень зарастания водоема, которое может быть фактором снижения охлаждающей способности ВО. Погруженные ВВР, особенно в зонах, приближенных к водозабору, могут вызывать биопомехи при их массовом сносе течением к насосным станциям. В частности на Хмельницкой АЭС биопомехи были отмечены при массовом развитии *Najas marina* [33].

В качестве объектов мониторинга *зоопланктона* могут быть популяции видов-индикаторов сапробности, активных фильтраторов (*Daphnia*), а также популяции возможных вселенцев и видов, которые в определенных условиях могут давать вспышку численности и даже оказывать биопомехи в системах водоснабжения (например, *Cercopagis*). В мониторинге зоопланктона особо следует отметить необходимость наблюдений за появлением планктонных личинок дрейссенид — велигеров. Контроль их обилия в планктоне позволяет определить период начала формирования обрастания в системах техводоснабжения. Обнаружение личиночной стадии в планктоне может указывать на появление дрейссенид в ВО ранее, чем в бентосе и перифитоне.

Донные беспозвоночные (зообентос) — важная группа в мониторинге, поскольку являются информативным показателем состояния качества среды, а также включают организмы, которые могут вызывать биопомехи. Причиной сильного угнетения донной фауны в ВО может быть неблагоприятный кислородный режим в придонных слоях в сочетании с воздействием сточных вод. Уровень развития бентических организмов может достигать десятков г/м², а при наличии моллюсков — нескольких кг/м². Качество среды может быть определено без подробного изучения структуры и состава группировок зообентоса, а лишь по соотношению определенных групп [27, 30].

Организмы *зооперифитона* — наиболее важная группа беспозвоночных, оказывающих биопомехи, поскольку формируют сообщества обрастания в системах водоснабжения, особенно моллюски-дрейссениды, губки, мшанки, некоторые кишечнополостные [22, 25]. Характерной особенностью исследованных ранее ВО была градиентная биоценотическая структура, являющаяся прямым следствием градиентной биотопической структуры водоемов [26]. В зонах максимального влияния подогрева типичным доминантом в составе контурных группировок была мшанка *Plumatella emarginata* (ВО Чернобыльской АЭС, Криворожской ТЭС, Змиевской ГРЭС и Конинская охлаждающая система). Губки обычно входили в состав доминирующего комплекса в зонах минимального и умеренного влияния подогрева. Кроме того, некоторые губки-вселенцы (*Eunapius carteri*) могут достигать значительной биомассы и оказывать биопомехи.

В зависимости от частных задач для каждого из биологических объектов мониторинга определяются следующие *показатели*:

- количество видов (таксонов, низших определяемых таксонов (НОТ));
- численность — количество организмов, рассчитанное на единицу объема (для пелагической подсистемы) или площади (для контурной подсистемы), экз/м³, экз/м²;
- биомасса — масса организмов, рассчитанная на единицу объема (для пелагической подсистемы) или площади (для контурной подсистемы), г/м³ (или мг/м³), г/м²;
- деструкция — количество органического вещества, потребленного и подвергнутого биохимическому окислению за единицу времени (R , Дж/м³·сут, Дж/м²·сут).
- продукция — количество органического вещества, созданного в процессе жизнедеятельности организмов за единицу времени в определенном пространстве (P , Дж/м³·сут, Дж/м²·сут).

Периодичность контроля гидробиологических показателей при проведении мониторинга должна определяться с учетом:

- фаз гидрологического режима водных объектов (весеннее наводнение, летняя межень, летние и осенние дождевые паводки, ледостав, зимняя межень);
- среднегодовых сезонных температур воды водоема и водотоков, температуры атмосферного воздуха;
- срока эксплуатации и режима работы систем водоснабжения ТЭС и АЭС;
- климатических условий года.

В связи с динамичностью в пелагической подсистеме (фито- и зоопланктон), мониторинг должен проводиться более часто, чем в контурной, в последней наблюдения можно проводить не чаще, чем раз в сезон. Особый режим периодичности должен применяться в биотопах с экстремальными термическими условиями (при температуре воды более 30°C).

