

УДК (574.63+574.5):001.8

А. А. Протасов, Г. А. Панасенко, С. П. Бабарига

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, ИХ ТИПИЗАЦИЯ И  
ОСНОВНЫЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ  
ОГРАНИЧЕНИЯ**

Рассмотрены концептуальные положения технической гидробиологии, связанные с исследованием техноэкосистем. Обсуждаются основные гидробиологические принципы, связанные с проблемой биологических помех в водоснабжении, в частности в системах водоснабжения ТЭС и АЭС и их ограничения различными методами.

*Ключевые слова:* техноэкосистема, водоем-охладитель, биологические помехи, зооперифитон, методы борьбы с обрастанием, системы водоснабжения.

Многочисленные и разнообразные воздействия технических объектов на окружающую среду, в частности на гидрозкосистемы хорошо известны [21, 27, 30, 32, 45]. Однако и технические объекты, в частности их системы водоснабжения, не изолированы от влияния жизнедеятельности гидробионтов, которые могут оказывать существенное влияние на их работу. Так, сообщества гидробионтов водоемов-охладителей энергетических станций, оказывают значительное влияние на процессы формирования качества воды, а также выступают агентом разнообразных биологических помех в работе оборудования. Исследование как прямого влияния технических объектов, в частности энергетических станций (ТЭС, АЭС) на гидрозкосистемы, так и обратного воздействия на работу технических систем позволило сформулировать концепцию техно-экологической системы, согласно которой экологические и инженерно-технические элементы рассматриваются в единстве взаимосвязей [25, 28]. Техно-экологическая система представляет собой совокупность биотопов природного и антропогенного характера, их населения, объединенных системой прямых и обратных связей, изменяющихся в пространстве и во времени.

Большая часть биоценозов водных экосистем, непосредственно или опосредованно связанных с системами водоснабжения, в той или иной мере влияет на формирование биологических помех в работе технических систем. Биологические помехи — это явление взаимодействия между техниче-

скими и биологическими элементами техно-экосистемы, в результате которого само присутствие организмов, продуктов их жизнедеятельности, или их остатков оказывают негативное влияние на нормальную эксплуатацию технических систем.

*Биологические помехи следует отличать от биологических повреждений*, последние представляют собой «любое нежелательное изменение в свойствах материалов и изделий, вызванное жизнедеятельностью организмов» [12]. Проблемы, связанные как с биопомехами, так и с биоповреждениями в гидросфере, находятся в поле исследований технической гидробиологии. Различные устройства и системы водоснабжения сконструированы, как правило, без учета вероятности возникновения биологических помех, если последние и предполагаются, то в основном как внешний механический фактор.

Целью данной работы являлось обобщение концептуальных положений, связанных с выработкой стратегических и конкретных мероприятий при эксплуатации систем водоснабжения в условиях взаимодействия технических и экологических факторов, приводящих к возникновению биологических помех. Основное внимание уделено биологическим помехам в работе ТЭС и АЭС.

**Структура техно-экологических систем.** Техно-экологическая система представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов биологического и технического характера. В ее состав для энергетических станций входят: экосистема водоема-охладителя (другого водного объекта, используемого для охлаждения циркуляционных вод и источника техводоснабжения) со всей совокупностью взаимосвязанных между собой и внешней средой организмов, экосистемы подводящих охлаждающую и отводящих подогретую воду каналов как гидротехнических объектов, а также системы технического водоснабжения самой станции (рисунок).

Например, система водоснабжения Хмельницкой АЭС, расположенной в северо-западной части Украины, включает несколько взаимосвязанных водных объектов — пруд-охладитель, подводящий канал, заполненные водой технические объемы и трубопроводы, отводящий канал, а также системы подачи воды для химической подготовки. Около 97,4% всего объема воды приходится на пруд-охладитель, 1,3% — подводящий канал, 1,2% отводящий канал, 0,1% — на системы водоснабжения АЭС. В летний период циркуляционные насосы двух насосных станций перекачивают до 400 000 м<sup>3</sup>/час, или 9,6 млн. м<sup>3</sup>/сут, что составляет около 8% всей воды в системе.

**Происхождение и источники биологических помех.** В работе систем водоснабжения они возникают в результате жизнедеятельности различных организмов, в первую очередь гидробивентов, обитающих в водисточнике или системах водоснабжения. Бактерии, водоросли, протисты, беспозвоночные и позвоночные животные, высшие растения могут вызывать биологические помехи [2, 4, 39, 41, 54, и др]. В составе зооперифитона водоемов-охла-

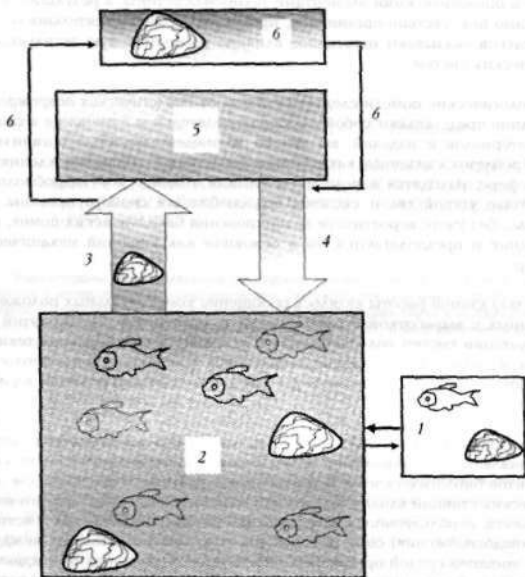


Схема техноэкологической системы энергетической станции. 1 — выносные теплообменники; 2 — водоем-охладитель (другая система охлаждения); 3 — подводный канал; 4 — отводящий канал; 5 — теплообменник; 6 — система технического водоснабжения.

