

УДК 574.65:502.211

А. А. Протасов

КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЫ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ

Обсуждается вопрос о структуре, целях и задачах технической гидробиологии. Рассмотрена концепция техно-экосистемы как ее основного объекта. Выделены особенности техно-экосистем, такие как своеобразная биотопическая структура, наличие высокоградиентных условий, малая предсказуемость поведения и развития. Вводится понятие экосистемно-биогеоценотического градиента. Рассмотрен вопрос о месте техно-экосистем в структуре биосферы.

***Ключевые слова:** техническая гидробиология, техно-экосистема, биосфера, электростанции, биологические помехи.*

С появлением на Земле человека биосфера включает уже не только естественные экосистемы, но и биокосные системы антропогенной или смешанной природы. Для поддержания их структуры требуется постоянное вмешательство человека [33]. Количество и масштабы этих «композитных» систем увеличиваются, можно говорить о глобальных процессах техногенеза в масштабах биосферы [34].

Природа отношений человека с окружающей средой сложна. В результате его деятельности, в соответствии с разнообразными потребностями, создается своеобразный новый техногенный мир — машин, агрегатов, строений и др. «Наши дома, орудия и сооружения, — писал В. Н. Беклемишев, — входят в качестве неживых частей в новую организацию живого покрова [Земли], которая создается под воздействием человечества» [5, с. 36]. Формируется техносфера — глобальная система технических объектов. Ссылаясь на работу З. Невеха [39], Ю. Одум [40] применяет термин «techno-ecosystem» (техно-экосистема), в которой, в отличие от природных экосистем, зависящих от энергии Солнца, человек использует энергию различного топлива. Современные города также рассматриваются как типичные техно-экосистемы [41]. Следует, однако, заметить, что энергия, используемая человеком («топливо») всегда имеет природное происхождение. Это относится не только к органическому топливу (нефть, уголь), но и к ядерному, поскольку изначально используются природные ископаемые материалы.

Автор концепции экосистемы А. Тэнсли рассматривал ее как природную единицу, часть «Лица Земли» [42], однако этот Лик Земли все более и более

© А. А. Протасов, 2014

изменяется, существенно пополняясь неприродными, антропогенными чертами.

Все шире распространяются техно-экосистемы и в гидросфере. Обладая определенной спецификой, они требуют своеобразных подходов к их исследованию. В гидробиологии существует специальный раздел, объектом которого и выступают водные техно-экосистемы, — техническая гидробиология, призванная изучать биокосные системы особого, лишь частично природного характера.

Целью данной работы является рассмотрение задач и проблем технической гидробиологии, а также концепции водной техно-экосистемы как основного объекта исследования этого раздела.

Гидробиология как любая научная дисциплина имеет свою структуру. Мы исходим из того, что объектом исследования гидробиологии является все разнообразие организмов-гидробионтов, их ассоциаций разного уровня и взаимосвязи со средой обитания. Предметом этой науки является их роль в биосферных процессах в масштабах от «гидробионт как целое» до «гидробиосфера как целое» [27, 28]. Гидробиология может быть разделена на общую, сравнительную, частную и прикладную. Последняя включает несколько разделов, которые имеют свои объекты исследования и задачи. Они непосредственно связаны с разнообразными аспектами деятельности человека в гидросфере.

Техническая гидробиология. Одним из разделов прикладной гидробиологии является техническая, в рамках которой изучают особенности структуры и функционирования водных техно-экосистем. Этот раздел связан с разнообразной деятельностью человека, направленной на производство энергии, материалов, изделий, эксплуатацией технических объектов в их связи с гидросферой.

Использование технических систем в гидросфере не должно оказывать негативного воздействия на жизнедеятельность человека, предполагает безопасность для человека и окружающих экосистем. Однако и технические системы не должны испытывать негативного влияния гидробионтов и экологических процессов. Био-технические системы могут использоваться для улучшения качества воды и получения дополнительной продукции. Существует целая группа техно-экосистем, где технические абиотические составляющие имеют конструкции, максимально благоприятные для развития гидробионтов, в результате жизнедеятельности которых техно-экосистемы в целом приобретают свойство биопозитивности. Сюда могут быть отнесены искусственные рифы, биоплато и другие биопозитивные конструкции [1, 37].

Необходимость выделения технической гидробиологии как отдельной области науки стала очевидной давно. Еще в конце 1930-х годов были определены главные направления исследований в этой отрасли, которые сводились к следующему: зарастание водохранилищ макрофитами и «цветение» воды, биология грибного, бактериального и водорослевого обрастания, раз-

вивающегося в водопроводных сооружениях и аппаратуре промышленных предприятий, процессы самоочищения, в том числе в искусственных водоемах, используемых в технических целях, обрастание судов, повреждения камнеточцами и древоточцами [18]. Позже задачи технической гидробиологии определялись более узко, в первую очередь необходимостью борьбы с биологическими помехами и обрастанием [10]. Таким образом, для ее задач была характерна определенная направленность на ограничение и борьбу с различными негативными явлениями в деятельности человека.