Пространственная локализация мониторинговых станций должна обеспечить получение полной информации о:

— составе и уровне развития основных групп гидробионтов техно-экосистемы, включая индикаторные виды;

— появлении потенциально опасных видов гидробионтов, которые могут послужить причиной биологических помех в системах водоснабжения ТЭС и АЭС;

— состоянии группировок гидробионтов, обитающих в системах водоснабжения энергетической станции;

— состоянии гидроэкосистем фоновых водоемов (связанных гидравлически, но не испытывающих непосредственного воздействия техно-экосистемы).

Мониторинговыми станциями для техно-экосистемы могут быть подводящий и отводящий каналы, зона, прилегающая к отводящему каналу как участок с наибольшей тепловой нагрузкой, часть водоема с минимальной тепловой нагрузкой, которая может служить контролем, системы технического и циркуляционного водоснабжения, а также другие участки, контроль за которыми дает более полную информацию о распределении гидробионтов. При использовании природного водотока для водоснабжения и приема сточных вод энергетической станции гидробиологические исследования целесообразно проводить на разрезах (створах) выше и ниже зоны контакта с техно-экосистемой. Кроме того, локализация станций контроля распределения организмов в контурной подсистеме определяется наличием в водоеме различных типов грунтов (илы, пески, ракуша и др.) и субстратов (каменные и бетонные укрепления берега, металлические конструкции).

Гидробиологический мониторинг не может ограничиваться исключительно биологическими объектами, большое значение имеет контроль условий обитания гидробионтов. В перечень показателей для гидробиологического мониторинга должны быть включены такие *абиотические характеристики*:

- температура воды;
- прозрачность (мутность);
- скорость и направление течений;
- характер грунта и других субстратов;

- водородный показатель pH;
- содержание ионов кальция, магния, гидрокарбонатов, хлоридов; сульфатов, общая жесткость и минерализация;
- содержание соединений азота (аммонийного, нитритов, нитратов);
- содержание соединений фосфора (минерального и органического);
- содержание органического вещества: легкодоступного (БПК₅); легко окисляемого (перманганатная окисляемость) и химически стойкого (бихроматная окисляемость);
- содержание растворенного в воде кислорода.

Кроме того, для конкретных техно-экосистем должны определяться специфические загрязняющие вещества и конструктивные особенности систем водоснабжения с биотопической точки зрения.

Гидробиологический мониторинг должен иметь системный характер, быть определенным образом структурированным в пространственном, временном и организационном аспектах. Его целесообразно подразделять по типам на фоновый и техно-экосистемы (пространственный аспект), кратковременный и долговременный (временной) аспект, текущий, экстремальный и развернутый (организационный аспект).

Фоновый гидробиологический мониторинг проводят на водных объектах, находящихся за пределами техно-экосистемы, основными задачами этого мониторинга является установление возможного влияния энергетической станции на окружающую среду и наличия гидробионтов, потенциально опасных с точки зрения возникновения биопомех.

Кратковременный мониторинг может выполнять функцию получения оперативной информации для принятия решений по устранению негативных явлений в техно-экосистеме. *Долговременный* дает информацию для выяснения многолетних тенденций формирования гидробиологического режима контролируемых водных объектов.

Текущий гидробиологический мониторинг проводят с целью определения фактического состояния водных объектов для дальнейшего принятия решений относительно эффективного производственно-технического использования и охраны водных ресурсов.

Экстремальный гидробиологический мониторинг проводят на водных объектах в случае значительного отклонения одного или нескольких контролируемых гидробиологических показателей, а также резкого ухудшения нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов. Экстремальный мониторинг осуществляется немедленно после установления значительного отклонения значения гидробиологического показателя(-лей) или при обнаружении угрозы жизнедеятельности популяций и группировок гидробионтов.

Развернутый гидробиологический мониторинг проводится с периодичностью два — три года с привлечением специалистов-гидробиологов и включает подробное обследование систем охлаждения и водоснабжения ТЭС и АЭС: водоема-охладителя, фоновых водоемов и водотоков. Целью развернутого мониторинга является установление общих тенденций развития гидро-экосистем, группировок гидробионтов, в первую очередь вызывающих биопомехи, корректирование системы текущего мониторинга.

