

УДК 574.65:502.211

О водных техноэкосистемах и их месте в биосфере

А.А. Протасов*

*Институт гидробиологии НАН Украины,
Украина, 04210, Киев, пр. Героев Сталинграда, 12*

Received 15.11.2012, received in revised form 24.09.2013, accepted 18.11.2013

Рассмотрена концепция техноэкосистемы в гидросфере. Выделены определенные особенности техноэкосистем, такие как своеобразная биотопическая структура, наличие высокоградиентных условий, малая предсказуемость поведения и развития. Вводится понятие экосистемно-биогеоэкологического градиента. Рассмотрен вопрос о месте техноэкосистем в биосфере.

Ключевые слова: техноэкосистема, биогеоценоз, биосфера, энергетические станции, биологические помехи.

Введение

С развитием активной человеческой деятельности биосфера включает в себя уже не только природные самоорганизующиеся системы, но и природно-антропогенные образования. Они не обладают в полной мере свойством самоподдержания, внутренней устойчивостью, поэтому требуют для сохранения своей структуры поддержки человека (Реймерс, 1992). Очевидно, что энергия для этого может быть получена только из других, внешних, в первую очередь природных систем. Жизнь значительной части человечества чрезвычайно сильно связана с этими «композитными» системами, количество и масштабы которых все более расширяются и приобретают черты уже не отдельных ло-

кальных пятен на фоне совокупности природных экосистем, а глобальной системы, которая включает различные технические объекты, взаимодействующие как с природой, с биосферой, так и с социумом. Этот процесс взаимодействия очень важен как для человека, так и для окружающей природы. Один из разделов гидробиологии – техническая гидробиология – призван изучать закономерности взаимодействия жизни в гидросфере с человеческой деятельностью, а именно с создаваемыми техническими системами.

Целью данной статьи является рассмотрение концепции техноэкосистемы, структуры техноэкосистем, связи их с природными экосистемами, их месте в биосфере.

Концепция техноэкосистемы

Природа отношений человека с окружающей средой такова, что в результате его деятельности создается своеобразный новый антропогенный мир предметов, процессов, связанных с его жизнью и определяющих само его существование, связь которого с естественным тесна уже хотя бы потому, что в центре этого техногенного мира стоит человек, сам являющийся элементом природы. Как отметил В. Н. Беклемишев, «наши дома, орудия и сооружения входят в качестве неживых частей в новую организацию живого покрова [Земли], которая создается под воздействием человечества» (1964, с. 36). Это происходило и на самых первых этапах становления человеческого общества, однако лишь в конце XIX – начале XX в. роль антропогенного фактора стала приобретать черты глобальности. Начала формироваться техносфера – действительно глобальная система технических объектов, которая во взаимодействии с природными элементами образует техноэкосферу – планетарную систему техногенных и природных элементов, связанных с человеческими популяциями и объединенных энергетическими и вещественными связями в своем функционировании.

На особенности биокосных систем, которые включают технические элементы наряду с природными, гидробиологи обратили внимание достаточно давно. В частности, была рассмотрена их иерархическая структура и отмечено, что «технико-экологическая система водоем-охладитель – энергетическая станция» входит в большую по размерам ландшафтно-гидрологическую, в свою очередь включая определенные подсистемы (Поливанная, 1991). Водоемы-охладители тепловых и атомных электростанций были выделены как природно-техногенные системы (Егоров и др., 1999). Ссылаясь на З. Невех

(Neveh, 1982), Е. Одум (Odum, 2001) использует термин «techno-ecosystem», при этом он обращает внимание на коренное различие природных и техноэкосистем: если первые зависят от энергии солнца, то вторые – от энергии различного топлива (fuel). Взаимоотношения между этими экосистемами он сравнивает с системой «паразит-хозяин» и включает в систему отношений между ними прямые и обратные взаимосвязи. Как типичные техноэкосистемы рассматриваются современные города (Odum, Odum, 2003).

Еще в конце XIX в. 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 оценок этого воздействия. Этот период сугубо «природоохранного» подхода продолжался достаточно долго. В 1970-е гг. разрабатывали, например, возможные ограничения теплового воздействия при работе энергетических станций. Таким образом, в центре внимания была природная среда, природная экосистема, которая требовала защиты от воздействия технических систем.

Подход этот, безусловно, крайне необходим, однако уже в 1960-е гг. получили развитие исследования, связанные с биологическими помехами, которые были, в свою очередь, инициированы расширением энергетического строительства в континентальных водоемах и значительными экономическими потерями от развития обрастания дрейссеной. Это привело к пониманию сложности взаимосвязей между техническими и биотическими системами. Экономические потери от вселения дрейссенид в водоемы Северной Америки в 1980–1990-е гг. показали огромные масштабы этих явлений. Центр внимания переместился к проблеме тесных взаимодействий между

биотическими и техническими элементами в техноэкосистемах.

Организация живых и биокосных систем имеет меристическую природу (Беклемишев, 1994) – они состоят из элементов, которые, в свою очередь, обладают в свойственной им мере целостностью, комплексом своих характеристик и качеств. Такими элементами техноэкосферы следует рассматривать техноэкосистему. Необходимо особо подчеркнуть, что практически ни одна техническая система не работает в абсолютно замкнутом относительно природной среды режиме. В самой этой системе могут быть различными только соотношения технических и природных элементов. Поскольку в техноэкосистему входят живые организмы, а среды их обитания – воздушная и водная – существенно различны, целесообразно выделение наземных и водных техноэкосистем. Это разделение достаточно условно, поскольку многие техноэкосистемы содержат компоненты обеих сред. Они включают три основных элемента: технические агрегаты, сооружения, системы и пр., природные косные элементы – водоемы, водотоки, участки ландшафтов, атмосферу; живые элементы – население ландшафтов, различных водных объектов. Человек также входит в эту систему, однако выступает и как «надсистемный» пользователь, не только как её проектировщик и создатель, но и как потребитель результатов её функционирования.

Техноэкосистема может быть определена как совокупность биотопов природного и техноантропогенного характера, их живого населения, объединенных системой прямых и обратных связей, потоками вещества, энергии и информации, изменяющихся в пространстве и во времени (Протасов и др., 2008; Протасов, 2009; Протасов, 2011).

Можно предположить, что разнообразие техноэкосистем весьма значительно уже хотя

бы потому, что разнообразны потребности человека, чему соответствует множество тех или иных устройств, сооружений, систем, а также многообразны природные условия, в которых находятся эти технические элементы. Сочетание техногенных и природных элементов создает дополнительное разнообразие.