Техническая гидробиология имеет свою структуру, она рассматривает как общие, так и более частные вопросы (таблица). Первые связаны с разработкой ее принципиальных положений: основ структуры и функционирования техно-экосистем, их связи с природными экосистемами, месте техно-экосистем в структуре глобальных биосферных связей и процессов. Очевидно, что эти аспекты тесно связаны с фундаментальными общегидробиологическими вопросами. Частные задачи определяются необходимостью изучения как отдельных типов техно-экосистем, так и популяций и сообществ гидробионтов в техногенной среде.

Концептуальной основой технической гидробиологии является понятие водной техно-экосистемы.

Техно-экосистема — это совокупность биотопов природного и техно-антропогенного характера и их населения, объединенных потоками вещества, энергии и информации, изменяющихся в пространстве и времени [29, 36]. Система, в зависимости от среды, в которой она функционирует, может быть наземной, водной или смешанной. Водная техно-экосистема связана с гидросферой.

Для техно-экосистемы характерны различные соотношения технических (технические агрегаты, сооружения, трубопроводы, и др.), природных косных (водоемы, водотоки, участки ландшафтов, атмосфера) и живых элементов. Человек также входит в эту систему, однако его место и роль двояки: он выступает и как биотический элемент системы, и как ее проектировщик и создатель, «надсистемный» пользователь, а также потребитель результатов ее функционирования.

Понятия «экосистема» и «биогеоценоз» в концепции техно-экосистемы. Экологические понятия, связанные с биокосными системами, были разработаны для природных систем. Важно уяснить как сходство, так и различие между природными и антропогенными экосистемами.

Экосистема — понятие скорее функциональное, в отличие от биогеоценоза, являющегося понятием более биохорологическим [15]. Биогеоценоз обычно связывают с определенным участком суши или акватории с достаточно однородными характеристиками условий обитания сообщества организмов и характерным спектром биоценологических отношений. Экосистема и биогеоценоз — понятия близкие, но не идентичные. Различия понятий не только концептуальные, они отражают реальное разнообразие биокосных систем. Хотя А. Тэнсли [42], вводя понятие экосистемы, рассматривал ее как

Общие и частные вопросы технической гидробиологии

Общие вопросы	Частные вопросы	
	Изучение отдельных типов техно-экосистем	Изучение биологических элементов техно-экосистем
Теоретическая разработка концепции техно-экосистемы	Изучение антропогенных логических (каналы), ленто-логических (водохранилища) техно-экосистем	Изучение организмов, вызывающих биопомехи, их популяций и сообществ
Типизация водных техно-экосистем	Изучение техно-экосистем ТЭС и АЭС (водоёмов-охладителей, получающих подогретые сбросные воды, систем охлаждения)	Выявление и изучение организмов — индикаторов техногенного воздействия
Изучение места и роли техно-экосистем в гидробиосфере	Изучение систем технического водоснабжения предприятий, систем водоподготовки и водоочистки	Изучение разного уровня адаптаций гидробионтов к условиям техно-экосистем
Теория биопозитивных техно-биологических систем	Разработка экологических потенциалов техно-экосистем разного типа, в том числе с учетом региональных факторов	Изучение популяций и сообществ гидробионтов, с помощью которых возможно повышение биопозитивности технических систем
Теория ограничения биологических помех (зарастание, обрастание и др.)	Изучение плавсредств, гидросооружений как техногенных биотопов с их населением	Изучение, прогноз и оценка опасности инвазийного процесса как угрозы создания биологических помех

элемент Лица Земли, в настоящее время этому представлению более соответствует понятие биогеоценоза [35]. Поскольку указанные понятия имеют как сходные черты, так и различия, конструктивным является введение понятия экосистемно-биогеоценотического градиента. Оно может снять существующие противоречия, связанные с их неоднозначностью. На одном полюсе этого градиента следует расположить экосистемы, для которых сложно либо вообще невозможно или нецелесообразно установление границ в хронологических рамках ландшафтов. Здесь можно провести прямую аналогию с «экосистемой Эванса»: согласно его концепции [38], экосистема обязательно должна иметь определенные пространственные границы и быть связанной с «Лицом Земли». В качестве такой экосистемы, очевидно, можно рассматривать и заполненную водой техническую систему трубопроводов с их населением, и корпус корабля с обрастанием, и лабораторный микроскоп.

На другом полюсе могут быть расположены биогеоценозы с выраженными характеристиками ландшафта или его крупной составляющей. Сюда, например, можно отнести водоем-охладитель АЭС со связанными с ним системами водоснабжения. Также в эту группу может быть включен золоотвал тепловой станции, работающей на угле, который обычно имеет вид техногенного ветленда, или искусственный водоток — канал с его населением. Строго говоря, их следует обозначить как био-гео-техно-ценозы.

