

Национальная академия наук Украины
Институт гидробиологии



А.А. ПРОТАСОВ
А.А. СИЛАЕВА

КОНТУРНЫЕ ГРУППИРОВКИ ГИДРОБИОНТОВ В ТЕХНО- ЭКОСИСТЕМАХ ТЭС И АЭС

Киев
2012

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

П 83

Рецензенты: доктор географических наук **В.М.ТИМЧЕНКО**

доктор биологических наук **С.А. АФАНАСЬЕВ**

*Рекомендовано к печати Ученым советом Института гидробиологии
НАН Украины (протокол № 14 от 21 ноября 2012 г.)*



*Издание осуществлено при поддержке Государственного
фонда фундаментальных исследований Украины,
проект № Ф41.4/028*

П 83 **Протасов А.А., Силаева А.А.**

Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС / Институт гидробиологии НАН Украины. — Киев, 2012. — 274 с.

ISBN 978-966-02-6633-9

В монографии представлены результаты более чем 30-летних исследований зообентоса и зооперифитона — ключевых контурных группировок техно-экосистем ТЭС и АЭС. Проведен анализ их состава, пространственной структуры, развития в лотических и лентических условиях, изменений во времени. Рассматриваются зависимости структурных и функциональных показателей контурных сообществ, как от техногенных факторов, так и биотических. Рассмотрены вопросы причин и условий формирования и ограничения биологических помех, вызываемых организмами бентоса и перифитона.

Для гидробиологов, экологов, специалистов в области охраны окружающей среды, ядерной и тепловой энергетики, преподавателей и студентов высшей школы.

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

Національна академія наук України
Інститут гідробіології



О.О. ПРОТАСОВ
А.А. СИЛАЄВА

КОНТУРНІ УГРУПОВАННЯ ГІДРОБІОНТІВ У ТЕХНО- ЕКОСИСТЕМАХ ТЕС І АЕС

Київ
2012

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

П 83

Рецензенти: доктор географічних наук **В.М.ТІМЧЕНКО**

доктор біологічних наук **С.О. АФАНАСЬЄВ**

*Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту гідробіології НАН України
(протокол № 14 від 21 листопада 2012 р.)*



*Видання здійснено за підтримки Державного
фонду фундаментальних досліджень України,
проект № Ф41.4/028*

П 83

Протасов О.О., Силаєва А.А.

Контурні угруповання гідробіонтів у техно-екосистемах ТЕС і АЕС / Інститут гідробіології НАН України. — Київ, 2012. — 274 с.

ISBN 978-966-02-6633-9

У монографії представлено результати більш як 30-річних досліджень зообентосу і зооперифітону — ключових контурних угруповань техно-екосистем ТЕС і АЕС. Проведено аналіз їх складу, просторової структури, розвитку в лотичних і лентичних умовах, змін у часі. Розглядаються залежності структурних і функціональних показників контурних угруповань, як від техногенних чинників, так і біотичних. Розглянуто питання причин і умов формування і обмеження біологічних перешкод, що викликають організми бентосу і перифітону.

Для гідробіологів, екологів, фахівців в області охорони навколишнього середовища, ядерної і теплової енергетики, викладачів та студентів вищих навчальних закладів.

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Hydrobiology



A.A. PROTASOV
A.A. SYLAIEVA

**MARGINAL
GROUPS
of HYDROBIONTS
in the TECHNO-
ECOSYSTEMS
of THERMAL
and NUCLEAR
POWER PLANTS**

Kyiv
2012

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

П 83

Reviewers: Doctor of geographical sciences V.M. TIMCHENKO

Doctor of biological sciences S.A. AFANASYEV

*Recommended to the printing by the Scientific Council of Institute of Hydrobiology
of NAS of Ukraine (protocol № 14 from November, 21, 2012)*



***Supported of the State fund of fundamental researches
of Ukraine, project № Ф41.4/028***

П 83 **Protasov A.A., Sylaiieva A.A.**

Marginal groups of hydrobionts in the techno-ecosystems of thermal and nuclear power plants / Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine. — Kyiv, 2012. — 274 p.

ISBN 978-966-02-6633-9

The book presents the results of more than 30 years researches of zoobenthos and zooperiphyton — marginal key groups of hydrobionts in techno-ecosystems of thermal and nuclear power plants. The analysis of their composition, spatial structure, development in the lotic lentic conditions, changes over time have been considered. The dependence of the structural and functional parameters of the marginal communities, on both technological factors and biotic are shown. The issues of causes, conditions of formation and control of bio-hindrances caused by organisms of the benthos and periphyton are examined in the book.