Приведем некоторые примеры. Сотни тысяч достаточно крупных судов находятся в водной среде, суммарная поверхность их подводной части намного превышает 1000 км² (Резниченко, 1978). Здесь, на разделе твердого технического субстрата и воды, достаточно быстро формируется сложный ценоз обрастания (Раилкин, 1998; Звягинцев, 2005). Кроме того, судно имеет значительную по размерам систему технического водоснабжения агрегатов и устройств, которая также подвержена влиянию организмов. Балластные танки судов представляют собой еще один техногенный биотоп, в котором обитают потенциальные инвазийные организмы (Звягинцев и др., 2009). Таким образом, все судно представляет собой техноэкосистему, хотя некоторые элементы её не имеют непосредственной связи между собой.

Другой пример – система циркуляционного водоснабжения энергетической станции как биотоп для сложного биоценоза организмов (Звягинцев, Мощенко, 2010). Важно отметить, что авторы рассматривают как взаимосвязанные с техноэкосистемой проблемы не только собственно обрастания в системах водоснабжения и формирование биологических помех, но также влияние технических систем на водоем-охладитель или морские прибрежные водные биоценозы.

Атомные и тепловые электростанции имеют системы охлаждения и водоснабжения различной конструкции, создание ГЭС определяет создание новой техногенной экосистемы – водохранилища. Крупные предприятия,

в частности металлургические, имеют значительные системы водоснабжения, например протяженность водоводов завода «Азовсталь» составляет более 225 км (Парталы, 2003).

Экосистема и биогеоценоз

Рассмотрение вопроса о структуре и особенностях техноэкосистем заставляет нас обратиться к основам учения об экосистеме. Понятие экосистемы, как известно, было введено А. Тэнсли еще в 1935 г. (Кафанов, 2005), однако существуют и другие близкие понятия и термины. Так, в своем обзоре, связанном с биогеоценозом и экосистемой, В. Н. Сукачев (1972) приводит более десятка близких по значению терминов. В основе этих понятий лежит важный принцип системных отношений между живыми организмами и их средой обитания, однако разнообразна не только терминология, генезис понятий тоже имеет определенные особенности.

Как известно, А. Тэнсли рассматривал экосистемы как целостные системы, включающие не только организмы, но также целый комплекс факторов среды их существования в самом широком смысле. Эти системы он рассматривал как основные природные единицы на лике Земли. Что касается системных представлений и подходов к изучению ассоциаций живых организмов, то концепция биоценоза была предложена К. Мёбиусом еще в 1877 г. именно для водных сообществ (Кафанов, 2005).

Необходимо отметить, что термин «биогеоценоз» и сама концепция биогеоценоза ведут свое происхождение не от представлений биологических, как это можно было представить, учитывая более раннее введение понятия «биоценоз». Как указывал В. Н. Сукачев (1972), им был предложен изначально термин «геоценоз» как совокупность («ценоз») ландшафтных элементов. И только впоследствии

им была добавлена частица «био». Сама идея биогеоценоза складывалась в период, когда понятие экосистемы только входило в состав ключевых экологических представлений, поэтому можно говорить о параллельности их возникновения. Сосуществование этих понятий в экологии достаточно парадоксально в связи с их близостью. Если воспользоваться аналогом принципа Гаузе о несовместимости идентичных понятий в одной гносеологической «нише», то следует предположить существование между ними определенных различий. Имеется определенное расхождение по «территориальным нишам». Хотя В. Н. Сукачев (1972) и отмечал, что западные экологи восприняли сам термин «биогеоценология», все же наибольшее распространение он получил в СССР и на постсоветском пространстве, а термин «экосистема» – у западных экологов. Хотя А. Тэнсли и рассматривал экосистему как природную единицу, часть «лика Земли», все же в настоящее время хронологический, ландшафтный аспект в нем очень мал, явно преобладает функциональный (Кафанов, 2005). В настоящее время экосистема рассматривается как «локализованная в пространстве и динамическая во времени совокупность организмов и условий их существования, находящихся в закономерной связи между собой» (Алимов, 2000, с. 8). Биогеоценозу же В. Н. Сукачев давал следующее определение: это «... всякий конкретный участок земной поверхности, на котором сохраняется определенная система взаимодействий всех компонентов живой и ... мертвой природы» (1972, с. 263).

Следует также отметить, что изначально биогеоценоз рассматривался на материале лесных систем. Эти биогеоценозы обширны, доминанты и эдифицирующие формы хорошо выражены, вполне определяемы их границы. Это действительно видимая, осязаемая часть

биосферы. В то же время небольшой по размеру, незначительный элемент ландшафта при всей его относительной замкнутости, особенностях продукционно-деструкционного процесса скорее можно назвать экосистемой, нежели биогеоценозом, хотя он может обладать чертами последнего. Еще менее применим термин «биогеоценоз» в случае, если одним из элементов (а порой и главным) является техническая система, сооружение. Хотя существуют представления о тождественности понятий «экосистема» и «биогеоценоз»: «экосистема – основной объект биогеоценологии» (Бурковский, 2006, с. 3), следует все-таки согласиться с А. И. Кафановым (2005), что «обычно считается, что в отличие от «экосистемы», являющейся функциональным понятием, «биогеоценоз» – понятие собственно биохорологическое» (с. 87). Таким образом, можно прийти к заключению, что экосистема и биогеоценоз – понятия близкие, но не идентичные. Это позволяет предложить понятие экосистемно-биогеоценотического градиента. Это новое понятие может снять существующие противоречия. На одном полюсе (Э) следует расположить экосистемы, для которых сложно, либо вообще невозможно, либо нецелесообразно установление границ в хорологических рамках ландшафтов. Здесь можно привести пример из книги Ю. Одума (1975) – пень в лесу как экосистема или же судно с его обрастанием. Сюда, очевидно, следует отнести и заполненную водой техническую систему трубопроводов с их населением. На другом полюсе (Б) этого градиента могут быть представлены биогеоценозы с достаточно выраженными характеристиками ландшафта или крупной составляющей его. Сюда можно отнести водоем-охладитель АЭС со связанными с ним системами водоснабжения. Сюда может быть отнесен золоотвал тепловой станции, работающей на угле, обычно

имеющий вид техногенного заболоченного участка территории (англ. wetland). Их можно было бы отнести к биогеотехноценозам, однако целесообразность такого громоздкого термина вызывает сомнения. Между полюсами градиента могут располагаться различные промежуточные типы экосистем – биогеоценозов.

Следует, очевидно, говорить об иерархической структуре биогеоценотического (экосистемного) покрова Земли, включая сюда и техноэкосистемы. Прежде чем рассмотреть вопрос о месте техноэкосистем в этом покрове, следует обратить внимание на особенности их структуры.