Полученные при мониторинге результаты должны быть достоверными и надежными. Однако необходимо учитывать *принцип достаточности*, который обуславливает получение только необходимых, но достаточных данных для адекватной оценки состояния техно-экосистемы и принятия управленческих решений. Проведение качественного гидробиологического мониторинга невозможно без соблюдения правильности как отдельных *методических приемов*, так и всего комплекса *методик*. В отборе проб особенно важна адекватность пробоотборников характеру и обилию организмов и условиям среды их обитания. Исследования гидробионтов планктонной и контурной подсистем необходимо проводить в соответствии с общепринятыми методиками [14]. Следует учитывать, что гидродинамическая ситуация в водоеме, важная при изучении планктонных организмов, определяется взаимодействием ветрового воздействия и техногенной циркуляции вод.

При изучении контурной подсистемы необходимо учитывать наличие техногенных и сильно модифицированных субстратов и биотопов. Водолазные методы наиболее эффективны и перспективны при изучении сообществ гидробионтов на твердых подводных субстратах и гидросооружениях.

Одним из важных принципов мониторинга биологических помех является отслеживание развития организмов, вызывающих их не только в природных, но и в *модельных условиях*. Существует группа методов, специфичных для исследования перифитона — методы экспериментальных субстратов. Разнообразны приемы экспериментального изучения функционирования сообществ перифитона. Принципиальная схема многих из них состоит в том, что элементы сообществ или сообщество в целом изолируются тем или иным образом от окружающей среды [14, 22].

Полученные в процессе мониторинга материалы формируют определенную *базу данных*. Она может быть структурирована по трем крупным блокам — данные о гидробиологическом режиме водоема-охладителя, систем технического водоснабжения и фоновых водоемов. Полученные данные позволяют получить результирующие выводы, на основании которых будут приниматься оперативные и долговременные (например конструктивные) управленческие решения.

Гидробиологический мониторинг техно-экосистем не имеет критериев сравнения, аналогичных, например, ПДК. Согласно ВРД для оценки состояния природных водоемов используется сравнение с «ненарушенными», т. е. «референсными» условиями, а для сильно модифицированных или искусственных водных объектов применяется термин «экологический потенциал». В лучшем случае «...значения соответствующих показателей ... остаются в

пределах, которые обычно связываются с ненарушенными условиями типа поверхностного водного объекта, который наиболее близок к соответствующему сильно видоизмененному или искусственному водному объекту» [6]. Однако применительно к техно-экосистемам энергетических станций этот подход не может рассматриваться как конструктивный, так как практически невозможно найти водную экосистему, пригодную для сравнения. Поэтому применительно к техно-экосистемам необходима разработка «приемлемых экологических условий» (ПЭУ), которые и можно рассматривать как экологический потенциал.

Для разных частей техно-экосистемы (водоем-охладитель, система водоснабжения) и фоновых водоемов подходы к оценке экологического состояния должны быть различными. Для фоновых водных объектов, в том случае если они являются природными, допустимо использование принципа «референсных» условий. В случае, если эти водоемы являются искусственными или модифицированными, для них следует разрабатывать ПЭУ. В системах технического водоснабжения постоянно обитают определенные гидробионты, которые не обязательно могут вызывать биопомехи при небольшом количественном развитии. Таким образом, контроль за системой техводоснабжения должен ориентироваться на некий безопасный уровень развития гидробионтов.

При наличии в составе техно-экосистемы ВО вопрос о ПЭУ может решаться различными путями. На наш взгляд, целесообразно использовать категории трофности, которые могут определяться как по количественному развитию гидробионтов [14], так и по комплексу гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических показателей [15]. Так, при подготовке материалов для ТЭО спуска водоема-охладителя Чернобыльской нами было предложено в качестве ПЭУ мезо-евтрофные — евтрофные условия.

В настоящее время гидробиологический мониторинг должен учитывать все более широко распространяющийся процесс биологических инвазий [1]. В исследованных нами водоемах-охладителях отмечены новые виды водорослей, высших водных растений и беспозвоночных [33]. Важно, что некоторые виды-вселенцы могут оказывать существенное влияние на всю техно-экосистему и оказывать серьезные биопомехи [34]. Контроль наличия видов-вселенцев должен проводиться в рамках фонового, текущего и развернутого мониторинга.