дителей умеренной зоны к видам, представляющим потенциальную угрозу в аспекте биологических помех, кроме широко известных моллюсков р. *Dreissena* относятся также губки *Spongilla lacustris* L., *Ephydatia mulleri* Lieberkühn, мшанки *Plumatella emarginata* Alm. и *P. fungosa* Pallas, полип *Cordilophora caspia* Pallas, а также нитчатые водоросли и некоторые высшие водные растения.

Остро проблема биологических помех проявляется при массовом развитии дрейссены (*Dreissena polymorpha* Pall., *D. bugensis* (Andr.)), поселения которой, как правило, отличаются высокой биомассой и численностью [37, 38, 47, 50, 52]. Биологические помехи, вызываемые поселениями этих гидробионтов, связаны с их массовым развитием и имеют два аспекта. Первый связан с развитием поселений вблизи водозаборных устройств и занос-

сом ее створок после отмирания в системы. Такими же «резервуарами» биологического, перемещаемого потоком воды материала, могут быть и отдельные участки систем водоснабжения. Второй аспект связан с собственно обростанием различных поверхностей, увеличением гидравлической шероховатости, закупоркой трубопроводов, фильтров и т.п.

*Предпосылки к возникновению биопомех* в водоснабжении могут быть разделены на природные и антропогенные. К первым необходимо отнести: естественные процессы расселения организмов в водоемах, процессы, связанные с размножением, активный и пассивный выбор организмами наиболее благоприятных местообитаний, концентрация организмов в одновидовых поселениях, активизация биологических процессов на разделах фаз. К антропогенным (техническим) предпосылкам следует отнести конструкцию водоема-охладителя, систем водозаборных устройств, подводящего канала, при конструировании которых обычно не учитываются возможные биологические помехи. В некоторых случаях конструкция гидросооружений даже благоприятствуют развитию организмов. Работа насосных станций создает медленную, но постоянную циркуляцию вод в охладителе, что способствует распространению организмов по водоему, а также попаданию их в системы водоснабжения. Наличие гидросооружений, разнообразных облицовок определяет наличие множества благоприятных твердых субстратов для поселения организмов обростания.

**Типизация биологических помех.** Биологические помехи могут быть типизированы не только по их характеру и локализации [3, 5], но и по их происхождению, долговременности, периодичности и т.д. Типизация биологических помех необходима, поскольку каждый из вариантов требует своего подхода к мониторингу биологических явлений, выбору методов предупреждения и устранения [7, 43].

Можно выделить 6 типов биопомех по их локализации в техноэкосистеме, включающей АЭС или ТЭС.

I. Биопомехи, возникающие при эксплуатации собственно водоема-охладителя, которые выражаются в отклонениях от его проектных характеристик.

II. Биопомехи, возникающие в системах подведения и отведения циркуляционной охлаждающей воды ТЭС или АЭС, устройства дополнительного охлаждения (подводящий, отводящий каналы, брызгальные бассейны, градирни).

III. Биопомехи, возникающие в системах циркуляционного водоснабжения и теплообменниках.

IV. Биопомехи, возникающие в системе водоводов технического водоснабжения.

V. Биопомехи, возникающие в системах водоснабжения из внешних по отношению к водоему-охладителю источников.

VI. Биопомехи, возникающие в системе химводоподготовки.

Биологические помехи могут возникать вследствие жизнедеятельности различных организмов. Могут быть выделены биопомехи по их происхождению и генезису:

A — биопомехи, вызываемые бактериями;

B — биопомехи, вызываемые организмами растительного происхождения (микроводоросли планктона, нитчатые водоросли, высшие водные растения и др.);

C — биопомехи, вызываемые животными (прикрепленные и подвижные животные);

D — биопомехи смешанного характера.

Необходимо также различать биопомехи, вызываемые непосредственным присутствием тех или иных организмов в том или ином участке системы и биопомехи, вызываемые приносом организмов или их остатков из других участков системы:

a) биопомехи, вызываемые присутствием и жизнедеятельностью гидробионтов в системах водоснабжения (обрастание, зарастание высшими водными растениями);

b) биопомехи, происходящие в результате дрефта и накопления влекомых наносов.

В некоторых случаях может оказаться важным, являются ли биопомехи следствием жизнедеятельности организмов аборигенной фауны и флоры, либо занесенных извне, инвазийных. Поэтому следует различать биопомехи:

1) вызываемые аборигенными видами организмов;

2) вызываемые инвазийными видами (видами-вселенцами).