Структура техноэкосистем

Необходимо оговорить, что мы исходим из следующей посылки: с точки зрения общей структуры экосистемы воздействие «техно-» элементов может быть очень близко к влиянию элементов «гео-», т. е. природных, что не нарушает самой концепции экосистемы, биогеоценоза. Эти элементы равнозначно входят в состав среды существования биотических компонентов экосистем.

В то же время следует принимать во внимание, что, исходя из общей теории систем, два косных компонента техноэкосистемы представляют собой системы различного, а в некоторых случаях и противоположного характера (Михайловский, 1984). Технические системы являют собой системы простые, парти- и экстракаузальные, а биологические – сложные, омни- и интеркаузальные. То есть первые имеют довольно ограниченное количество элементов, достаточно предсказуемы в своем поведении, их структура и функции могут быть описаны на уровне элементов и структура их задана извне (человеком). Вторые имеют противоположные характеристики. Очевидно, что система (техноэкосистема),

которая состоит из столь различных подсистем, будет обладать как «смешанными» свойствами, которые будут зависеть от соотношения элементов подсистем, так и собственными, своеобразными.

Безусловно, следует учитывать специфику «техно»-элементов, всей техноподсистемы, которая может определять своеобразные характеристики всей техноэкосистемы. Хотя корпус судна или поверхность гидросооружений вполне сходна с естественными твердыми субстратами, а водохранилище имеет черты сходства как с озером, так и с рекой, многие своеобразные характеристики техноэлементов, антропогенных факторов в их сочетании с природными совершенно отличны от последних, что и создает специфику техноэкосистем.

Примером сложности подхода к установлению соотношения элементов техноэкосистемы и ее границ может быть оз. Лукомское (Беларусь), которое служит охладителем ТЭС. Техногенной циркуляцией непосредственно затронута лишь часть озера, однако фактически вся его экосистема находится в большей или меньшей мере под техногенным влиянием (Митрахович и др., 2008). Существенную перестройку всей экосистемы произвела и спонтанно вселившаяся в озеро *Dreissena polymorpha* Pall. Хотя это не было связано с вводом в строй тепловой станции в этот период, техногенные факторы, в частности повышение температуры и изменение гидродинамики вод, сыграли определенную роль в распространении моллюсков и бурном развитии популяции дрейссены. Обратной связью в техноэкосистеме были существенные биологические помехи в работе оборудования ТЭС.

Возникает еще один непростой вопрос: какие из антропогенных биотопов рассматривать как элементы именно техноэкосистем?

Например, предложенная О. Г. Резниченко (1978) подробная классификация биотопов антропогенного характера, совокупность которых создает суббиоцикл галосферы – мезаль или антропаль, имеет 7 их типов, из которых, очевидно, только часть можно включать в техноэкосистемы. Предложенная автором классификация касается только биотопов обрастания в морской среде, однако может быть распространена и на континентальные водоемы (табл.).

Здесь следует подчеркнуть, что хотя именно обрастания, перифитонные сообщества, часто являются важным биотическим компонентом в техноэкосистемах, их биотоп, как отмечал и О. Г. Резниченко (1978), не только собственно субстрат, но прилегающие массы воды, обладающие своими гидрохимическими и гидродинамическими характеристиками. Очевидно, что масштабы техногенных биотопов огромны, вероятно, по сравнению с оценками 35-летней давности их можно удвоить.

Соотношение природных и антропогенных элементов в техноэкосистеме зависит от её конструкции. В системе охлаждения АЭС с замкнутым циклом и градирнями существенно преобладают технические элементы. При системе с водоемом-охладителем значительно больше элементов, близких по своему характеру к природным. Так, если объем охладителя составляет около десятков и сотен миллионов м³, то объем воды в собственно технических устройствах не более нескольких процентов от объема водоемов. При прямой системе охлаждения эти объемы вообще несопоставимы.

Соотношение природных и технических элементов в техноэкосистеме может существенно изменяться во времени. Примером может быть постепенное заиливание твердых искусственных облицовок в каналах и транс-

Таблица. Биотопы обрастания как элементы техноэкосистем (по материалам Резниченко (1978), с дополнениями)

Тип	Характер биотопа	Примеры	Площадь субстратов, км ²	Рассматривается ли как элемент техноэкосистемы
I	Подвижные, на глубине в основном не более 30 м	Плавсредства, суда разного типа	1200	Да
II	Внутренние полости, заполненные водой в биотопе I	Системы водоснабжения плавсредств	0.5	Да
III	Малоразмерные объекты в нейстали	Плавник различного происхождения	3500	Нет
IV	Малоподвижные субстраты на различной глубине	Установки марикультуры, буи	30	Частично
V	Абсолютно неподвижные, прибрежные, на шельфе	Гидросооружения, морские буровые платформы	60	Да
VI	Локализация вне водоемов, относительно высокие скорости течения, отсутствие света	Водоводы предприятий, энергетических станций, системы охлаждения	7	Да
VII	Неподвижные, в придонной области, на разных глубинах	Затонувшие плавсредства, подводные кабели, якорные и опорные системы	200	Частично

формация антропогенной перифитали в бенталь, близкую по своему характеру к речной (Шевцова, 1991).

Важно подчеркнуть, что техноэкосистемы всегда энергетически зависимы как от природных систем, так и от человека. Вряд ли можно согласиться с Е. Одумом, что источник энергии в техноэкосистемах только энергетический источник антропогенного характера (см. выше). Соотношение технических и природных элементов в техноэкосистеме имеет исключительно большое значение. Как правило, именно природная составляющая техноэкосистем обеспечивает ее относительно устойчивое состояние. Техническая составляющая, наоборот, выступает фактором неустойчивости.

В первом приближении можно полагать, что чем больше природная составляющая техноэкосистемы, тем более она стабильна и в целом надежна. Например, чем больше во-

данный объект, который связан с системой водоснабжения предприятия и получает от него определенные воздействия, тем меньше будет относительное воздействие на него техногенных факторов, тем меньше вероятность значительных колебаний во всей системе. Однако можно ли предполагать, что система «техническое предприятие – прибрежная акватория океана» всегда более стабильна по сравнению с системой «предприятие – пруд»? На практике оказывается, что это не так. Значительная по масштабам природная компонента может оказать при определенных условиях гораздо более серьезное воздействие на технические элементы (например, значительная авария на японской АЭС «Фукусима 1» была связана именно с внешним воздействием со стороны водоисточника).