Однако различия между системами на полюсах предлагаемого условного градиента, видимо, гораздо более глубокие. Вот что по поводу «экосистемы Эванса» в свое время отмечал Г. Г. Винберг: «... от расширительного понимания экосистемы не изменяется то, что в природе речь идет о **природной целостности с соподчиненными целому частями**. Если мы захотим произвольно взять часть по какому-либо признаку и, пользуясь Эвансом, назвать ее экосистемой, то от этого часть не перестанет быть частью» [23, с. 46, выделение наше — А.П.]. Таким образом, при всем многообразии биокосных систем следует понимать, что их целостность связана с тем, насколько они представляют собой элементы Лица Земли.

Разнообразие техно-экосистем в гидросфере значительно. Потребности человека широки и разнообразны, что обеспечивается множеством устройств, сооружений, технических и других антропогенных систем. Сочетание техногенных и природных элементов создает свой уровень разнообразия, кроме того, многообразны природные условия, в которых находятся эти технические элементы.

Строительство и работа ГЭС связаны с созданием на участке природного водотока новой техногенной экосистемы — водохранилища. Кроме того, на ГЭС существует система охлаждения агрегатов и фильтров воды, которые могут рассматриваться как локальная техно-экосистема. Крупные предприятия, в частности металлургические, имеют обширные системы водоснабжения, например протяженность водоводов завода «Азовсталь» составляет более 225 км [22]. Атомные и тепловые электростанции включают системы охлаждения и водоснабжения различной конструкции. Системы циркуляционного и технического водоснабжения электростанций представляют собой биотоп для сложного биоценоза [9, 13, 36].

Системы водоснабжения различных предприятий пространственно достаточно сложны, кроме того, они могут быть связаны с другими техно-экосистемами. Например, вода, забираемая из Каховского водохранилища, служит для охлаждения конденсаторов Запорожской ТЭС, часть сбросной воды идет на пополнение пруда-охладителя Запорожской АЭС. Она проходит по каналу в системы охлаждения АЭС, сбрасывается в пруд-охладитель, из него поступает на градирни и брызгальные устройства, из пруда-охладителя через устройство продувки попадает опять в Каховское водохранилище, которое само является антропогенным водоемом, то есть техно-экосистемой.

Сотни тысяч малых и крупных судов находятся и эксплуатируются в водной среде, суммарная поверхность их подводной части превышает 1000 км²

[32]. На ней, особенно в море, достаточно быстро формируется сложный ценоз обрастания [1, 11]. Судно имеет значительную по размерам систему технического водоснабжения агрегатов и устройств, которая также может быть населена организмами, поскольку связана с окружающей водной средой. Балластные танки судов являются еще одним техногенным биотопом [12]. Таким образом, все судно представляет собой техно-экосистему, хотя некоторые ее элементы не имеют непосредственной связи между собой.

Структура техно-экосистем. Техно-экосистемы — явление широко распространенное, их структура имеет определенные особенности. Роль и воздействие «техно-» элементов могут быть достаточно близкими к природным «гео-» элементам, хотя и те, и другие имеют свою специфику (под «гео-» мы понимаем весь комплекс косных элементов экосистем природного характера, то есть связанных с «Земной» средой, в том числе и водной). Например, температура представляет собой один из важнейших факторов в любой экосистеме, однако в технических она может быть намного выше, чем в большинстве естественных. Корпус судна или поверхность гидросооружений вполне сходны с естественными твердыми субстратами, на которых поселяются организмы перифитона, однако материал поверхности не имеет аналогов в природе. У водохранилища есть черты сходства как с озером, так и с рекой, однако значительные колебания уровня и гидродинамика в целом определяются преимущественно техническими причинами, это особая техно-экосистема.

Согласно общей теории систем, косные компоненты техно-экосистем, с одной стороны, и биотическая подсистема, с другой — представляют собой подсистемы различного, даже противоположного характера [17]. Косные — это простые, парти- и экстракаузальные, а биологические — сложные, оми- и интеркаузальные системы. То есть, первые имеют довольно ограниченное количество элементов, их поведение достаточно предсказуемо, а структура и функции могут быть описаны на уровне элементов и структура их задана извне (природными факторами или человеком). Биотическая подсистема имеет противоположные характеристики. Очевидно, что техно-экосистема, состоящая из столь различных подсистем, будет обладать как «смешанными» свойствами, которые будут зависеть от соотношения элементов подсистем, так и собственными, присущими только целостной системе.

Соотношение природных и антропогенных элементов в техно-экосистеме зависит от ее конструкции, которая, в свою очередь, определяется функцией. Например, в системе охлаждения АЭС с замкнутым циклом и градиентами существенно преобладают технические элементы. В упомянутой выше техно-экосистеме Запорожской АЭС практически отсутствуют природные элементы. Соотношение природных и технических элементов в техно-экосистеме может существенно меняться во времени, что связано как с техническими, так и с природными факторами. Примером может быть постепенное заиливание твердых искусственных облицовок в каналах и трансформация антропогенной перифитали в бенталь, близкую по своему характеру к речной [16].