Все живые организмы в той или иной степени в своей жизнедеятельности связаны с периодическими, сезонными природными явлениями. Поэтому по характеру периодичности их развития можно выделить биопомехи:

K — круглогодичного характера;

П — периодически возникающие, сезонные;

Э — связанные с экстремальными явлениями (жаркая погода, сильный шторм).

Таким образом, в каждом конкретном случае может быть составлена формула биопомех, что может быть важно, в частности, при мониторинге. Например, формула (I-B-a-1-II) говорит о том, что в данном случае наблюдаются периодические биопомехи, которые локализованы в водоеме-охладителе, вызываются аборигенными растениями, непосредственно обитающими в водоеме.

**Биопомехи I типа**, возникающие при эксплуатации водоема-охладителя могут быть связаны со следующими процессами:

- зарастание водоема-охладителя высшей водной растительностью, что приводит к уменьшению активной поверхности теплообмена, изменениям в гидродинамическом режиме [41];
- скопление на поверхности воды планктонных водорослей при «цветении» воды, всплывающих нитчатых водорослей, скоплениями растений с плавающими листьями, что приводит к снижению теплопередачи в атмосферу;
- скопление на дне водоема биогенных отложений в виде раковин моллюсков, остатков высших водных растений, что приводит к уменьшению глубины водоема, созданию предпосылок массового поступления в системы водоснабжения взвешенных биогенных наносов;
- массовое развитие организмов зоопланктона (некоторых ракообразных, например, *Cercopagis*), что приводит к их заносу в системы водоснабжения и ухудшению фильтрующей способности вращающихся сеток блочных насосных станций (БНС);
- массовая гибель гидробионтов при значительном повышении температуры, ухудшении кислородного режима и т.п., что приводит к увеличению концентрации органического вещества в воде, усиленного образования биопленок на теплообменных поверхностях.

**Биопомехи II типа**. Особенно опасны биопомехи, возникающие в подводящих каналах, поскольку они сказываются непосредственно на работе БНС. Следует учитывать, что в подводящем канале складываются благоприятные условия для развития многих гидробионтов, в частности дрейссены в связи с постоянным течением, приемлемым кислородным режимом, приносом из водоема необходимой пищи. Биологические помехи здесь связаны с несколькими факторами, которые можно типизировать следующим образом:

- накопление и снос биогенного материала в первую очередь раковин моллюсков дрейссены, высших водных растений;

- увеличение гидравлической шероховатости откосов канала;
- концентрация личинок 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, например скопление друз дрейссены на твердом бетонном субстрате создает условия для произрастания укореняющихся высших водных растений.

Биологические процессы, происходящие в отводящем канале, могут иметь отношение к формированию помех в следующих аспектах:

- в период высоких температур воды в каналах — массовое развитие, последующий вынос в водоем, и возможное попадание в подводящий канал термофильных нитчатых водорослей;
- массовая гибель гидробионтов в отводящем канале при значительном повышении температуры, которая приводит к увеличению концентрации органического вещества в воде водоема-охладителя, что увеличивает опасность образования биопленок на теплообменных поверхностях.

*Биопомехи III типа*, возникающие в водоводах циркуляционного водоснабжения могут быть как следствием попадания биогенного материала (бактерии, раковины моллюсков, нитчатые водоросли, высшие водные растения, рыбы) в системы водоснабжения, так и развития обрастания в самой системе. В последнем случае наибольшую опасность представляют поселения моллюска дрейссены, губок, мшанок. Они могут образовывать значительное обрастание, до нескольких кг/м<sup>2</sup>, на стенках камер циркуляционных насосов. На тепловых и атомных станциях фиксировали незначительные обрастания на трубных досках в холодных камерах конденсаторов. На внутренних поверхностях трубок конденсаторов в связи с высокими скоростями воды и высокой температурой макрообрастание не образуется. Биологические помехи здесь могут вызывать бактериальные пленки на теплообменных поверхностях.

*Биопомехи IV типа*, возникающие в водоводах систем технического водоснабжения могут определяться поступлением живых организмов и биогенного материала извне или других участков систем и развитием организмов в системах водоснабжения.

Необходимо иметь в виду, что первая группа биопомех связана с особенностями систем техводоснабжения, а именно существованием однопоточного потока воды и постепенным уменьшением сечения трубопровода. Биогенный материал в виде раковин дрейссены, колоний губок, мшанок, свободно проходящих через одни участки, может забивать просветы в других, меньшего сечения. Поселяющиеся в системах охлаждения организмы

даже при благоприятных условиях живут в системах лишь определенное время, после их отмирания образуется биогенный материал, который может стать причиной биопомех. Фильтрующие элементы систем, призванные ограничивать попадание инородных частиц в системы водоснабжения сами могут обрастать организмами и не выполнять своих функций.

Биопомехи бактериального происхождения могут играть существенную роль в теплообменниках. Развитие бактериальных пленок напрямую зависит от содержания органических веществ в воде, термического и гидрохимического режимов.