Рассматривая вслед за В. Н. Сукачевым «геоценоз» как косную, абиотическую составляющую биогеоценоза, экосистемы, мы

можем, как и он, задаться вопросом о существовании его без биотической компоненты. Такие азойные участки земной поверхности, физиотопы (не биотопы, поскольку в/на них нет жизни) достаточно редки в современной биосфере. Их В. Н. Сукачев метко назвал «эмбрионами» биогеоценозов (1972). Редкие в природе (в современный период), эти «эмбрионы» совершенно обычны в начале развития техноэкосистем. Например, трубопровод, система водоснабжения, бетонное ложе канала, корпус корабля и т.п. изначально лишены жизни в и на них. Если продолжать аналогии, то важно отметить, что как от характера развития эмбриона зависит весь онтогенез организма, так и от конструкции будущего биотопа зависит характер и функционирование техноэкосистемы. Техногенный биотоп может быть (или не быть) сконструирован гармонично относительно будущего функционирования и развития техноэкосистемы.

Основные характеристики и свойства техноэкосистем

Процессы, происходящие в техноэкосистемах, имеют двойственный характер, определяются как природными, так и техногенными факторами. Влияние природных факторов необходимо учитывать, а технические можно до определенной степени регулировать. В качестве примера можно привести процессы формирования сообществ перифитона (обрастания антропогенных субстратов) в системах водоснабжения ТЭС и АЭС. Необходимым условием формирования таких сообществ является наличие твердого субстрата. Его человек предоставляет организмам перифитона в виде облицовок подводных и отводящих каналов, трубопроводов, теплообменных поверхностей, камер маслоохладителей и т. п. Каналы – это достаточно крупные сооружения, например на Хмельницкой АЭС

длина подводного канала 1.6 км, глубина до 8–9 м, объем – 0.8 млн м³, площадь двух бетонных откосов составляет около 100 тыс. м². Исследования распределения сообществ перифитона на отдельных трансектах и расчеты показали, что общее количество организмов, в основном дрейссены (*Dreissena polymorpha* Pall.), оценивалось в канале величиной до 1000 т. При механической очистке канала было изъято более 700 т дрейссены. При этом такое сооружение может вполне рассматриваться как «аналог» объекта аквакультуры, приспособленного для выращивания моллюсков. Высокой продуктивности последних способствуют техногенные факторы – большая площадь твердого субстрата, постоянное течение и благоприятный кислородный режим, поступление пищи в воде сестона из водоема, в котором под влиянием подогрева сбросами АЭС создаются высокотрофные условия. Огромное количество моллюсков и их створок могут перемещаться течением к насосным станциям, создавая биологические помехи, как это происходило, например, на Чернобыльской АЭС, Криворожской ТЭС. Таким образом, при конструировании гидросооружения не были учтены сочетания техногенных и природных факторов, что и обуславливает возникновение биологических помех.

Другим примером может быть формирование биологической структуры водоема на фоне гидродинамической картины, которая определяется эксплуатацией водоема-охладителя. При отсутствии внешнего ветрового воздействия в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС формируется широкий поток сбросных подогретых вод от отводящего канала к подводному (Протасов, 2011). Однако при ветровом воздействии гидродинамическая картина существенно изменяется (при моделировании принята скорость ветра

3 м/с). При восточном ветре транзитный поток движется по самой длинной траектории, что увеличивает время теплопередачи, повышает эффективность охлаждения. Образуется большая, захватывающая весь водоем антициклонная циркуляция с погружением вод в центральной части. При северном ветре образуется как крупная антициклональная циркуляция, так и менее масштабная в западном районе водоема. Таким образом, сочетание техногенных и природных факторов создает сложную гидродинамическую картину, что оказывает влияние как на технические, так и биологические характеристики техноэкосистемы. Распределение зоопланктона определялось именно циркулярными течениями, а распределение дрейссены на дне в мелководных участках – характером и длительностью воздействия потоков подогретых вод.

Необходимо обратить внимание на то, что в природных экосистемах существуют определенные закономерности структурной биотопической организации. Именно поэтому сформулированы такие обобщающие концепции, как концепция речного континуума (Vannote et al., 1980), концепция четырехмерной природы лотических экосистем (Ward, 1989), концепция метамерной структуры лотических биотопов (Беклемишев, 1956), принципы биотопического градиента при переходе от лотических систем к лентическим (Жадин, 1948).

Техноэкосистемы же лишены обычной «биотопической логики». Сочетание, взаимосвязь биотопов определяется конструкцией и режимом эксплуатации технических систем. В техноэкосистеме могут отсутствовать многие топические элементы, обычные в природных системах. Например, в искусственном водотоке – облицованном канале – совершенно отсутствуют такие важные элементы биотопа лотических природных систем, как перекаты,

плесы, меандрирование, связь с внешними пойменными водоемами (Оксиук, 1976; Кафтанникова, 1975). В то же время важным биотопическим элементом становятся насосные станции, наличие большой площади твердого антропогенного субстрата. В водоемах-охладителях на естественный термический режим накладывается влияние подогретых сбросных вод, что существенно изменяет сезонную динамику, ледовый режим, стратификацию водных масс.

Для техноэкосистем характерны высокоградиентные условия. Так, при работе двух энергоблоков ХАЭС различия между поверхностной температурой и придонной (глубина 9 м) может достигать 5.5 °С и более. Но в довольно холодное лето 2008 г. в водоеме-охладителе при остановке работы обоих энергоблоков наблюдалась полная гомотермия – 21 °С по всему водоему. Высокий термический градиент определяется растеканием по поверхности сбросных вод, причем постоянный подогрев верхних слоев воды сохраняется круглогодично. Нарушения естественной стратификации при техногенном воздействии рассматривается как один из типов загрязнения (Безносков, Суздалева, 1999). Для технических систем характерны резкие перепады скоростей течения, термических условий, изменения характера субстрата. Например, в системе маслоохладителей тепловых электростанций на расстоянии десятков сантиметров находятся камеры с температурой воды подводящего канала (обычно до 30 °С) и температурой 32–35 °С и выше, в которых формируется обрастание, соответственно, дрейссеной и мшанкой (Поливанная, 1991).

В техноэкосистемах возможна последовательно-циклическая связь биотопов, например, при обратном водоснабжении, когда массы воды с находящимися в них

организмами планктона неоднократно проходят через насосы и системы охлаждения. Причем в этих «циклах» происходит резкая смена условий. На примере системы АЭС с водоемом-охладителем этот биотопический цикл выглядит следующим образом: водоем-охладитель – подводящий канал – системы охлаждения и техводоснабжения – отводящий канал – водоем. Условия сменяются резко, практически без экотонов.