For hydrobiologists, ecologists, environmental protection experts, nuclear and thermal power experts, teachers and high school students.

УДК (574.5(28):(621.311.22:621.311.25)

ББК Ж16 2В: 343

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Посвящается 150-летнему юбилею
со дня рождения В.И. Вернадского*

Хотя в этой книге речь пойдет о вещах, с точки зрения гидробиолога достаточно обычных, — бентосе и перифитоне, целесообразно обратиться вначале к самим общим понятиям учения о биосфере и трудам В.И. Вернадского. Это связано с тем, что исследованные экотопические группировки гидробионтов представлены как «контурные». В чем же особенность и значимость контурных группировок в гидроэкосистемах? Сама идея восходит к трудам В.И. Вернадского.

В своей небольшой, около 100 стр. книге «Биосфера», изданной в 1926 г.¹, В.И. Вернадский выделил раздел «Жизнь в гидросфере». В его начале автор особо подчеркнул, что, несмотря на постоянную изменчивость гидросферы и жизни в ней, общая структура распространения проявлений жизни остается неизменной, по меньшей мере, с археозоя. Каковы же характеристики этой структуры? Чтобы ответить на этот вопрос, В.И. Вернадский предлагал использовать понятие «густоты жизни» для выделения участков гидросферы, ею обогащенной. В строении океана он выделял такие участки, как он их называл, «пленки и сгущения жизни».

Таких пленок и сгущений по В.И. Вернадскому несколько: прибрежные сгущения, поверхностные планктонные сгущения (в масштабах океана — это «пленка» толщиной 100—200 м), донная живая пленка. Важным для гидросферы и биосферы в целом является то, что сгущения жизни образуют в океа-

¹ В данной работе мы ссылаемся на издание (Вернадский, 1994).

не области наибольшей трансформации вещества и энергии» (Вернадский, 1994). Важно подчеркнуть, что в основу рассмотрения структуры жизни в гидросфере В.И. Вернадский ставил вопрос о взаимосвязи между элементами глобальной системы: не только интенсивное развитие в гидросфере «зеленой жизни» — фотоавтотрофов, но и гетеротрофов. Он отмечал, что «тесная связь по условиям питания и дыхания разных представителей жизни как раз и вызывает образование в океане скоплений организмов» (с. 384). В масштабах разноразмерных экосистем между этими сгущениями, расположенными в приграничных, маргинальных (от лат. *marginalis* — граничный) областях и распределяется основная биогеохимическая функция живого вещества гидросферы. Таким образом, модель гидросферной части биосферы по В.И. Вернадскому выглядела следующим образом: два маргинальных сгущения — две пленки, поверхностная и донная, смыкались на границе воды и суши, образуя третье мощное прибрежное сгущение, внутренняя область между ними рассматривалась как биогеохимически малоактивная, «слабо деятельная». Объем этих сгущений, активной зоны, В.И. Вернадский оценил всего в несколько процентов от общего объема Мирового океана.

Теоретические построения В.И. Вернадского, его модель гидросферной части биосферы были скорее умозрительными, базировались на общих представлениях о биогеохимических процессах, и в начале XX века еще не имели значительных эмпирических подтверждений. Однако в конце 1940-х гг. известным гидробиологом Л.И. Зенкевичем и его школой начала формироваться концепция биологической структуры океана, которая основывалась уже на достаточно богатом натурном материале исследований пелагической и донной жизни. Эта модель демонстрировала свойственную всем океанам циркумконтинентальную структуру сгущений жизни. Такая структура существует в океане, но важным является вопрос о ее масштабности. Иными словами: существует ли она в целом спектре водных объектов меньшего масштаба?

Есть все основания полагать, что структура, которая включает активную пограничную и малоактивную — внутреннюю зоны, существует во всем масштабном спектре водных экосистем — от океа-

на до озера. Безусловно, нельзя проводить прямые аналогии между океаном со средней глубиной около 4000 м и водоемом с глубиной порядка нескольких метров. Это скорее — гомологические ряды структур. Тем не менее, сохраняется главная закономерность распределения сгущений жизни — в прибрежье, в литорали, в донной области и в фотической зоне пелагиали. Именно здесь происходят основные процессы метаболизма всей экосистемы водоема.