Биопомехи растительного происхождения очень разнообразны. Высшие водные растения в большом количестве могут развиваться в водоеме и каналах. Прямое их воздействие связано с зарастанием водоемов и уменьшением охлаждающей способности последних, а также сносом течением к БНС, особенно погруженных растений. Макроводоросли, которые могут оказывать биологические помехи, представлены в основном нитчатыми зелеными, синезелеными и диатомовыми, развиваются в большей или меньшей степени в течение всего года. Для их развития необходимо солнечное освещение, поэтому в техноэкосистеме они могут вегетировать везде, кроме затемненных участков систем водоснабжения. Существенную роль в распределении различных водорослей в техно-экологической системе играет термический режим. Например, массовое развитие нитчатых синезеленых приурочено к зоне сброса подогретых вод.

Животные, вызывающие биологические помехи, многообразны. Из них наибольший ущерб могут нанести прикрепленные, имеющие большую численность и биомассу, такие как два вида дрейссены, некоторые мшанки, губки. Наблюдения за развитием дрейссены в различных водоемах показывает, что наибольшего обилия они достигали в различных водохранилищах, технических водоемах, охладителях, каналах [37, 38].

**Гидробиологические и технические принципы и стратегии ограничения биологических помех.** Выявление закономерностей организации техно-экологической системы для обоснования и разработки принципов контроля тех или иных их характеристик базируется в первую очередь на *системном иерархическом принципе* [1, 22]. Водоем-охладитель как элемент техно-экосистемы входит в более крупную ландшафтно-гидрологическую систему и в то же время включает в себя несколько более частных систем биотической и небитической природы. Данный принцип предполагает существование как прямых, так и обратных связей, что для техно-экологической системы выражается в двух взаимосвязанных аспектах: воздействии работы технических систем на биотические сообщества и обратном влиянии гидробионтов на работу оборудования.

Экологическая система обладает большой сложностью, поэтому для описания и поиска путей управления необходимо соблюдать *принцип достаточного полного описания* [21, 22]. При этом следует учитывать, что правильные



ориентировочные ответы относительно существенных моментов в конечном итоге важнее точного знания несущественных деталей [21]. Принцип достаточности предполагает осуществление и *принципа полноты*, который требует описания наиболее существенных взаимосвязей.

Биологические помехи — явление, как правило, локальное и значимо только в определенных участках систем водоснабжения, однако по своему происхождению имеет в той или иной мере отношение ко всей техно-экологической системе. Поэтому следует признать, что предпосылкой снижения уровня биопомех является контроль за состоянием всей экосистемы, включая пруд-охладитель энергетической станции.

Многие биологические помехи возникают в результате массового отмирания гидробионтов в системах водоснабжения, включая и водоем-охладитель. Во избежание этого необходимо учитывать *принцип стабилизации экологических условий*, который состоит в том, чтобы не допускать резких изменений экологических факторов среды для гидробионтов, прежде всего температуры. Изменения должны быть подобны сезонным изменениям в естественных водоемах. При проектировании и эксплуатации водоемов-охладителей следует иметь в виду, что их размер, емкость и площадь — не только факторы, важные с технической точки зрения для теплообмена, но и, с экологической точки зрения, предпосылка *буферности*, то есть смягчения последствий резких колебаний факторов среды для гидробионтов.

Необходимо также учитывать *синергизм* факторов, поскольку резкие изменения одного фактора могут повлечь за собой изменение других, действие которых на организмы более ощутимо. Например, в значительной мере связаны температура и кислородный режим.

Экономическая и экологическая эффективность применения тех или иных методов ограничения биопомех во многом связана с соблюдением принципа *локальности*. Он предусматривает, с одной стороны, достаточное исследование локализации источников биологических помех, с другой — проведение тех или иных мероприятий по их устранению максимально локально. Правильный выбор точки применения будет определять эффективность и затратность мероприятий.

Принцип локальности применения мер борьбы непосредственно связан с принципом экологической *безопасности*. Те или иные применяемые реагенты, призванные оказывать *угнетающе* действие на нежелательные организмы, также могут быть вредны или опасны для человека или гидробионтов, не являющихся источником биопомех. Поэтому локальное применение различных методов не только делает их более эффективными и менее дорогими, но и более безопасными для человека и окружающей среды.

Любые методы ограничения биопомех могут быть эффективными только при условии учета биологических особенностей гидробионтов. Одним из важных принципов является принцип *разрыва жизненных циклов* развития

нежелательных организмов. Он основывается на том, что все организмы, в том числе и вызывающие биологические помехи, имеют определенные онтогенетические циклы и уничтожение какой либо из стадий развития приводит к невозможности дальнейшего существования популяции. Например, в жизненном цикле моллюсков дрейссена можно выделить стадию личинки, плавающей в воде, стадию оседающей личинки, стадию молодых подвижных особей и взрослую стадию прикрепленного моллюска. Каждое звено этого цикла имеет различную устойчивость к внешним воздействиям. Например, личиночные стадии выдерживают гораздо меньшие концентрации химических реагентов, чем взрослые особи.