Косные элементы могут существовать и вне связи с биотическими. Такие азойные участки земной поверхности, физиотопы (поскольку в них нет жизни) достаточно редки в современной биосфере, В. Н. Сукачев образно назвал их «эмбрионами» биогеоценозов [35]. Редкие в природе, эти «эмбрионы» совершенно обычны в период начала функционирования техно-экосистем. Например, трубопровод, система водоснабжения, ложе канала, корпус корабля изначально лишены жизни в них и на них. Продолжая аналогии, можно отметить, что так же, как от характера развития эмбриона зависит дальнейший онтогенез организма, так и от конструкции и свойств будущего техногенного биотопа зависит характер и функционирование техно-экосистемы. Это очень важно, поскольку техногенный биотоп может быть (или не быть) сконструирован так, что будет или способствовать развитию биотической части экосистемы, или напротив — ограничивать. Например, корпуса морских судов покрываются специальными необрастающими красками, чтобы исключить развитие обрастания. Искусственные рифы конструируются таким образом, чтобы усилить их биопозитивные свойства [1, 37].

Процессы, происходящие в техно-экосистемах, имеют двойственный характер и определяются как природными, так и техногенными факторами. Влияние природных необходимо учитывать, а техническими можно до некоторой степени управлять.

В природных экосистемах существуют определенные закономерности структурной биотопической организации. Именно поэтому были сформулированы такие обобщающие концепции, как концепция речного континуума [43], концепция четырехмерной природы лотических экосистем [44], концепция метамерной структуры лотических биотопов [6] и др.

Техно-экосистемы, в отличие от природных, лишены предсказуемой биотопической структуры. Сочетание и взаимосвязь биотопов определяются конструкцией и режимом эксплуатации технических систем. В техно-экосистеме могут отсутствовать многие топические элементы, обычные в природных. Например, в искусственном водотоке — облицованном канале совершенно отсутствуют такие важные элементы биотопа лотических природных систем, как перекаты, плесы, меандры и связь с внешними пойменными водоемами [16, 19]. В то же время, биотопическими элементами становятся насосные станции, облицовки берегов и дна искусственными материалами. В водоемах-охладителях на естественный термический режим накладывается влияние подогретых сбросных вод, что существенно изменяет сезонную динамику, ледовый режим и стратификацию водных масс. Во многих техно-экосистемах формируется своеобразная связь между лотическими и лентическими биотопами.

Для техно-экосистем характерны высокоградиентные условия. Так, при работе двух энергоблоков Хмельницкой АЭС разница между поверхностной и придонной (глубина 9 м) температурой может достигать 6—8°C. В зимнее время отсутствует ледовый покров. Нарушения естественной стратификации и термического режима в целом при техногенном воздействии рассматриваются как один из типов загрязнения окружающей среды [3].

Для технических систем характерны резкие перепады скорости течения, термических условий и изменения характера субстрата.

В техно-экосистемах возможна последовательно-циклическая связь биотопов, например при оборотном водоснабжении, когда массы воды с находящимися в них организмами планктона неоднократно проходят через насосы и системы охлаждения. При этом в «циклах» происходит резкая смена условий. На примере системы АЭС с водоемом-охладителем подобный биотопический цикл выглядит следующим образом: водоем-охладитель — подводящий канал — системы охлаждения и техводоснабжения — отводящий канал — водоем-охладитель. На фоне техногенной циркуляции в водоемах-охладителях при определенных ветровых условиях формируются устойчивые циклональные или антициклональные круговороты [36].

В техно-экосистемах многие факторы находятся в критических зонах диапазона толерантности большинства организмов умеренного климата. Температура воды в системах охлаждения может превышать 40°C, скорости течения и перепады давления значительны, организмы могут подвергаться воздействию различных химических веществ, задействованных в технологических циклах.

Конструктивные особенности техно-экосистем. Техно-экосистемы разрабатываются человеком, функционируют и прекращают свое существование по его решению, они всегда созданы с определенной целью и по определенному плану. Время их создания и начало функционирования достаточно определены, запрограммированы моментом ввода в эксплуатацию. Степень перестройки природной экосистем, характер «внедрения» техногенных элементов в природную среду имеет свои особенности в каждом конкретном случае. Например, водоем-охладитель Южно-Украинской АЭС был создан путем затопления балки небольшой реки, без существенных изменений ложа нового водоема. Водоем-охладитель Березовской ГРЭС (Беларусь), напротив, образован на месте полностью измененного строительством озера. За счет дноуглубительных работ максимальная глубина оз. Белого возросла с 3,2 до 4,9 м, площадь — с 4,4 до 5,2 км², объем — с 7,4 до 17,7 млн. м³. На месте естественного озера сформировался водоем с совершенно иными условиями [14]. Водная техно-экосистема Хмельницкой АЭС образовалась на основе полностью искусственного водоема — водохранилища на малой реке Гнилой Рог (бассейн р. Припяти). Водоем-охладитель Криворожской ГРЭС представляет собой наливной пруд, вода в который поступает из канала Днепр — Кривой Рог. Примером техно-экосистемы с подавляющим преобладанием техно-элементов может быть канал Днепр — Донбасс [21], протяженность которого более 260 км и проектный расход воды 120 м³/с. Водозабор осуществляется из Днепродзержинского водохранилища на Днепре, далее по руслу подъем воды на высоту около 60 м производится 11 насосными станциями. Основной функцией этой техно-экосистемы является как доставка потребителям определенного количества воды, так и обеспечение ее необходимого качества. Последнее осуществляется целым комплексом технических и биолого-технических мероприятий. В частности, для снижения содержания органического вещества и биогенных элементов разработана система биоплато разного типа.