Логика гидробиологических исследований, выделение экотопических группировок гидробионтов — планктона, бентоса и др., совпадают с логикой глобального биогеохимического взгляда на гидросферную часть биосферы. Именно поэтому группировки нейстон, перифитон и бентос относятся к контуробиону — совокупности обитателей водной среды, жизнь которых связана с основными границными зонами.

Что следует отметить в этой связи для водоемов, в той или иной степени подверженных антропогенному влиянию? Включая их в сложную систему взаимосвязей с техническими устройствами, агрегатами, человек создает новый тип экосистем — техно-экосистему, в которой кроме живой компоненты (био-), совокупности абиотических, косных элементов, свойственных тому или иному участку земной поверхности (гео-), присутствует и оказывает влияние на другие элементы техническая составляющая (техно-). Таким образом, рядом с природными биогеоценозами возникают и функционируют био-гео-техно-ценозы, масштабы которых в биосфере все более увеличиваются.

Важно то, что в этих новых для биосферы техно-экосистемах именно краевые, контурные или маргинальные биотопы и их население, обитающие здесь биоценозы, играют зачастую определяющую для всей экосистемы и человека, ее создателя, роль.

Исследования, о результатах которых идет речь в данной монографии были проведены на одном из типов техно-экосистем — водоемах-охладителях тепловых и атомных электростанций, системах водоподведения, технического водоснабжения, отводящих каналах.

Объектом исследования были важные в этих экосистемах экотопические группировки — бентос и перифитон, их гетеротрофная компонента, по гид-

робиологической классификации — зообентос и зооперифитон. Исследование именно этих группировок обусловлено было значительной их ролью как в жизнедеятельности гидроэкосистем, так и проблемами, связанными с биологическими помехами, которые они вызывают. Кроме того, эти группировки имеют большое значение в аут- и экобиоиндикации состояния экосистем, то есть индикации на основе как отдельных видов гидробионтов, так и их сообществ.

До настоящего времени существуют определенные сложности в таксономической идентификации многих организмов бентоса и перифитона, в частности пресноводных мшанок. Поэтому мы сочли целесообразным включить в работу в качестве «Приложения» ключ по определению мшанок, разработанный сотрудником Зоологического Института РАН (Санкт-Петербург), кандидатом биологических наук В.И. Гонтарь (Приложение 3).

Работы на объектах техно-экосистем ТЭС и АЭС были бы невозможны без помощи различных специалистов технического профиля. Авторы приносят свою глубокую благодарность специалистам: НАЭК «Энергоатом» Л.В. Близнюковой, ГНИЦ СКАР — А.Н. Масько, руководству и специалистам ОП ХАЭС Н.С. Панащенко, Г.А. Панасенко, В.И. Турецкому, А.В. Левицкому, А.В. Голоду, Л.Н. Шиндеру, Е.А. Демидюку, группе водолазов гидротехнического цеха ХАЭС, специалистам ОП ЗАЭС — В.К. Валееву, И.В. Квашнину, С.Ю. Мозговой и многим другим, кто оказывал помощь и содействие в выполнении исследований.

Издание поддержано Государственным Фондом фундаментальных исследований Украины (проект Ф41.4/028).

КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЫ

Рассматривая явление жизни во времени В.Н. Беклемишев (1964) подчеркивал, что «в каждый момент времени, от докембрия и до наших дней, живой покров Земли представлял организованное целое, существующее благодаря достаточно сложному функционированию своих частей» (с. 26). Это положение можно рассматривать не только во времени, но и в пространственном аспекте. Живой покров Земли един в масштабах планеты и представляет собой организованное из определенных частей целое, что и позволяет существовать сообществам организмов в самых различных условиях, в различных средах. Это то, что обуславливает явление «всюдности жизни» (термин В.Н. Вернадского).

Количество конкретных биотопов в биосфере вряд ли поддается учету, тем не менее, вполне можно обобщенно говорить о достаточно ограниченном количестве основных их типов. Так, известна классификация наземных биотопов, основанная на сочетании основных факторов температуры и влажности (Уиттекер, 1980). В водной среде в системе, предложенной В.И. Жадиным (1950), все многообразие биотопов, условий сводится к нескольким сочетаниям гидродинамических и эдафических факторов. Однако следует обратить внимание на то, что в естественную биотопическую систему биосферы все более и более активно внедряются различные антропогенные элементы. Это, безусловно, существенно изменяет биотопическую структуру среды в различных масштабах.