Не менее других важен принцип ограниченности управления и оптимизации контроля. Следует признать то, что при большой сложности процессов, малой их предсказуемости, большой стоимости затрат абсолютное управление всей техно-экосистемой в части устранения биопомех и причин, их порождающих, практически невозможно. Чаще всего экономические потери велики не в связи с уровнем или характером биопомех, а из-за их неожиданности, в связи с чем особую важность имеют постоянные наблюдения, мониторинг основных процессов.

Необходимо также учитывать принцип приоритетности. Очевидны два основных взаимосвязанных приоритета — обеспечение безопасности и надежности работы оборудования и соблюдение условий охраны окружающей среды, в частности гидрозкосистем, от нежелательных техногенных воздействий.

**Основные методические приемы и методы ограничения биологических помех, вызываемых гидробионтами.** Одной из задач гидробиологического мониторинга в техно-экологических системах является сбор материалов для прогнозирования биологических помех. Такой прогноз позволяет применять различные предупреждающие методы. Именно проведение гидробиологических и экологических исследований позволяет прогнозировать вероятный ход формирования биологических помех. Меры борьбы с организмами, вызывающими биологические помехи, должны быть как профилактическими, так и активными [41]. Первые должны быть предусмотрены еще на стадии технического проектирования. Важно то, что предупреждающие методы должны базироваться на контроле ключевых экологических факторов, таких как температура, скорость течения и характер гидродинамики, свойства поверхностей [3].

Активное ограничение тех или иных видов биологических помех может быть осуществлено различными методами, однако применение их должно базироваться на соблюдении определенных общих принципов и стратегий. Наиболее простая стратегия — это *невмешательство* до определенного момента в процессы формирования, например, обрастания и *периодическое уничтожение* нежелательных организмов. При применении этого подхода чрезвычайно важными являются мероприятия по постоянному контролю за развитием организмов, вызывающих биологических помехи. Необходимо

точно, исходя из закономерностей биологической цикличности развития гидробионтов, устанавливать момент применения тех или иных методов борьбы.

Следующую стратегию можно назвать стратегией *перехвата зачатков*. Она базируется на особенностях организации сообществ обрастания: их основу составляют прикрепленные формы, и их расселение происходит планктическими личинками или другими плавающими формами. Осуществление этой стратегии может идти по двум направлениям: 1) уничтожение (значительное нарушение всех функций) плавающих личинок и 2) перехват личинок на субстраты, на которых развитие обрастания не вызывает негативных последствий.

Наибольшие потери несут различные системы технического водоснабжения именно от обрастания [8, 15, 17, 24, 31, 46]. Оно представляет собой совокупность живых организмов, обитающих в прикрепленном и подвижном состоянии на поверхности различных субстратов, находящихся в непосредственном контакте с водной средой.

Общая схема применения методов ограничения биологических помех от обрастания предусматривает применение нескольких ее типов [31, 44, 49, 50]. Предлагаемые и применяемые принципы и методы могут быть классифицированы (таблица). Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Механические способы надежны, но трудоемки [14, 16, 19, 33]. Применение электрического тока [13, 20, 39, 40, 48] энергоемко. Применение подогретой воды и высушивание перспективно только в тех случаях, когда возможны длительные остановки агрегатов с полным осушением системы [17, 36].

Одним из эффективных средств борьбы с обрастаниями является хлорирование или применение так называемых оксидантов, однако оно опасно для персонала и окружающей среды [53]. В качестве моллюскоцидов не окисляющего действия предлагается целый ряд препаратов: BULAB 6002, BULAB 6009, Calgon H-130M, Clam-Trol™, MACROTROL 9210, VelIGON, MEXEL-432 и другие. Обладая моллюскоцидностью, то есть избирательно воздействуя на моллюсков они не обладают «дрейссеноцидностью», то есть избирательно не влияют именно на дрейссену как основного источника биопомех. При попадании в водоемы они, конечно, могут нанести вред моллюскам вне систем водоснабжения [53].

Часто для защиты от обрастания применяют *необрастающие краски* [35, 52]. Они имеют сложный состав и опасны для людей, так как в них входит целый комплекс токсичных соединений. Проводились исследования биоцидных свойств антикоррозионных покрытий VMX-Базальт [10] с различными антиобрастающими добавками [9, 24]. Предлагается использовать фурановый бетон [38]. Были проведены также разработки добавок в бетонные растворы, которые снижали их обрастание [29]. Применяют покрытия на

# I. Принципы и методы ограничения биологических помех (по [6, 44, 46, 50, 51] с дополнениями)

Методы превентивные		Методы активные			
конструктивные	эксплуатационные	механические	физические	химические	биологические
Выбор параметров морфометрии водоемов-охладителей и водотоков	Регулирование термического режима	Фильтрация планктонных стадий	Угнетение планктонных личиночных стадий	Окисданы (хлор, бром, озон и др)	Гидробионты хищные
Выбор соотношения площадей естественных и антропогенных субстратов	Регулирование гидродинамического режима	Механическая уборка, очистка	Обработка воды ультрафиолетовым излучением, ультразвуком, магнитным полем	Неоксиданты (соединения тяжелых металлов, тетраамины и др)	Гидробионты растительные
Учет возможной биопозитивности конструкций	Ограничение притока биогеогенных элементов, органических загрязнений	Смыв высокоскоростным потоком	Катодная защита	Специфические биоциды (бактериоциды, альгициды, моллюскоциды)	Водные птицы
Выбор гидродинамического режима		Выкашивание растительности	Разрушение обрастания		Паразиты
Учет уровня режима		Предотвращение дреффа	Термообработка		
Конструкция водозаборных устройств		Перехват влекомых наносов	Осушение		
Выбор необрастающих материалов и покрытий			Иммобилизация (накрытие)		
Использование замкнутых систем водоснабжения			Давление		
			Радиоволны частотой > 500 Hz		
			СВЧ		
			Разрушение гидроударом в сочетании с высокой температурой		