Заключение

В настоящее время существуют разработанные системы экологического мониторинга водных объектов с применением гидробиологических показателей. При этом основное внимание направлено на контроль антропогенного влияния на естественные водные объекты. Однако комплексного гидробиологического подхода к контролю за техно-экосистемами ТЭС и АЭС с учетом сложной взаимосвязей в них не существует. Техно-экосистемы обладают специфическими характеристиками, которые должны учитываться при организации мониторинга.

Водная Рамочная Директива ЕС основное внимание уделяет природным водоемам. Применительно к техно-экосистемам в дополнение к рекомендациям ВРД мы предлагаем понятие «приемлемых экологических условий», которое должно разрабатываться для каждой техно-экосистемы отдельно.

В связи с постоянно изменяющимися условиями в техно-экосистеме, гидробиологический мониторинг должен постоянно адаптироваться к новым условиям и задачам.

**

Розглянуто концептуальні положення, на яких пропонується розробка основних напрямів гідробіологічного моніторингу техно-екосистем. Представлено обсяг біологічного моніторингу, перелік біологічних об'єктів моніторингу, контрольованих показників, періодичність контролю, розташування точок контролю, методи контролю показників біологічних об'єктів моніторингу. Розглянуто питання зв'язку задач гідробіологічного моніторингу техно-екосистем з положеннями Водної Рамкової Директиви

**

Conceptual provisions for development of basic directions of the hydrobiological monitoring of techno-ecosystem are considered. A volume of the biological monitoring, list of biological objects to be monitored, controlled indexes, control periodicity, location of control sites, methods of control of indexes of biological objects of monitoring are presented. The issue of connection of hydrobiological monitoring of the techno-ecosystems with the provisions of the Water Framework Directive are discussed.

**

1. Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г., Орлова М.И. и др. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / Ред. А. Ф. Алимов, Н. Г. Богуцкая. — М.; СПб.: Тов. науч. изд. КМК, 2004. — 436 с.
2. Астраускас А.С., Рачюнас Л.А. Гидробиологический режим водохранилища-охлаждителя Литовской ГРЭС // Гидробиол. журн. — 1975. — Т. 9, № 1. — С. 19—27.
3. Безносков В.Н., Сузгалева А.Л. Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов // Антропогенные влияния на водные экосистемы. — М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2005. — С. 120—128.
4. Биологические основы борьбы с обрастанием / Ред. В. А. Водяницкий, М. А. Долгопольская. — Киев: Наук. думка, 1973. — 203 с.
5. Верещагина Е.А., Лунева Е.В., Шварц А.А. Методические основы комплексного мониторинга водных объектов зоны влияния АЭС для эффективной оценки качества воды // Тр. II Науч.-практ. конф. «Экологическая безопасность АЭС», Калининград, 20—21 окт., 2015 г. — Калининград: Аксиос, 2015. — С. 43—49.
6. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К. : 2006. — 240 с.
7. Водоем-охлаждитель Харанорской ГРЭС / Отв. ред. В. В. Кириллов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 192 с.