В настоящее время биосфера уже включает не только природные биокосные системы, но и природно-антропогенные. Жизнь значительной части человечества чрезвычайно сильно связана с этими «композитными» системами. В конце XIX — начале XX в. роль антропогенного фактора стала приобретать черты глобальности.

Природа отношений человека с окружающей средой такова, что в результате его деятельности создается своеобразный новый материальный техногенный мир, мир предметов, механизмов, строений, транспортных средств, производственных комплексов и т. п. Как отмечал 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).

На особенности биокосных систем, которые включают, наряду с природными и технические элементы, гидробиологи обратили внимание достаточно давно. Так, водоемы-охладители тепловых и атомных электростанций были обособлены от других как природно-техногенные системы (Егоров и др., 1999). Ссылаясь на Z. Neveh (1982), Е. Одум (Odum, 2001) использует термин «techno-ecosystem» для обозначения особого типа экосистем, при этом он обращает внимание на коренное различие природных и техно-экосистем: если первые зависят от энергии солнца, то вторые — от энергии различного топлива. Как типичные техно-экосистемы рассматриваются современные города (Odum, Odum, 2003).

Биотопы и условия жизни в гидросфере многообразны. Один из типов технических биотопов в свое время был досконально рассмотрен О.Г. Резниченко (1978). Речь идет о комплексе различных антропогенных субстратов, которые этот исследователь выделяет в отдельный тип биотопов в гидросфере — мезаль, подчеркивая этим названием некое промежуточное положение среди естественных. Он называет их вторичными, то есть возникающими после существовавших всегда в гидросфере пелагиали и бентали. Поскольку присутствие этих «вторичных» биотопов непосредственно связано с деятельностью человека, то более приемлем предложенный О.Г. Резниченко же термин «антропаль». Он четко указывает на происхождение биотопа и, с нашей точки зрения, подчеркивает наиболее существенные его особенности. Важным в данном случае является наличие раздела фаз — твердой (субстраты различного происхождения и качества) и жидкой — воды. Масштабы антропали огромны. Так, в морских акваториях — площади поверхности судов, портовых и других сооружений антропогенного характера, водоводы прибрежных предприятий — сопоставимы с площадью субстратов литорали Мирового океана (Резниченко, 1978).

Техно-экосистема может быть определена как совокупность биотопов природного и техно-антропогенного характера, их живого населения, объединенных системой прямых и обратных связей, потоками вещества, энергии и информации, изменяющихся в пространстве и во времени (Протасов, 2009; Техно-экосистема..., 2011; Protasov et al., 2009).

Один из примеров техно-экосистем — водоводы циркуляционного водоснабжения тепловой электростанции как биотоп с населяющим его слож-

ным биоценозом морских организмов (Звягинцев, Мощенко, 2010). Авторы рассматривают как взаимосвязанные с техно-экосистемой объекты не только собственно обрастания в системах водоснабжения и формирование ими биологических помех, но также связь технических систем с водоемом-охладителем или морскими прибрежными водными биоценозами.

В таких биокосных системах природные факторы и объекты среды существенно дополнены или заменены антропогенными, в данном случае — техногенными. В своем единстве и в соответствии с общей концепцией экосистемы, как совокупности взаимодействующих элементов живых, биотических, с одной стороны, и косных — с другой, они представляют собой техно-экосистемы.

С точки зрения общей структуры экосистем (биогеоценозов) роль «техно-» элементов может быть очень близка к элементам «гео-», то есть косных природных, и это не нарушает самой концепции экосистемы. Эти элементы (технические и природные) равнозначно входят в состав среды существования биотических компонентов в техно-экосистемах. Тем не менее, безусловно, следует учитывать специфику технических элементов, которые могут определять своеобразные характеристики всей техно-экосистемы. В этом смысле, например, корпус судна или поверхность гидросооружений вполне сходны с естественными твердыми субстратами; водохранилище имеет черты сходства, как с озером, так и с рекой. Однако, и это важно подчеркнуть, многие своеобразные характеристики техно-элементов, антропогенных факторов в их сочетании с природными, совершенно отличны от последних, что и создает специфику техно-экосистем.