Создание и конструктивные особенности техноэкосистем

Природные экосистемы имеют свою историю, свой генезис; так же и техноэкосистемы появляются, функционируют и прекращают свое существование. Техноэкосистемы всегда созданы человеком с определенной целью и по определенному плану. Время их создания, начало функционирования достаточно определены, запрограммировано моментом ввода в эксплуатацию. Степень перестройки природных экосистем, характер «внедрения» техногенных элементов в природную среду всегда очень разнообразны. Приведем пример перестройки озерной экосистемы в охлаждающий тепловой станции, степень которой была очень значительной (Каратаев и др., 1989). За счет дноуглубительных работ максимальная глубина оз. Белого (Беларусь) 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. Через несколько лет после начала работы тепловой станции в 4 раза возросла минерализация, увеличилась мутность воды, резко ухудшился кислородный режим, температура воды в отводящем канале в летний период достигала 38 °С. В течение короткого времени большие объемы воды подвергались значительному термическому воздействию,

циркуляционные насосы ТЭС создавали внутренний водообмен до 1.5 млн м³/сут. Изменение условий привело к существенной перестройке всей экосистемы: первичная продукция фитопланктона возросла в 80 раз, биомасса водорослей планктона с 3 г/м³ возросла до 30 г/м³, продукция макрофитов, наоборот, снизилась в 10 раз. Продукция зоопланктона возросла в 2 раза, рыб – в 3 раза. Перестройка сопровождалась повышением продукции, но снижением эффективности утилизации вещества и энергии при передаче по трофическим цепям. Очевидно, что значительное обилие планктонных водорослей привело к образованию органических отложений на теплообменных поверхностях, а также усиливало процессы накипеобразования при возрастании рН при значительном фотосинтезе и продукции, повышенной минерализации. В высокотрофном водоеме значительного развития достигли мшанки *Plumatella fungosa* (Михаевич, 1987) – существенный агент биологических помех в системах водоснабжения.

Водная техноэкосистема Хмельницкой АЭС, напротив, сформировалась на основе полностью искусственного водоема – водохранилища на малой реке Гнилой Рог (бассейн р. Припять, северо-запад Украины). Площадь водоема по проектным данным составляет около 20 км², реально – несколько меньше, объем – до 120 млн м³. Системы технического водоснабжения АЭС соединены с водоемом-охладителем двумя каналами – подводящим и отводящим. Объем воды в них достаточно велик: 0.8 млн м³ (подводящий) и 0.4 млн м³ (отводящий). При работе двух энергоблоков расход охлаждающей воды, проходящей по каналам, составляет около 5.5 млн м³/сут в зимний период и до 9.6 млн м³/сут – в летний. В месяц через системы охлаждения проходит более двух объемов воды, равных объему водоема.

Системы водоснабжения других предприятий также сложны, состоят из разнообразных технических элементов в сочетании с природными.

Техноэкосистемы во времени

Упорядоченность процессов и изменений в экосистемах во времени есть одна из составляющих их структурной организации. Как элементы экосистем связаны закономерно, не хаотически в пространстве, так же определенным образом, закономерно связаны и состояния экосистем во времени. Основных типов изменений можно выделить два – поступательные изменения и циклические. Первые связаны с разномасштабными сукцессиями, поступательным развитием, вторые – с определенной периодичностью явлений природы: сменой времен года, времени суток и т.п., а также биотическими циклами, в первую очередь связанными с размножением. В силу своеобразия структуры техноэкосистем их развитие во времени обладает целым рядом особенностей.

Детально рассмотрев явления, связанные с изменениями во времени в техногенных водоемах, В. Н. Безносков и А. Л. Суздалева (2005) указывают на существенные различия в этом плане между природными и технозависимыми экосистемами. Если для природных систем характерны поступательные изменения, приводящие к климатскому состоянию, свойственному данной ландшафтно-климатической зоне, то в жизни технических водоемов (техноэкосистем) изменения происходят в несколько фаз, каждая из которых связана с особенностями периода эксплуатации. Таких фаз в жизни техноэкосистемы может быть достаточно много, однако типизировать их можно на фазу подготовки к эксплуатации, ряд фаз относительной стабильности, посттехногенную фазу. Так или

иначе, технические факторы постоянно в большей или меньшей степени изменяют ход сукцессионного процесса.

Однако следует отметить, что при отсутствии значительных колебаний условий, уровня воздействия технических факторов может устанавливаться состояние «техногенного псевдоклиматкса». Например, в водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС в первые годы существования в перифитоне и бентосе сформировалось сообщество с доминированием *Dreissena polymorpha*, вполне характерное для малых и средних водохранилищ в бассейне р. Южный Буг, в частности в Ладыжинском, используемом для охлаждения агрегатов Ладыжинской ТЭС. Но при постоянном высоком термическом воздействии дрейссена элиминировала, сформировались сообщества с низкой биомассой, увеличение которой, однако, произошло после вселения и развития популяции инвазийного вида брюхоногих моллюсков *Melanoides tuberculata* Müller, и такое «псевдоклиматское» сообщество существует уже достаточно долго и будет, вероятно, существовать, пока не произойдет существенного изменения условий (Протасов, Силаева, 2012).

Таким образом, развитие техноэкосистем происходит под значительным влиянием технических факторов, которые своеобразно «фрагментируют» естественный сукцессионный процесс и могут приводить его к специфическим, характерным только для данной техноэкосистемы состояниям.

Техноэкосистема и биотическое разнообразие

Можно считать вполне установленной зависимость между биомассой, продукцией биотических сообществ и их разнообразием (Алимов, 2000; Протасов, 2008), зависимость эта обратная. Таким образом, высокую про-

дукцию имеют сообщества с упрощенной структурой, низким разнообразием. Чем выше разнообразие, сложность, тем большего количества энергии требует такая система для своего поддержания, поэтому существует «энергетический предел сложности» (Бурковский, 2006); сложность биотической части экосистемы должна лимитироваться продукционными способностями сообщества. Кроме того, разнообразие сообществ тесно связано с разнообразием биотопическим, разнообразием среды обитания (Протасов, 2008).

Формально в техноэкосистеме происходит определенное увеличение богатства элементов уже хотя бы за счет простого прибавления технических. Например, использование естественного водоема в качестве водоисточника предприятия или энергетической станции приводит к появлению системы каналов, технических водоводов, плотин, гидросооружений и др. В целом это может вызвать существенное возрастание биотопического разнообразия всей техноэкосистемы. Например, создание двух тепловых электростанций на пяти Конинских озерах (Польша) привело к необходимости соединения их весьма сложной системой каналов, озера стали существенно различаться по термическому режиму, значительная часть воды вместе с ее планктонным населением проходит через системы охлаждения и техводоснабжения, биотопическая структура явно усложнилась (Zdanowski, Protasov, 1998).