Техно-экосистемы во времени. Упорядоченность процессов и изменений в экосистемах во времени является одной из составляющих их организации. Элементы экосистем связаны в пространстве не хаотически, а закономерно, также закономерно связаны и состояния экосистем во времени. Можно выделить два основных типа изменений: поступательные и циклические. В силу своеобразия структуры техно-экосистем, их развитие во времени обладает целым рядом особенностей.

Если для природных экосистем характерны поступательные изменения, приводящие к климаксному состоянию, свойственному данной ландшафтно-климатической зоне, то в жизни водных техно-экосистем изменения происходят в несколько фаз, каждая из которых связана с особенностями периода эксплуатации [4]. Таких фаз может быть достаточно много: фаза подготовки к эксплуатации, ряд фаз относительной стабильности в период эксплуатации, посттехногенная фаза. Технические факторы постоянно, в большей или меньшей степени изменяют ход сукцессионного процесса.

При отсутствии значительных изменений условий и степени воздействия технических факторов может устанавливаться состояние «техногенного псевдоклимакса». Например, в первые годы существования водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС в перифитоне и бентосе сформировалось сообщество с доминированием *Dreissena polymorpha* Pall., вполне характерное для малых и средних водохранилищ бассейна р. Южный Буг. Но при постоянном высоком термическом воздействии дрейссена выпала из их состава, сформировались сообщества с низкой биомассой, которая, однако, возросла после вселения и развития популяции инвазийного вида брюхоногих моллюсков *Melanoides tuberculata* Müller [30]. Такое «псевдоклимаксное» сообщество существует уже достаточно долго и будет, вероятно, существовать до тех пор, пока не произойдет значительное изменение условий.

После остановки энергоблоков и прекращения сброса подогретых вод в 2000 г. водоем-охладитель Чернобыльской АЭС находится в посттехногенной фазе. Однако он остается частью техно-экосистемы, поскольку само его физическое существование определяется постоянной подкачкой с целью сохранить перепад уровня воды относительно р. Припяти. Снятие термической нагрузки привело к увеличению видового богатства контурных сообществ и более равномерному расселению по водоему популяций некоторых организмов [30].

Таким образом, развитие техно-экосистем во времени происходит под значительным влиянием технических факторов, которые своеобразно «фрагментируют» естественный сукцессионный процесс и могут приводить его к специфическим, характерным только для данной техно-экосистемы состояниям.

Биотическое разнообразие в техно-экосистемах. Высокую продукцию имеют сообщества с упрощенной структурой и низким разнообразием [2, 25]. Чем выше разнообразие сообщества и его сложность, тем большего количества энергии требует такая система для поддержания структуры, поэтому существует определенный «энергетический предел сложности» [7].

В техно-экосистеме может происходить определенное увеличение богатства биотопических элементов за счет простого прибавления технических компонентов системы. Например, использование естественного водоема в качестве водоисточника предприятия или энергетической станции, то есть его включение в состав техно-экосистемы, приводит к появлению системы каналов, технических водоводов, плотин, гидросооружений и др. В целом это может вызвать существенное возрастание биотопического богатства элементов всей техно-экосистемы. Однако разнообразие условий в техно-экосистемах может снизиться за счет резкого доминирования одного техногенного фактора, например термического, вследствие снижения выравненности [25]. Уменьшение биотического разнообразия вслед за биотопическим, вероятность чего очень велика, приводит к реализации указанной выше зависимости: обратной связи между разнообразием и продукцией. Вероятно, массовое «цветение» воды, вспышки обилия дрейссены и губок в водоемах-охладителях есть отражение этой зависимости. Очевидно, что при проектировании и создании техно-экосистем необходимо учитывать возможные взаимосвязи биотического и биотопического разнообразия, технических систем и техногенных факторов. Оптимизация разнообразия всей системы является необходимым условием управления техно-экосистемами.