Соотношение природных и антропогенных элементов в техно-экосистеме зависит от ее конструкции. Например, в системе охлаждения ТЭС или АЭС с замкнутым циклом водоснабжения и градирнями существенно преобладают технические элементы. При системе охлаждения с водоемом-охладителем значительно преобладают элементы, близкие по своему характеру к природным: водоем может иметь природное происхождение или быть близок по своему характеру к таковому. Объем охладителя составляет порядка десятков и сотен миллионов м³, а объем воды в собственно технических устройствах — не более нескольких процентов объема водоемов. При прямой системе охлаждения эти объемы вообще несопоставимы.

Природные и технические элементы и их соотношение в техно-экосистеме могут существенно изменяться во времени. Примером может быть постепенное заиливание твердых искусственных облицовок в каналах и трансформация антропогенной перифитали в бенталь, близкую по своему характеру к речной (Шевцова, 1991).

Создатель учения о биогеоценозах В.Н. Сукачев метко назвал азойные, безжизненные участки земной поверхности, физиотопы (не биотопы, поскольку нет жизни, но где жизнь в принципе может существовать) «эмбрионами» биогеоценозов (1972). Редкие в природе, эти «эмбрионы» совершенно обычны в начале развития техно-экосистем. Например трубопровод, система водоснабжения, ложе канала, корпус корабля и т. п. изначально лишены жизни в них или на них. Техногенный биотоп может быть (или не

быть) сконструирован гармонично, с учетом будущего функционирования и развития техно-экосистемы. Это является важным конструктивным управляющим моментом.

Процессы, происходящие в техно-экосистемах, имеют двойственный характер, определяются как природными, так и техногенными факторами. Влияние природных необходимо учитывать, а технические можно до определенной степени регулировать. В природных экосистемах существуют некоторые закономерности структурной биотопической организации. Именно поэтому сформулированы такие обобщающие концепции, как концепция речного континуума (Vannote et al., 1980), концепция метамерной структуры лотических биотопов (Беклемишев, 1956) или принципы биотопического градиента при переходе от лотических систем к лентическим (Жадин, 1948). Сочетание, взаимосвязь биотопов определяется конструкцией и режимом эксплуатации технических систем, они как бы лишены обычной «биотопической логики». В техно-экосистеме могут отсутствовать многие топические элементы, обычные в природных, в то же время существует много свойственных только им. Например, в искусственном водотоке, в облицованном канале, совершенно отсутствуют такие важные элементы биотопа лотических природных систем как перекаты, плесы, меандрирование, связь с внешними пойменными водоемами (Кафтанникова, 1975; Оксийук, 1976). 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.

Высокий термический градиент по глубине определяется в водоемах-охладителях 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, в частности водоводов и агрегатов техводоснабжения АЭС и ТЭС, характерны резкие перепады скорости течения, термических условий, изменений характера субстрата (Гидробиология..., 1991).

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. 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. Поэтому важной характеристикой техно-экосистемы является ее фрагментированная структура. Большая ее часть представляет собой комплекс изолятов, мало связанных местообитаний. Такая фрагментированность может быть причиной снижения видового богатства всей системы, снижения разнообразия, что, в свою очередь, может привести к снижению биоценотической

устойчивости (Акатов, 2012). Кроме того, техно-экосистемы сами могут в значительной мере определять фрагментацию естественных систем, как это происходит, например, с речной системой при создании водохранилищ.

Техно-экосистемы создаются человеком с определенной целью и по определенному плану. Время их создания, начало функционирования достаточно определено, запрограммировано моментом ввода в эксплуатацию. Степень перестройки природных экосистем, характер «внедрения» техногенных элементов в природную среду всегда очень разнообразны.

Упорядоченность процессов и изменений в экосистемах во времени есть одна из составляющих их структурной организации. Элементы экосистем связаны не только в пространстве, определенным образом закономерно связаны и состояния экосистем во времени. Основных типов таких изменений можно выделить два — поступательные и циклические. Первые связаны с разномасштабными сукцессиями, поступательным развитием, вторые — с определенной периодичностью явлений природы — смен времен года, времени суток и т. п., а также биотическими циклами, в первую очередь связанных с размножением. В силу своеобразия структуры техно-экосистем, их развитие во времени обладает целым рядом особенностей.