Однако, как было показано (Протасов, 2008), в техноэкосистемах зачастую при увеличении количества элементов системы разнообразие не возрастает, а даже может снизиться за счет резкого доминирования одного техногенного фактора (например, термического). В том случае, если биотическое разнообразие также будет снижаться вслед за биотопическим, существенное значение может

иметь вышеприведенная зависимость: низкое разнообразие может быть связано с увеличением продуктивности, причем, как правило, за счет небольшого количества видов. Значительное «цветение» воды различными водорослями, вспышки обилия дрейссены, губок в водоемах-охладителях, вероятно, в большей мере есть отражение этой зависимости.

Проблема биологических помех

Воздействие технических факторов при всем их своеобразии определенным образом сходно с природными. Технические факторы, как и естественные, вызывают повышение температуры, изменение скорости течения, воздействуют на режим растворенных газов и химического состава воды.¹ Именно поэтому мы и можем рассматривать техноэкосистему как двухкомпонентную, состоящую из живых и косных элементов, и уже среди косных выделить природные и технические, антропогенные.

В то же время обратное воздействие биотических элементов экосистем на косные достаточно специфично относительно природных и технических. Живые организмы производят колоссальную работу по модификации косной среды. Хорошо известны, например, расчеты фильтрационной активности организмов планктона и бентоса. Организмы планктона в Мировом океане в наиболее обитаемом слое воды 0–500 м могут профильтровать его объем за 20 сут (Богоров, 1974). После вселения моллюска дрейссены в водоем-охладитель ХАЭС прозрачность воды с 1.0–1.5 м возросла до 3.0–4.0 м (Техноэкосистема..., 2011). Роющие организмы также существенно изменяют характеристики косной среды. Однако все эти воздействия живого на косные элементы экосистемы – естественный процесс, который не может быть как-то оценен «с точки зрения» экосистемы. На эти измене-

ния тем или иным образом реагируют другие организмы. Особо активные виды получили название «видов-экосистемных инженеров» (Jones et al., 1994), они могут напрямую и не влиять на другие организмы, но воздействуют на косные компоненты экосистемы, изменяют условия.

Иное дело с техническими элементами. Воздействие биотических факторов на них напрямую влияет на эксплуатацию всей техноэкосистемы человеком. Эти факторы выступают в виде либо биопомех, либо биоповреждений. Биологические помехи рассматриваются как явление взаимодействия между биологическими и техническими элементами техноэкосистем, при котором присутствие и жизнедеятельность организмов, наличие их остатков оказывают негативное влияние на нормальное функционирование технических систем. Для техноэкосистем АЭС и ТЭС были выделены шесть типов по их локализации, четыре типа по происхождению, три типа по периодичности возникновения (Протасов и др., 2008; Протасов, 2011). Весьма ощутимыми являются биологические помехи, связанные с развитием обрастания в системах технического и циркуляционного водоснабжения, образование биопленок на теплообменных поверхностях (Поливанная, 1991; Nalepa, Schloesser, 1993). Для плавсредств основные биопомехи – это в первую очередь увеличение шероховатости поверхности, снижение гидродинамических качеств судна. Для стационарных сооружений в водной среде – это снижение устойчивости при гидродинамическом воздействии.

Место техноэкосистем в биосфере

Техноэкосистема – явление не частное. Возрастает количество этих систем, усложняются связи между ними и естественными био-

геоценозами. Понятие техноэкосистемы востребовано и в практической деятельности, как и общие понятия – «биосфера», «техносфера» и т. п. Например, одни из российских стандартов (ГОСТ, 2001) содержат такие определения: «техносфера» – стратегическое пространство взаимодействия ресурсов ресурсосферы, оборудования и моделей социосферы, «биосфера» – область распространения жизни на Земле, «ресурсосфера» – содержащиеся в Земле природные залежи полезных ископаемых, используемых для поддержания и развития цивилизации (эти термины и определения позаимствованы из международного Стандарта ISO 13600).

Таким образом, концептуальные положения, терминология, казалось бы, чисто академической области науки становятся все более необходимым понятийным аппаратом прикладной деятельности. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые основные положения биосферологии как самостоятельной науки (Соколов, 2009) в приложении их к вопросу о роли и месте техноэкосистем в биосфере.

Литература о различных аспектах изучения биосферы, в том числе комментариев к трудам В. И. Вернадского, обширна настолько же, насколько противоречива. В основе структуры океана В. И. Вернадский видел систему «пленок и сгущений жизни», которые представляют собой «области наибольшей трансформации солнечной энергии» (Вернадский, 1994, с. 383). Наземная часть биосферы представляет собой также поверхностную «пленку» на разделе суша – атмосфера. Биосфера – это биокосная система, которая включает как абиотические, косные компоненты, так и живой покров Земли (Беклемишев, 1928, 1964). Исходя из этого, биосфера не может рассматриваться (изначально не рассматривалась В. И. Вернадским) только и исключительно как

«область жизни», ее можно изучать как «живой покров Земли и его биотоп» (Соколов, 2009), как «наивысшую экосистему».

Рассматривая вопрос о структуре живого покрова Земли, или Геомериды, В. И. Беклемишев (1964) подчеркивал, что на всех уровнях организации живые системы обладают свойством определенной индивидуальности и целостности их элементов. Живой покров Земли не является простой суммой, совокупностью организмов, но системой биоценозов, т. е. систем другого порядка. Биосфера, включая ее гидросферную часть, складывается из экосистем разного порядка, самые крупные из которых биомы (Бурковский, 2006). Нами для выделения биомов в гидросфере использован критерий структурно-функционального сходства экосистем (Протасов, 2011). Очевидно, более правильно говорить о биогеомах, подчеркивая наличие двух составляющих – биотической и косной. Вопрос о том, какое место занимают техноэкосистемы в биосфере, этой наибольшей биокосной системе, очень важен не только с теоретической точки зрения.

Представляется важным ответить на вопросы: что существенно, принципиально нового добавляет частица «техно-» для экосистем, входящих в более крупные единицы биосферы; какую роль играют антропогенные элементы экосистем; каково место техноэкосистем в общей «ткани» межэкосистемных взаимодействий? Природа техноэкосистем двойка: они определенным образом сходны с естественными, но и обладают значительным своеобразием. Так, водохранилище, яркий пример антропогенной экосистемы, – это не нечто среднее между рекой и озером, а водоем со своей спецификой, как морфогидрологической, так и биотической (Баканов, 2005). Водоёмы-охладители энергетических станций рассматриваются как своеобразные экосистемы, и вводится,

например, понятие «антропогенная гидротермаль», подчеркивающее это своеобразие в плане особого термического режима (Безносков, Суздалева, 2001). Процесс взаимодействия и взаимовлияния живого и среды положен в основу всего учения о биосфере (Вернадский, 1994). Однако у отдельных живых организмов механизмы и «приемы» воздействия довольно ограничены. В силу этого процессы биогенных изменений среды всегда в истории Земли были очень длительными, поступательными, имели невысокую скорость. Только человек коренным образом изменил как характер, так и интенсивность процессов этих взаимодействий.