8. *Гидробиология* водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
9. Израэль Ю.А., Филиппова Л.М., Инсаров Г.Э. и др. Экологический мониторинг и регулирование состояния природной среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — Т. 4. — С. 6—19.
10. Закон о воде Nr. 272 от 23.12.2011 Опубликован: 26.04.2012 в Monitorul Oficial, RM, Nr. 81 статья № 264. Дата вступления в силу: 26.10.2013.
11. Зубкова Е.И. Динамика главных ионов и минерализации воды Кучурганского водоема-охладителя Молдавской ГРЭС // Managementul bazinului transfrontalier al fl. Nistru și Directiva-Cadru a Apelor a Uniunii Europene. Materialele Conferinței Internaționale, Chișinău, 2—3 octombrie 2008. — Chișinău, 2008. — P. 378—382.
12. Кучурганский лиман — охладитель Молдавской ГРЭС. — Кишинев: Штиинца, 1973. — 208 с.
13. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов // Экология организмов водохранилищ-охладителей. — Л.: Наука, 1975. — С. 7—69.
14. *Методи* гідробіологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408.
15. *Методика* екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. — К.: Символ-Т, 1998 — 28 с.
16. Николаевский В.С. Биомониторинг, его значение и роль в системе экологического мониторинга и охраны окружающей среды // Методология и философские проблемы биологии. — Новосибирск: Наука, 1981. — С. 341—354.
17. Оксіюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986. — 176 с.
18. План управления речным бассейном Южного Буга: анализ состояния и мероприятия / Под ред. С. Афанасьева, А. Петерс, В. Сташука, О. Ярошевича. — Киев: Интерсервис, 2014. — 188 с.
19. *Постановление* № 890 от 12.11.2013 об утверждении Положения о требованиях к качеству окружающей среды для поверхностных вод. Опубликован: 22.11.2013 в Monitorul Oficial RM, № 262—267.
20. *Постановление* № 932 от 20.11.2013 об утверждении Положения о мониторинге и систематическом учете состояния поверхностных и подземных вод. Опубликован: 29.11.2013 в Monitorul Oficial, RM, № 276—280.
21. *Про охорону* навколишнього природного середовища: Закон України від 25 черв. 1991 р. №1264-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. — 1991. — № 42. — 546 с.
22. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. — Киев: Наук. думка, 1994. — 307 с.
23. Протасов А.А. Концепция техно-экосистемы в технической гидробиологии // Гидробиол. журн. — 2014. — Т. 50, № 3. — С. 3—18.
24. Протасов А.А., Немцов А.А., Масько А.Н., Силаева А.А. Концепция техно-экосистемы и ее значение для развития экологической политики в

- атомной энергетике Украины // Ядерна енергетика та довілля. — 2013. — № 1. — С. 59—62.
25. Протасов А.А., Панасенко Г.А., Бабарига С.П. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 36—53.
26. Протасов А.А., Силаева А.А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. — Киев, 2012. — 274 с.
27. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. — Минск: Беларуская навука, 2010. — 230 с.
28. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — Киев, 2011. — 234 с.
29. Шиманский Б.А. Биологические помехи в эксплуатации систем технического водоснабжения тепловых электростанций и методы борьбы с ними // Гидробиол. журн. — 1968. — Т. 4, № 3. — С. 93—94.
30. Afanasiyev S.A. Development of European approaches to biological assessment of the state of hydroecosystems and their application to the monitoring of Ukrainian rivers // Hydrobiol. J. — 2002. — Vol. 38, N 4. — P. 130—148.
31. Zubkov E., Biletski L., Zubkov N. et al. The metal accumulation in aquatic plants of Dubăsari and Cuciurgan reservoirs // Ştiinţele Naturii. — 2013. — Vol. 29, N 2. — P. 216—219.
32. Lebedenco L. The influence of thermal power station on the zooplankton communities in the cooling-reservoir Cuciurgan // Intern. Conf. of Zoologist «Actual problems of protection and sustainable use of the animal world diversity». — Chisinau: Continental Grup SRL, 2011. — P. 174—175.
33. Protasov A.A., Dyachenko T.N., Silayeva A.A., Yarmoshenko L.P. First records of some species of macrophytes in the cooling pond of the Khmelnitskiy NPS // Hydrobiol. J. — 2012. — Vol. 48, N 2. — P. 16—20.
34. Protasov A.A., Sylaiava A.A. Contourization and Its Features in Technoecosystems // Inland Water Biology. — 2014. — Vol. 7, N 2. — P. 101—107.
35. Usatii M., Crepis O., Usatii A. et al. Changes in species ratio from ichthyofauna and structure of their areas in the process of ecological succession of Cuciurgan reservoir // J. of Wetlands Biodiversity. — 2014. — Vol. 4. — P. 113—120.
36. Ungureanu L., Tumanova D., Ungureanu G., Melnicus C. Diversity and phytoplankton functioning in the Cuciurgan reservoir // Abstr. the VIII Intern. Conf. of Zoologists «Actual problems of protection and sustainable use of animal world diversity», 10—12 Oct. 2013, Chisinau. — Chisinau, 2013. — P. 235.

¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

² Институт зоологии Академии наук

Молдовы, Кишинев

Поступила 14.11.14