Техно-экосистемы во времени нестабильны. Имеются существенные различия в этом плане между природными и технозависимыми экосистемами (Безносов, Суздалева, 2005). Если для природных характерны поступательные изменения, приводящие к климаксному состоянию, свойственному данной ландшафтно-климатической зоне, то в жизни технических водоемов (техно-экосистем) изменения происходят в несколько фаз, каждая из которых связана с особенностями периода эксплуатации. Их можно типизировать 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.

При отсутствии значительных колебаний условий, уровня воздействия технических факторов, может устанавливаться состояние «техногенного псевдоклиматкса». Экосистема в целом и отдельные подсистемы, включая контурные группировки, могут достаточно долгое время находиться в определенном более или менее стабильном состоянии, однако изменение условий эксплуатации, например, увеличение мощности энергетической станции, может очень быстро привести к изменению многих характеристик всей техно-экосистемы и, возможно, к переходу ее в новое состояние. Развитие техно-экосистем 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.

Формально в техно-экосистеме происходит определенное увеличение богатства элементов, уже хотя бы за счет простого прибавления технических. Например, использование естественного водоема в качестве водисточника предприятия или энергетической станции приводит к появлению системы каналов, технических водоводов, плотин, гидросооружений и др. В целом это может привести к существенному возрастанию биотопического разнообразия.

разия всей техно-экосистемы за счет увеличения количества биотопических элементов системы. Однако в техно-экосистемах зачастую при увеличении количества элементов системы разнообразие не возрастает, а даже может снизиться за счет резкого доминирования одного техногенного фактора, например, термического (Протасов, 2008). В том случае, когда биотическое разнообразие будет снижаться вслед за биотопическим, существенное значение может иметь взаимосвязь разнообразия и продуктивности (Алимов, 2000): низкое разнообразие может быть связано с увеличением продуктивности, причем, как правило, за счет небольшого количества видов. Массовое «цветение» водорослей, вспышки обилия дрейссены, губок, некоторых цветковых растений в водоемах-охладителях ТЭС и АЭС, водохранилищах ГЭС, вероятно, и есть отражение этой взаимосвязи.

В настоящее время все более очевидным становится тот факт, что конструирование технических систем, имеющих связь с водными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Технические системы не должны оказывать негативного влияния на природную среду, здоровье человека, но и сами не должны находиться под воздействием биологических факторов, нарушающих нормальную их эксплуатацию. При оценке влияния на среду все еще преобладает важный, но достаточно односторонний «природоохранный» подход, который связан с оценкой воздействия техногенных факторов на окружающую среду, и он сейчас определенным образом модифицируется на базе разрабатываемых методов биоиндикации. Основная задача технической гидробиологии состоит не только в контроле воздействия технических систем и факторов на природную среду, важность которого не вызывает сомнения, но и в разработке принципов и методов управления целостной техно-экосистемой. Важно отметить, что в техно-экосистеме весьма существенное значение имеет как прямое воздействие среды, включая техногенную ее компоненту на биотические элементы, так и обратные процессы воздействия живых организмов, их жизнедеятельности на технические системы, что выражается в виде биопомех и биоповреждений.

КОНЦЕПЦИЯ КОНТУРНЫХ, МАРГИНАЛЬНЫХ БИОКОСНЫХ СИСТЕМ

Как обсуждалось выше, В.И. Вернадским (1994) было предложено использовать понятие «густоты жизни» для обозначения участков в биосфере («пленок и сгущений»), где количество и биомасса организмов больше средних показателей. К прибрежным, поверхностным планктонным, донным пленкам, очевидно, следует добавить сгущения, которые связаны с различными антропогенными субстратами, которые могут и не быть связанными с дном или поверхностью водоема. Эти «пленки и сгущения жизни в океане — области наибольшей трансформации солнечной энергии» (Вернадский, 1994, с. 383).

Биосфера как система обладает одним из важных свойств — разнообразием ее элементов. Одним из показателей разнообразия структуры биосфе-

ры является неоднородность (по происхождению, функции, роли) ее вещества. Важность этого неоднократно подчеркивал В.И. Вернадский. В одной из своих работ он писал: «Вещество биосферы состоит из семи глубоко разнородных частей, геологически не случайных. Во-первых, из совокупности живых организмов, живого вещества, рассеянного в мирадах особей, непрерывно умирающих и рождающихся, обладающих колоссальной действенной энергией...» (Вернадский 1987, с. 51). Живое вещество — есть совокупность живых организмов, неразрывно связанных с косными элементами среды, и в этом взаимодействии выполняет свою биосферную функцию. Он подчеркивал, что распределено живое вещество, этот постоянно меняющийся мир живых организмов планеты, неслучайно, а в соответствие с определенными закономерностями.