Считая экосистему элементом биосферы, важно выделить ее внутренние и внешние составляющие функционирования. Экосистемы имеют свою структуру, представляют собой систему разнообразных элементов – как живых, так и косной природы. Но они, как и целостные системы, взаимодействуют с другими экосистемами, именно это взаимодействие лежит в основе поддержания целостности биосферы. Любая система ограничена, за её пределами – среда существования, однако значительную часть этой среды для современных экосистем представляют другие взаимодействующие с ней экосистемы.

Взаимодействия эти многообразны, однако влияния техноэкосистемы на окружающие экосистемы часто имеют негативную направленность. Здесь может быть выделено несколько вариантов таких воздействий. Первый – когда собственно технические факторы воздействуют и вне пределов самой техноэкосистемы. Пример – Чернобыльская и другие подобные катастрофы. Здесь важно заметить, что техноэкосистемы могут находиться в двух состояниях: работать в управляемом, штатном режиме и в неуправляемом, аварийном. Причем последнее может выглядеть не

только как временная поломка и остановка функционирования технических элементов, но и как достаточно длительное состояние.

Второй тип воздействия связан с влиянием всей техноэкосистемы на окружающую среду. Например, при так называемых продувках водоемов-охладителей (дополнительный водообмен, который производится для снижения минерализации воды) в другие водные объекты попадают не только воды с более высокой температурой, минерализацией, но и масса организмов.

Некоторые производственные отходы функционирования техноэкосистем уже влияют на планетарные процессы. Хотя выбросы углекислого газа и соединений серы являются следствием собственно сжигания органического топлива, однако следует принимать во внимание, что этот процесс происходит только при функционировании всей техноэкосистемы тепловой электростанции.

Еще один тип воздействия связан с особым свойством некоторых техноэкосистем – их подвижностью. Судами в огромных масштабах осуществляется перенос организмов между различными акваториями Мирового океана и внутренних водоемов. Этот процесс имеет уже биосферный масштаб. Само перемещение в поверхностных слоях океана около 2000 км² твердых поверхностей, населенных различным организмами, – это само по себе явление, сопоставимое с процессами планетарного масштаба.

Совокупность техноэкосистем выше рассматривалась нами как техноэкофера, т. е. как система, существующая как бы параллельно с биосферой. Хотя техноэкосистемы обладают определенными свойствами природных, их весьма сложно отнести к тому или иному биогеому. Например, можно ли отнести техноэкосистемы каналов к реобиогеому? Или водоемы-охладители – к лимногеобио-

му? Сделать это достаточно сложно. Поэтому на современном уровне обобщений нет пока безусловных оснований для выделения специфического био(техно)геома как одной из суббиосферных единиц (Протасов, 2011). Хотя к этому имеются определенные предпосылки. С одной стороны, за выделение отдельного био(техно)геома говорит следующее:

- техноэкосистемы обладают своеобразным составом элементов и особой структурой;
- имеют смешанный источник энергии, кроме солнечной (в том числе и аккумулированной в органическом ископаемом топливе), энергию воздушных и водных течений, ядерного топлива, химических реакций и других;
- при любом соотношении техно- и геоэлементов именно влияние технических определяет функционирование всей техноэкосистемы как целого;
- в техноэкосистемах техническая составляющая экологически, по характеру своего воздействия на биотические компоненты весьма сходна с другими абиотическими факторами;
- биотические элементы не только находятся под влиянием косных, но и воздействуют как на природные, так и техногенные элементы.

С другой стороны, против такого выделения могут быть приведены следующие аргументы:

- сложно пространственно выделить техноэкосистемы среди природных;
- техноэкосистемы чрезвычайно разнообразны по своей структуре, предназначению, функционированию, что затрудняет их типизацию;
- природные экосистемы и биогеомы имеют определенную эволюционную связь, техноэкосистемы возни-

кают, существуют, развиваются обособленно.

Вопрос о роли техноэкосистем в биосферных процессах чрезвычайно важен, что предполагает дальнейшие теоретические разработки в этой области.

Заключение

В той или иной мере наблюдения, связанные с техноэкосистемами, их изучение происходили уже достаточно давно. При этом изменялись подходы как с самого объекту изучения, так и предмету исследований; можно говорить о некоторой периодизации работ в области технической гидробиологии².

В настоящее время становится все более очевидным, что конструирование технических систем, имеющих связь с во-

дными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Хотя все еще преобладает важный, но достаточно односторонний «природоохранный» подход, который сейчас определенным образом модифицируется на базе превалирования методов биоиндикации над физико-химическими аналитическими методами контроля, основная задача технической гидробиологии (а частично, на наш взгляд, и санитарной) состоит не только в контроле, важность которого не вызывает сомнения, но и в разработке принципов и методов управления целостной техноэкосистемой. Эффективное управление этими системами, равно как и агроэкосистемами, – основа гармонизации отношений человека с биосферой планеты.

¹ Некоторая часть этих химических веществ может существенно отличаться от природных, и количество таких постоянно возрастает. Многие из них могут быть потенциальными или реальными токсикантами, их должен выявлять специальный токсикологический контроль.

² Полагаем, что история технической гидробиологии заслуживает специального рассмотрения в отдельной работе.

Список литературы

1. Алимов А. Ф. (2000) Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 147 с.
2. Баканов А. И. (2005) Теоретические основы экологического районирования водохранилищ. В: Розенберг Г. С. (ред.) Количественные методы экологии и гидробиологии (Сб. научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова). Тольятти: Самарский центр РАН, с. 157–166.
3. Безносков В. Н., Суздалева А. Л. (1999) Нарушение стратификации водоемов как источник их загрязнения. В: Природообустройство и экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации. М.: МГУП, с. 60–61.
4. Безносков В. Н., Суздалева А. Л. (2001) Антропогенная гидротермаль: общая характеристика биотопа и возможная роль в климатогенных изменениях водной биоты. В: Водные экосистемы и организмы-3. Материалы науч. конф. М.: МАКС Пресс, с. 48–50.
5. Безносков В. Н., Суздалева А. Л. (2005) Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов. В: Антропогенное влияние на водные экосистемы. М.: Тов-во научных изданий КМК, с. 120–128.
6. Беклемишев В. Н. (1928) Организм и сообщество (К постановке проблемы индивидуальности в биоценологии). Тр. Биол. науч.-исслед. ин-та и Биол. ст. при Пермском ун-те 1 (2–3): 127–143.