Проблема биологических помех. Воздействие биотических факторов напрямую влияет на эксплуатацию всей техно-экосистемы человеком. Эти факторы выступают в виде либо биологических помех, либо биоповреждений. Биологические помехи рассматриваются как явление взаимодействия между биологическими и техническими элементами техно-экосистем, при котором присутствие и жизнедеятельность организмов и наличие их остатков оказывают негативное влияние на нормальное функционирование технических систем [29, 36]. Весьма ощутимыми являются биологические помехи, связанные с развитием обрастания в системах технического и циркуляционного водоснабжения и образование биопленок на теплообменных поверхностях [9, 45]. Для плавсредств основные биопомехи — это, в первую очередь, увеличение шероховатости поверхности и ухудшение гидродинамических качеств при обрастании корпусов судов. Для стационарных сооружений в водной среде — это снижение устойчивости при гидродинамическом воздействии. Кроме биопомех, гидробионты могут быть причиной биологических повреждений. Например, моллюски-камнеточцы могут повреждать каменные и даже бетонные гидросооружения и подводные кабели, древоточцы — деревянные плавсредства и сооружения [31]. Спектр биологических помех и повреждений так же широк, как и мир техно-экосистем. Вопросы биологических помех в работе технических систем — весьма обширная область технической гидробиологии, которую невозможно охватить в статье. Но важно отметить, что проблемы их ограничения должны решаться комплексно, на основе как биологических, так и технических подходов.

Техно-экосистемы как объект технической гидробиологии. На примере изучения одного из типов техно-экосистем (объектов энергетики — водоемов-охладителей электростанций) можно рассмотреть некоторые этапы исследований в области технической гидробиологии.

В той или иной мере наблюдения, связанные с техно-экосистемами и их изучение начались уже достаточно давно. Еще в конце XIX века было обращено внимание на тепловое воздействие электростанций на водоемы и их жизнь. Стал очевидным фактор влияния различных сбросов предприятий на водные экосистемы, были начаты разработки систем оценки воздействия.

Этот период сугубо «природоохранного» подхода продолжался достаточно долго. В 1970-е годы разрабатывались возможные ограничения теплового воздействия электростанций. Таким образом, в центре внимания была природная среда и природные экосистемы, которые требовали защиты от воздействия технических систем.

Указанный подход безусловно крайне важный, однако еще в 1960-е годы получили развитие исследования, связанные с биологическими помехами, которые были обусловлены расширением энергетического строительства в континентальных водоемах и значительными экономическими потерями от развития обрастания в системах водоснабжения. Это привело к пониманию сложности взаимосвязей между техническими и биотическими системами. Экономические потери от вселения дрейссенид в водоемы Северной Америки в 1980—1990-е годы свидетельствовали об огромных масштабах этих явлений [45]. Центр внимания переместился к проблеме тесных взаимодействий между биотическими и техническими элементами в техно-экосистемах.

В настоящее время становится все более очевидным то, что конструирование технических систем, имеющих связь с водными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Все еще преобладает важный, но достаточно односторонний сугубо природоохранный подход, основанный на оценках влияния тех или иных факторов. Однако сейчас он определенным образом модифицируется внедрением методов биоиндикации и их превалированием над физико-химическими аналитическими. Поэтому основная задача технической гидробиологии состоит не только в контроле, важность которого не вызывает сомнения, но и в разработке принципов и методов управления целостной техно-экосистемой.

Техно-экосистемы в биосфере. В анализе особенностей живого вещества биосферы В. И. Вернадский указывал: «Существует непрерывная миграция атомов из биосферы в организмы и обратно. Благодаря этому в организмах создается огромное и непрерывно меняющееся количество молекул, которые не могут быть рождены какими-то иными процессами в биосфере» [8 с. 456]. Этот поток вещества и энергии есть основа самого существования биосферы. Существует несколько типов миграции химических элементов — механическая, физико-химическая, биологическая и техногенная [24]. Последняя осуществляется именно в техно-экосистемах различного масштаба и уровня организации и сложности.

Масштабы человеческой деятельности в биосфере огромны. К началу нынешнего столетия оправдались прогнозы В. И. Вернадского — антропогенное влияние на биосферу сопоставимо с мощностью природных геологи-

ческих процессов или даже превышает ее. Поступление отходов мирового производства в 2,3 раза превосходит по массе осадконакопление в фанерозое, ежегодно в среднем на человека добывается около 20 т ископаемых, в хозяйственных целях используется более 10% речного стока [34]. При этом следует отдавать себе отчет в том, что все эти взаимоотношения человека с природой происходят во вполне конкретных техно-экосистемах — как на суше, так и в гидросфере. Практически нет ни одной технической системы, которая бы существовала и функционировала вне какого-то природного, связанного с ней окружения. Интенсивное развитие деятельности человека приводит к тому, что отдельные техно-экосистемы становятся элементами планетарной системы — техносферы. Существует и другая, более глобальная точка зрения: «техносфера» рассматривается не как новая антропогенная оболочка Земли, а как новый этап антропогенной эволюции всей биосферы, который является переходным между биосферой и ноосферой [34].

Анализ понятия «техно-экосистема» показывает, что техническая гидробиология должна рассматриваться как наука гораздо более обширная, чем узко-практический раздел гидробиологии. На огромных площадях поверхности планеты техно- и агро-экосистемы доминируют над естественными. Исследования водных техно-экосистем должны быть связаны с разработкой фундаментальной теории функционирования водных экосистем в целом. С позиций общей гидробиологии заслуживает серьезного внимания вопрос о формировании нового биогеома в гидросфере — техно-биогеома. Он может рассматриваться как совокупность всех водных техно-экосистем, как часть техносферы. Чрезвычайно важны также вопросы все расширяющегося инвазийного процесса, обусловленного техногенными факторами.