Идея взаимного влияния, взаимодействия живых организмов и среды, живого и косного вещества основана не только на многочисленных эмпирических данных, но и вытекает из системного взгляда на организацию биосферы. Никакая система не может существовать без более или менее сложных прямых и обратных постоянных связей между элементами этой системы.

Разнообразное по характеру, своим свойствам живое вещество биосферы распределено далеко не равномерно. Эта неоднородность — еще один уровень разнообразия живого вещества — определяется как внутренними (биотическими) факторами, так и внешними факторами среды. Очевидно, что большее количество живого вещества (сгущение) там, где среда оказывает меньшее сопротивление давлению жизни или же комплекс условий, ресурсов более благоприятен для развития организмов. Разрежения же живого вещества отражают результат сильного давления среды, относительную скудность ресурсов.

Уже в конце XIX в. очевидной была сложная вертикальная структура океанического планктона. Значительно позже, в 1960-е гг. стала очевидна еще более тонкая структура «планктонной пленки» Вернадского, когда на разделе фаз морская вода — атмосфера была открыта живая пленка нейстона (Зайцев, 1970). Второй важнейшей пленкой в гидросфере, по мнению Вернадского является донная пленка, то есть область раздела придонных вод и донных отложений с их населением. В настоящее время сформулирована концепция контурных биотопов и экосистем моря (Зайцев, 1985, 2006), которая, правда, в меньших масштабах, вполне может быть применена и к континентальным водоемам. Одним из первых В.И. Вернадский обращает внимание на то, что между двумя этими пленками находятся огромные массы воды, в которых отсутствуют сгущения, подобные маргинальным, краевым. Он приводит следующие расчеты: «...в общей массе воды океана живые организмы образуют тончайшую пленку... В химизме океана эта его часть может рассматриваться как активная, а остальная масса воды — как биохимически слабо деятельная. Исходя из этого ясно, что едва ли 2 % общей массы океана заняты сгущениями жизни. Вся остальная масса содержит жизнь рассеянную» (Вернадский, 1994, с. 385, 387). Эта модель, «биохимической» структуры океана В.И. Вернадского может быть дополнена и расширена с учетом положений концепции биологической структуры океана (Зенкевич,

1947; Богоров, Зенкевич, 1966; Богоров, 1974), а также циркумграничной структуры океана (Айзатуллин и др., 1979).

Причины, обуславливающие особые свойства на различных разделах фаз разнообразны. Пограничные слои — это место, где возникает избыточная, по сравнению с внутренней областью, поверхностная энергия разной природы. Водная среда находится в постоянном движении, области величин и размеров, с которыми так или иначе связаны биологические процессы в гидросфере, огромны — более 10 порядков. От 10000 км (океанические круговороты) до 1—100 мм (размеры пограничных слоев). Движение воды оказывает на организмы различное воздействие, которое можно охарактеризовать как эффект первого, второго и третьего порядка (Мощенко, 2006). Эффект первого порядка связан с механическим воздействием водных масс, которые определяют скорость течения, ориентацию переноса, давление, степень турбулентности. А также обуславливают устойчивость, активную и пассивную подвижность гидробионтов, их ориентацию в пространстве, экоморфные особенности, распределение хронологических групп и популяций. Вторичный эффект определяется влиянием на характеристики водных масс температурных показателей, содержания растворенных газов и других веществ, взвесей, поскольку движение воды вызывает их перераспределение. Так, газовый режим в придонной области в значительной степени зависит от гидродинамических процессов — поступления водных масс, обогащенных кислородом. Третичные воздействия определяют условия существования организмов непосредственно на границах «вода — донные отложения», «вода — твердые субстраты», в частности, накопление или наоборот размывание рыхлых донных отложений, перемещение отдельных элементов биотопа, накопление осадков на твердых субстратах.