основе силиконов, антиобрастающее действие которых основано на создании поверхностей, неблагоприятных для прикрепления личинок [48].

Поскольку сама причина биологических помех кроется в развитии тех или иных организмов, естественным представляется поиск путей их устранения или ограничения развития при помощи тех факторов, которые регулируют их численность в природе [23, 37, 39]. Так, велигеры Дрейссены отмечены в пищевом рационе 15 видов рыб из 4 семейств, в европейских водоемах ювенильные и взрослые особи дрейссены отмечены как объект питания 27 видов рыб из 5 семейств, 21 вида птиц [50]. У дрейссены обнаружены бактерии и внутриклеточные прокариотические патогенные организмы [18, 42, 49]. Существенное патогенное влияние наблюдается также при паразитировании трематоды *Phyllodistomum spp.* (локализация в жабрах и в гонаде моллюсков) [11]. Ризобактерия *Pseudomonas fluorescens* использовалась для контроля развития дрейссены [8].

**Принципы организации мониторинга биологических помех и процессов, их вызывающих.** Целью гидробиологического мониторинга является предупреждение биологических помех и контроль за эффективностью мер их ограничения. Задачи его могут быть сформулированы в четырех направлениях:

- контроль в системах водоснабжения за развитием организмов, вызывающих биопомехи для своевременного начала мероприятий по их устранению;
- контроль биологических факторов (хищники, паразиты) регуляции численности нежелательных видов;
- контроль во всей техно-экологической системе за появлением новых агентов биологических помех и развитием организмов, которые способны непосредственно или опосредовано влиять на агентов биопомех;
- контроль за экологическим состоянием водосточника, в первую очередь за процессами, обуславливающими биологические помехи.

Исходя из концепции техно-экосистемы, популяции организмов могут быть совершенно нейтральными и, обитая в водоеме, становиться причиной биопомех, поселяясь в системах водообеспечения и водоснабжения. Следовательно, необходим выбор места проведения мониторинговых мероприятий. В самом общем случае минимумом таких точек мониторинга может быть три: водоем-охладитель, подводящий канал и один из ответственных участков систем водоснабжения. Один из важных методических вопросов, в первую очередь для контроля за оседанием и развитием личинок дрейссены — разработка и создание стенов для экспонирования субстратов и отбора проб.

Полученные при мониторинге результаты должны быть достоверными и надежными, поскольку на их основании будут приниматься ответственные решения. Для контроля за формированием возможных биопомех в системах

технического водоснабжения целесообразно создание модельных систем для постоянного мониторинга.

### Заключение

Проблема биологических помех в работе различных технических систем, связанных с теми или иными водными объектами является одной из важных для технической гидробиологии. Однако ее нецелесообразно сводить лишь к разработке методов устранения различных их типов, например обрастания. В круг интересов технической гидробиологии должна входить целостная техно-экологическая система. Важно отдавать отчет в том, что в этой системе технические и биотические составляющие тесно взаимосвязаны прямыми и обратными связями. Поэтому снижение биологических помех в водоснабжении является фактором повышения надежности работы технических систем и снижения их негативного влияния на окружающую среду.

..

*Розглянуто концептуальні положення технічної гідробіології, які пов'язані з дослідженням техно-екологічних систем. Обговорено основні гідробіологічні принципи та методи, направлені на вирішення проблеми біологічних перешкод у водопостачанні, в тому числі і в системах ТЕС та АЕС, їх обмеження різноманітними методами.*

..

*The conceptual principles of technical hydrobiology, related to research of techno-eco-systems, are considered. The basic hydrobiological principles related to the problem of biological hindrances in the water-supply are discussed, in particular in the water systems of TPP and NPP and their control by different methods.*

..

1. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. — Л.: Гидрометиздат, 1989. — 151 с.
2. Афанасьев С.А., Сигерский А.В., Шатохина А.В. Обрастание в подводящем канале атомной электростанции как фактор биологических помех // Гидробиол. журн. — 1990. — Т. 26, № 2. — С. 25—29.
3. Афанасьев С.А. Биологические помехи в водоснабжении электростанций // Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка. — 1991. — С. 160—174.
4. Афанасьев С.А., Романова Е.Г., Слепнев А.Е. Бактериальные обрастания теплообменного оборудования // Гидробиол. журн. — 1991. — Т. 27, № 5. — С. 56—61.
5. Афанасьев С.А. Биологические помехи в водоснабжении тепловых и атомных электростанций // Там же. — 1995. — Т. 31, № 2. — С. 3—9.
6. Афанасьев С.А., Воскресенская И.Б., Нестеренко Г.В. и др. Оценка биоцидных свойств некоторых защитных покрытий для борьбы с обрастанием теплообменной аппаратуры // Там же. — 1997. — Т. 33, № 1. — С. 43—50.

7. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці // Бібліотека журн. ІТЕ. — Харків: УкрНДІЕП, 2000. — Т. 1. — 243 с.
8. Вахнин И.Г., Егоров А.И. Эффективный метод борьбы с мшанкой в системах оборотного водоснабжения // Тр. ВНИИ ВОДГЕО. — 1977. — № 66. — С. 39—41.
9. Ефанова В.В. Анतिकоррозионные толстополеночные полимерные покрытия с активированными базальтовыми чешуйками для защиты металло- и железобетонных конструкций // Будівельні конструкції. — 2000. — Вип. 52. — С. 266—273.
10. Ефанова В.В. Влияние базальтового чешуйчатого наполнителя на процесс формирования полимерных покрытий барьерного типа // Хім. пром-сть України. — 2000. — № 3. — С. 52—57.
11. Здун В.И., Киселене В.К., Каратаев А.Ю. Паразиты // Дрейссена *Dreissena polymorpha* Pallas (Bivalvia, Dreissenidae). Систематика, экология, практическое значение. — М.: Наука, 1994. — С. 196—206.
12. Ильичев В.Д., Бочаров Б.В., Анисимов А.А. и др. Биоповреждения. — М.: Высш. шк., 1987. — 352 с.
13. Кирпиченко М.Я., Михеев В.П., Штерн Е.П. О борьбе с обрастаниями дрейссеной на гидроэлектростанциях. — Электр. станции. — 1962. — № 5. — С. 34—36.
14. Кучеренко Д.И. Борьба с биологическими обрастаниями и механическими отложениями в системах оборотного водоснабжения с минимальными энерго- и материалозатратами // Экономия энергии и материалов в процессах очистки сточных вод и оброб. осадков. — М., 1984. — С. 99—104.
15. Лучина М.А., Малышева Т.И., Бугнавич М.И. Исследование средств защиты от обрастания моллюском дрейссеной металлоконструкций Цимлянской ГЭС // Биол. повреждения строительных и промышленных материалов: Материалы Всесоюз. школы-семинара, Киев, 1976. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 229—230.
16. Лучина М.А., Малышева Т.И., Нороха Ю.М. Защита от обрастаний моллюском дрейссеной металлоконструкций и водоводов ТЭС и АЭС // Тр. коорд. совещ. по гидротехнике. — Л.: Энергия, 1975. — Вып. 100. — С. 69—71.
17. Лучина М.А., Малышева Т.И., Фрост Е.И. и др. Исследования средств защиты от обрастания дрейссеной подводных конструкций Цимлянской ТЭС // Гидротех. строительство. — 1978. — № 8. — С. 25—28.
18. Мاستицкий С.Э. Эндосимбионты двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha* Pallas в водоемах Беларуси: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. — Минск, 2004. — 22 с.
19. Михеев В.П., Дудников В.Ф., Штерн Е.П. Защита гидротехнических сооружений от обрастания ракушкой дрейссены. — М.: Энергия, 1969. — 65 с.
20. Нороха Ю.М., Лубянов И.П. Електрохімічний метод захисту гідропоруд від біологічного обростання // Тез. Доп. І республ. конф. Гідробіол. тов-ва. — К., 1964. — С. 53—54.

21. *Одум Ю.* Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с.
22. *Оксиюк О.П., Стольберг Ф.В.* Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986. — 173 с.
23. *Осетров В.С., Горохов В.В.* Рыбы в борьбе с моллюсками — промежуточными хозяевами гельминтов. — М.: Наука, 1981. — 54 с.
24. *Протасов А.А.* Пресноводный перифитон. — Киев: Наук. думка, 1994. — 307 с.
25. *Протасов А.А.* Экологические и инженерные аспекты управления качеством воды в водоемах-охладителях и снижения отрицательного влияния внутриводоемных процессов на работу электростанций // Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 175—184.
26. *Протасов А.А., Гончаров В.В.* Влияние некоторых биоцидных добавок на обрастания цементных растворов в условиях водоема-охладителя // Новое в строительстве и эксплуатации водохозяйственных сооружений: Сб. УкрНИИГМИ. — Киев, 1987. — С. 87—91.
27. *Протасов А.А., Здановский Б.* К определению воздействия тепловых и атомных электростанций на гидрозосистемы с помощью экспертных оценок // Гидробиол. журн. — 2002. — Т. 38, № 1. — С. 95—105.
28. *Протасов А.А., Здановский Б.* К основным аспектам изучения экосистем водоемов-охладителей энергетических станций для их рационального использования // Материалы науч. конф. «Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования», Чита, 10—15 сент. 2001 г. — Чита, 2001. — С. 465—466.
29. *Протасов А.А., Силаева А.А., Ефанова В.В.* Оценка обрастания некоторых антикоррозионных покрытий в пресной воде // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 53—67.
30. *Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И.* и др. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
31. *Раилкин А.И.* Процессы колонизации и защита от биообрастания. — СПб.: Изд-во СПб ун-та, 1998. — 272 с.
32. *Россолимо Л.А.* Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. — М.: Наука, 1977. — 175 с.
33. *Старостин И.В.* Об обрастании технических водоводов на наших южных морях и некоторые способы борьбы с ними // Тр. Ин-та океанологии. — 1963. — С. 38—51.
34. *Старостин И.В., Уманский С.А.* Опыт эксплуатации и гидробиологическая характеристика дренажного водозабора Новороссийской ГРЭС // Там же. 1967. — Т. 85. — С. 101—123.
35. *Тавадзе Ф.Н., Кемхагзе З.В.* Морское обрастание сплавов, стали-3 в контакте с этими сплавами, испытание добавок алкалоидов к краске ХС-720А // Биокоррозия, биоповреждения, обрастания: Материалы I Всесоюз. школы. — М., 1976. — С. 164—165.