7. Беклемишев В. Н. (1956) Биоценозы реки и речной долины в составе живого покрова Земли. Тр. ВГБО 7: 77–97.
8. Беклемишев В. Н. (1964) Об общих принципах организации жизни. Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 69 (2): 22–38.
9. Беклемишев В. Н. (1994) Методология систематики. М.: КМК Scientific Press Ltd, 250 с.
10. Богоров В. Г. (1974) Планктон Мирового океана. М.: Наука, 320 с.
11. Бурковский И. В. (2006) Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. М.: Т-во. науч. изданий КМК, 285 с.
12. Вернадский В. И. (1994) Живое вещество и биосфера. М.: Мысль, 672 с.
13. ГОСТ Р 51750-2001 Энергосбережение. (2001) М.: Госпромиздат, 27 с.
14. Егоров Ю. А., Леонов С. В., Погребняк В. Н. (1999) Анализ гидрологических процессов и состояния экосистем водоемов-охладителей при обосновании экологической безопасности АЭС. В: Экология регионов атомных станций. Вып. 2. М.: Б. И., с. 106–140.
15. Жадин В. И. (1948) Донная фауна Волги от Свияги до Жигулей и ее возможные изменения. Тр. ЗИН АН СССР 8 (3): 413–466.
16. Звягинцев А. Ю. (2005) Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 432 с.
17. Звягинцев А. Ю., Ивин В. В., Кашин И. А. (2009) Методические рекомендации по исследованию судовых балластных вод при мониторинге морских биоинвазий. Владивосток: Дальнаука, 123 с.
18. Звягинцев А. Ю., Мощенко А. В. (2010) Морские техноэкосистемы энергетических станций. Владивосток: Дальнаука, 343 с.
19. Каратаев А. Ю., Ляхнович В. П., Гурьянова Л. В., Митрахович П. А., Вежновец Г. Г., Самойленко В. М. (1989) Перестройка экосистемы эвтрофного озера вследствие превращения его в водоем-охладитель ТЭС. Экология 5: 18–25.
20. Кафанов А. И. (2005) Историко-методологические аспекты общей и морской биогеографии. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 208 с.
21. Кафтаникова О. Г. (1975) Беспозвоночные каналов СССР. Киев: Наук. думка, 164 с.
22. Михаевич Т. В. (1987) Питание мшанки *Plumatella fungosa* из системы водоема охладителя Березовской ГРЭС. В: Биол. ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. Материалы 22-й конф. по изучению водоемов Прибалтики. Вильнюс, с. 127–128.
23. Михайловский Г. Е. (1984) Специфика экологических систем и проблемы их изучения. Журн. общ. биол. 45 (1): с. 66–77.
24. Одум Ю. (1975) Основы экологии. М.: Мир, 740 с.
25. Оксий О. П. (1976) К вопросу о типизации каналов. В: Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев: Наук. думка, с. 13–33.
26. Поливанная М. Ф. (Ред.) (1991) Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев: Наук. думка, 191 с.
27. Парталы Е. М. (2003) Обрастание в Азовском море. Мариуполь: Рената, 378 с.
28. Протасов А. А. (2008) Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикоология. Киев: ИГБ НАНУ, 106 с.

29. Протасов А. А. (2009) О структуре и задачах технической гидробиологии. В: Тез. докл. X съезда Гидробиол. об-ва при РАН, г. Владивосток, 28 сент. – 03 окт. 2009 г. Владивосток: Дальнаука, с. 326–327.
30. Протасов А. А. (2011) Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академперіодика, 704 с.
31. Протасов А. А. (Ред.) (2011) Техноэкосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки. Киев: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 234 с.
32. Протасов А. А., Панасенко Г. А., Бабарига С.П. (2008) Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения. Гидробиол. журн. 44(5): 36–53.
33. Протасов А. А., Силаева А. А. (2012) Контурные группировки гидробионтов в техноэкосистемах ТЭС и АЭС. Киев: Институт гидробиологии НАН Украины, 274 с.
34. Раилкин А. И. (1998) Процессы колонизации и защита от биообрастания. СПб: Изд-во Санкт-Петербург. гос. ун-та, 272 с.
35. Резниченко О. Г. (1978) Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания. Биология моря 4: 3–15.
36. Реймерс Н. Ф. (1992) Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. М.: Россия Молодая, 365 с.
37. Соколов Б. С. (2009) Биосфера как биогеомериды и её биотоп. Биосфера 1(1): 1–5.
38. Сукачев В. Н. (1972) Основные понятия лесной биоценологии. В: Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, с. 311–356.
39. Шевцова Л. В. (1991) Донные животные каналов различных природных зон. Киев: Наук. думка, 220 с.
40. Митрахович П. А., Самойленко В. М., Карташевич З. К., Свирид А. А., Козлов Е.А., Королев Г.Н., Папко Н.А. (2008) Экосистема водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС. Минск: Право и экономика, 144 с.
41. Jones C. G., Lawton J. H., Shachak M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373–386.
42. Nalepa T. F., Schloesser D. W. (Eds.) (1993) Zebra mussels. Biology, impacts, and control. Boca Raton: CRC Press, 810 p.
43. Neveh Z. (1982) Landscape ecology as an emergin branch of human ecosystem science. *Advances in Ecol. Research.* 12: 189–237.
44. Odum E. P. (2001) The “techno-ecosystem”. *Bull. Ecol. Soc. Am.* 82(2): 137–138.
45. Odum H., Odum B. (2003) Concepts and methods of ecological engineering. *Ecol. engineer.* 20: 339–361.
46. Vannote R. L., Minchall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R., Cushing C. E. (1980) The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37(1): 130–137.
47. Ward J. V.(1989) The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 8(1): 2–8.
48. Zdanowski B. Z., Protasov A. A. (1998) Structura i funkcjonowanie podgrzanych jezior Koninskiх – wnioski dla ochrony i zagospodarowania zbiornikow. In: Jeziora Koninskie – 40 lat badan: stan aktualny oraz wnioski dla ochrony. Konin: Wojow. Inspekt. Ochrony Srodowiska w Koninie, p. 54–58.

Aquatic Techno-Ecosystems and Their Place in Biosphere

Alexander A. Protasov

*Institute of Hydrobiology, National Academy
of Sciences of Ukraine
12 Geroyev Stalingrada, Kiev, 04210, Ukraine*

The techno-ecosystem concept in the hydrosphere is considered. Certain features of a techno-ecosystem, such as peculiar biotopic structure, presence of high-gradient conditions, low predictability of its behavior and development are described. The concept of ecosystem-biogeocenosis gradient is introduced. The place of techno-ecosystems in the Biosphere is considered.

Keywords: techno-ecosystem, biogeocenosis, biosphere, power stations, biological constraints.