Техническая гидробиология связана с другими прикладными и специальными разделами гидробиологии. Еще в 1930-е годы отмечалась тесная связь технической и санитарной гидробиологии [18]. Рассматривая как одну из основных задач санитарной гидробиологии активное влияние на качество среды — «санацию», улучшение среды обитания человека [20], следует учитывать, что активно влиять на внутриводоемные процессы в значительной мере можно именно за счет технических средств. В то же время, одним из отличий санитарной и технической гидробиологии является антропоцентричность первой и техноцентричность второй. При этом многие оценки воздействия технических объектов осуществляются именно с помощью методологии санитарной гидробиологии.

В самом широком смысле из концепции техно-экосистемы вытекает перспектива и основная задача технической гидробиологии — гармонизация взаимоотношений между человеком, создаваемыми и эксплуатируемыми им техническими системами, с одной стороны, и гидробиосферой — с другой. Эффективное управление этими системами — одна из основ гармонизации отношений человека с биосферой планеты в целом.

Заключение

В биосфере и гидросфере в частности все более возрастает роль специфических биокосных систем, компонентами которых выступают как природные неживые

вые элементы и живые организмы, так и антропогенные технические. Они представляют собой техно-экосистемы, которые в силу своеобразия состава элементов и системных связей обладают специфическими характеристиками и свойствами. Водные техно-экосистемы представляют собой основной объект исследований технической гидробиологии. В силу того, что процессы техногенеза уже приобрели планетарный масштаб и охватывают значительные области гидросферы, техническая гидробиология должна рассматриваться как раздел гидробиологии с широкими задачами.

В качестве более частных проблем следует выделить такие, как типизация техно-экосистем, определение особенностей их структуры в связи со специфичной эксплуатационных задач, обоснование критериальной базы для оценки экологического состояния техно-экосистем, разработки мер повышения надежности и безопасности, обоснование и разработка принципов и методов ограничения биологических помех в их работе. Важной проблемой является установление роли водных техно-экосистем в глобальном инвазийном процессе. С влиянием техногенных факторов в основном связывают негативные явления, такие как химическое, тепловое и радиационное загрязнение окружающей среды. Однако одной из важных задач технической гидробиологии, наряду с ограничением негативных факторов, является разработка и создание биопозитивных техно-экосистем, таких как биоплато и искусственные рифы. В целом техническая гидробиология призвана решать комплекс задач гармонизации взаимосвязей между биосферой и деятельностью человека.

**

Обговорюються питання структури, цілей та завдань технічної гідробіології. Розглянуто концепцію техно-екосистеми як її основного об'єкта. Виділено особливості техно-екосистем, такі як своєрідна біотопічна структура, наявність високоградієнтних умов, невисока передбачуваність поведінки і розвитку. Вводиться поняття екосистемно-біогеоценотичного градієнта. Розглядається місце техно-екосистем в структурі біосфери.

**

The question on the structure of technical hydrobiology is considered. The techno-ecosystem in hydrosphere is considered as a main object of technical hydrobiology. Certain features of a techno-ecosystem, such as original biotopic structure, presence high-gradient conditions, small predictability of behaviour and development are allocated. The concept of ecosystem-biogeocenosis gradient is entered. The question on the techno-ecosystem place in biosphere is considered

**

1. Александров Б.Г. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Черного моря. — Киев: Наук. думка, 2008. — 343 с.
2. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. — СПб.: Наука, 2000. — 147 с.
3. Безносков В.Н., Суздалева А.А. Нарушение стратификации водоемов как источник их загрязнения // Природообустройство и экологические