36. Фейгина З.С. Термический способ борьбы с обрастаниями дрейссеной нагретой водой в условиях тепловых электростанций // Электр. станции. — 1959. — № 10. — С. 42.
37. Харченко Т.А. Дрейссена: ареал, экология, биопомехи // Гидробиол. журн. — 1995. — Т. 31, № 3. — С. 3—10.
38. Шевцова Л.В. О распределении и развитии дрейссены в канале Днепр-Кривой Рог и меры борьбы с ней // Каналы СССР. — Киев: Наук. думка, 1968. — С. 173—179.
39. Шевцова Л.В., Харченко Т.А. Технология устранения обрастания дрейссеной трубопроводов оросительных систем. — Киев: Наук. думка, 1986. — 32 с.
40. Шендяков В.А. Действие электрического тока промышленной частоты на колонии *Dreissena polymorpha* Pall. // Биол. внутр. вод. Информ. Бюлл. — 1961. — № 10. — С. 22—27.
41. 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.
42. Юришинець В.І., Овчаренко М.О., Курягина Д.П., Низовська Л.В. Симбіофауна молюсків роду *Dreissena* у водоймах України // Таврійський наук. вісник: 36. наук. праць. — 2003. — Вип. 29. — С. 255—258.
43. Afanasyev S., Swiatecki A., Zdanowski B. Biozakłocenia w podgrzanych systemach — konsekwencje techniczne i ekologiczne // Jeziora Koninskie — 40 lat badan stan aktualny oraz wnioski dla ochrony. — Konin 1998. — S. 23—26.
44. Afanasyev S., Scherbak S., Gusak P. et al. Technology for Eliminating Dreissena Biofouling in Hydrofacilities // Water quality res. J. of Canada / Conservation of Biological and Landscape Diversity in the (Dnieper) River Basin. Canadian Association on Water Quality Monograph Series. — 2005. — N 6. — P. 142—148.
45. Earth systems. Processes and issues / Ed. By W. Ernst. — Cambridge: Cambridge University press, 2000. — 566 p.
46. Beschmidt J. Erste Ergebnisse der mikroskopisch-biologischen kontroll der Arbeitsweise von Mikrosieben. — Acta hydrochim. et hydrobiol. — 1984. — Vol. 12, N 4. — S. 419—423.
47. Chow W., Graham J.W. Cooling system biofouling control: assessment and practices // Proc. Amer. Power Conf., Chicago, 111. — 1983. — Vol. 45. — P. 1034—1039.
48. Jenner H., Whitehouse J., Taylor C., Khalanski M. Cooling water management in European power stations. Biology and control of fovling // Hydroecologie appliquee. — 1998. — Vol. 10, N 1—2. — P. 1—225.
49. Molloy D., Gaylo M. J., Mayer D. A., Presti K. Progress in the Biological Control of Zebra Mussels: Results of Laboratory and Power Plant Tests // 13<sup>th</sup> International Conference on aquatic invasive species, County Clare, Ireland. — 2004. — P. 82.

50. Molloy D.P., Karatayev A.Y., Burlacova L.E., Kurandina D.P. Natural Enemies of Zebra Mussels: Predators, Parasites, and Ecological Competitors // Reviews in Fisheries Science. — 1997. — Vol. 5 (1). — P. 17—97.
51. Nakayama S., Ozawa T., Yotsumoto H. et al. Prevention of biofouling by intermittent ozone injection // Abstr. 5<sup>th</sup> Jnt. Symp. Microb. Ecol. (JSME 5), Kyoto, Aug. 27 — Sept. 1, 1989. — 1990. — S. 1. — P. 124.
52. Palau A., Cia I. Metodos de control y erradicacion del mejillon ceбра (*Dreissena polymorpha*). — Madrid: ENDESA, 2006. — 71 p.
53. Sprecher S., Getsinger K. Zebra Mussel Chemical Control Guide / US Army Corp. Eng. — Washington, 2000. — 114 p.
54. Zebra mussels. Biology, impacts, and control // Ed. By T.Nalepa, D.Schloesser. — Boca Raton: Lewis Publ., 1993. — 810 p.