- проблемы водного хозяйства и мелиорации. — М.: МГУП, 1999. — С. 60—61.
4. *Безносков В.Н., Суздалева А.Л.* Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов // Антропогенное влияние на водные экосистемы. — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. — С. 120—128.
 5. *Беклемишев В.Н.* Об общих принципах организации жизни // Бюл. МОИП. Отд. биол. — 1964. — Т. 69, вып. 2. — С. 22—38.
 6. *Беклемишев В.Н.* Биоценозы реки и речной долины в составе живого покрова Земли // Тр. ВГБО. — 1956. — Т. VII. — С. 77—97.
 7. *Бурковский И.В.* Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. — 285 с.
 8. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера // Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського. Т. 4. Геохімія живої речовини. Кн. 2. — К., 2012. — С. 453—465.
 9. *Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины* / Отв. ред. М.Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 191 с.
 10. *Винберг Г. Г.* Гидробиология как экологическая наука // Гидробиол. журн. — 1977. — Т. 13, № 5. — С. 5—15.
 11. *Звягинцев А.Ю.* Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. — Владивосток: Дальнаука, 2005. — 432 с.
 12. *Звягинцев А.Ю., Ивин В.В., Кашин И.А.* Методические рекомендации по исследованию судовых балластных вод при мониторинге морских биоинвазий. — Владивосток: Дальнаука, 2009. — 123 с.
 13. *Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В.* Морские техноэкосистемы энергетических станций. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 343 с.
 14. *Каратаев А.Ю., Ляхнович В.П., Гурьянова Л.В. и др.* Перестройка экосистемы эвтрофного озера вследствие превращения его в водоем-охладитель ТЭС // Экология. — 1989. — № 5. — С. 18—25.
 15. *Кафанов А.И.* Историко-методологические аспекты общей и морской биогеографии. — Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. — 208 с.
 16. *Кафтанникова О.Г.* Беспозвоночные каналов СССР. — Киев: Наук. думка, 1975. — 164 с.
 17. *Михайловский Г.Е.* Специфика экологических систем и проблемы их изучения // Журн. общ. биологии. — 1984. — Т. 45, № 1. — С. 66—77.
 18. *Никитинский Я.Я.* Некоторые итоги в области санитарно-технической гидробиологии // Микробиология. — 1938. — Т. 7, вып. 1. — С. 3—35.
 19. *Оксиюк О.П.* К вопросу о типизации каналов // Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. — Киев: Наук. думка, 1976. — С. 13—33.
 20. *Оксиюк О.П., Давыдов О.А.* Санитарная гидробиология в современный период. Основные положения, методология, задачи // Гидробиол. журн. — 2012. — Т. 48, № 6. — С. 50—65.
 21. *Оксиюк О.П., Стольберг Ф.В.* Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986. — 176 с.
 22. *Парталы Е.М.* Обрастание в Азовском море. — Мариуполь: Рената, 2003. — 378 с.

23. *Переписка 2-х столиц.* — М., 2013. — 168 с.
24. *Поярко́в Б.В., Бабаназа́рова О.В.* Учение о биосфере: Курс лекций. — Ярославль: Ярослав. ун-т, 2003. — 408 с.
25. *Протасов А.А.* Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. — Киев: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2008. — 106 с.
26. *Протасов А.А.* О структуре и задачах технической гидробиологии // Тез. докл. X съезда Гидробиол. об-ва при РАН, г. Владивосток, 28 сент. — 3 окт. 2009 г. — Владивосток: Дальнаука, 2009. — С. 326—327.
27. *Протасов А.А.* О структуре фундаментальной и прикладной гидробиологии // Морск. экол. журн. — 2010. — Т. 9, № 3. — С. 5—13.
28. *Протасов А.А.* Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. — Киев: Академперіодика, 2011. — 704 с.
29. *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.
30. *Протасов А.А., Силаева А.А.* Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. — Киев, 2012. — 274 с.
31. *Раилкин А.И.* Процессы колонизации и защита от биообрастания. — СПб.: Изд-во Санкт Перербург. ун-та, 1998. — 272 с.
32. *Резниченко О.Г.* Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания // Биология моря. — 1978. — № 4. — С. 3—15.
33. *Реймерс Н.Ф.* Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. — М.: Россия Молодая, 1992. — 365 с.
34. *Соботович Э.В., Долин В.В.* Эволюция биосферы в условиях техногенеза // Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського. Т. 4. Геохімія живої речовини. Кн. 2. — К., 2012. — С. 503—525.
35. *Сукачев В.Н.* Основные понятия лесной биоценологии // Избр. тр. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. — Л.: Наука, 1972. — С. 311—356.
36. *Техно-экосистема АЭС.* Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — Киев, 2011. — 234 с.
37. *Хайлов К.М., Празукин А.В., Коваргаков С.А., Рыгалов В.Е.* Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. — Киев: Наук. думка, 1992. — 280 с.
38. *Evans F.* Ecosystem as the basic unit of ecology // Science. — 1956. — Vol. 123. — P. 1227—1228.
39. *Neveh Z.* Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science // Adv. Ecol. Res. — 1982. — Vol. 12. — P. 189—237.
40. *Odum E.P.* The "techno-ecosystem" // Bull. Ecol. Soc. Amer. — 2001. — Vol. 82, N 2. — P. 137—138.
41. *Odum H., Odum B.* Concepts and methods of ecological engineering // Ecol. engineer. — 2003. — Vol. 20. — P. 339—361.
42. *Tansley A.D.* The use and abuse vegetational concepts and terms // Ecology. — 1935. — Vol. 16, N 4. — P. 284—307.

43. *Vannote R.L., Minchall G.W., Cummins K.W. et al.* The river continuum concept // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* — 1980. — Vol. 37, N 1. — P. 130—137.
44. *Ward J.V.* The four-dimensional nature of lotic ecosystems // *J. N. Amer. Benthol. Soc.* — 1989. — Vol. 8, N 1. — P. 2—8.
45. *Zebra mussels. Biology, impacts, and control* / Ed. by T. F. Nalepa, D. W. Schloesser. — Boca Raton: CRC Press, 1993. — 810 p.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 27.12.13