Одним из биологически важных следствий взаимодействия между субстратом и водной массой, которая никогда не бывает абсолютно неподвижной, является образование пограничного слоя. Организмы бентоса и перифитона обитают, по сути, в иных условиях, чем можно себе это представить, наблюдая движение воды в канале, реке или прибрежье водоема. При любой скорости течения воды в водотоке или водоеме, скорость эта равна нулю на самой границе раздела фаз. Над субстратом она возрастает не скачком, а постепенно, достигая значений, средних для водотока на расстоянии, которое и является толщиной погранслоя. Толщина и характеристики этого слоя находится в обратной зависимости от скорости перемещения воды и в прямой — от вязкости и характерных размеров, например, глубины потока. Характер движения частиц воды, то есть ламинарность или турбулентность потока, связан с числом Рейнольдса (Re), которое определяется теми же параметрами, только в обратной зависимости (Караушев, 1969; Алеев, 1986; Мощенко 2006). Толщина погранслоя в реальных условиях — порядка долей миллиметров — десятков миллиметров сопоставима с размерами бентосных и перифитонных организмов.

По другую сторону раздела «вода — донные отложения» в бентали также происходят сложные процессы. Поскольку имеет место осаждение и окисление органического вещества в виде детрита, а молекулярно-диффуз-

ный поток кислорода в толщу осадков незначителен, близко к поверхности подступает бескислородная сероводородная зона. В этих условиях чрезвычайно велика роль биотического фактора. Организмы-интрабионты, проникая в толщу грунтов, способствуют аэрации, совершают большую работу по биотурбации грунтов. Например, в эстуарии р. Вислы полихеты настолько интенсивно строят ходы в грунте, что за счет их норок общая поверхность раздела «вода — донные отложения» увеличивается в 1,5—2,5 раза (Закономерности..., 2004). В перифитали, на разделе «твердый субстрат—вода» при отсутствии накопления органических частиц не происходит столь значительных окислительных процессов, однако сами прикрепленные организмы могут существенно влиять на кислородный режим в присубстратной области (Брайко, 1985).

Высокодисперсный субстрат бентали имеет очень большую активную поверхность, эта поверхность не инертна, на поверхности частиц происходят процессы адгезии различных веществ (Зайцев, 2006, 2008). Таким образом, условия в конкретных биотопах имеют свою специфику, в соответствии с этим своей спецификой обладают и контурные группировки гидробионтов.

КОНЦЕПЦИЯ ТОПИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ГИДРОБИОНТОВ. КОНТУРНЫЕ ГРУППИРОВКИ

Жизнь в гидросфере структурирована многообразно. Именно эта структурированность является основой существования живого покрова Земли (Беклемишев, 1928) или планетарного живого вещества (Вернадский, 1987) как системы. Как отмечал В.Н. Беклемишев (1964) «в составе живого покрова Земли существует бесконечное число подчиненных единиц, обладающих самыми различными степенями организации» (с. 25). Для всего живого покрова, независимо от среды обитания, вполне естественным образом существует такой иерархический ряд: организмы, особи (как назвал их В.И. Вернадский — неделимые) — популяции одновидовых особей — сообщества как совокупности популяций — сообщества во взаимосвязи со средой их обитания, т. е. экосистемы (Одум, 1975). Однако представлять всю структуру живого покрова только в такой иерархии было бы заведомым упрощением. Так, между уровнями индивид — популяция существует много различных, сложных систем, таких как семья, стая, семья-колония и др. Кроме того, границы сообществ и совокупностей входящих в них популяций в большинстве случаев различны. Сообщество, как правило, не состоит из истинных, целостных популяций, а включает в себя вполне функциональные их части — ценопопуляции. Они, в свою очередь состоят из индивидов, которые, однако, входят в систему биоценотических отношений не «самостоятельно», а как бы в «оболочке консортов» в виде консорций (Беклемишев, 1951). Концентрированная структура индивидуальных консорций может быть перенесена и на структуру сообществ, среди которых могут быть выделены сообщества консортивного типа, где существует хорошо выраженный доминант-эдификатор (Протасов, 2006).

Для обитателей гидросферы существует уникальная система структур — экотопических группировок гидробионтов (Бенинг, 1924; Алеев, 1990; Протасов, 2011). Названия этих группировок (планктон, нектон, перифитон, нейстон и бентос) «экотопические», это подчеркивает важный принцип их выделения и классификации. Дифференциация их изначально базировалась на двух принципах — топическом — обитание в определенных условиях, в определенной топической зоне водоема с характерными условиями, и биотическом — сходстве основных адаптаций, морфологических признаков. Таким образом, эволюционно население гидросферы дивергировало, осваивая различные биотопические области и, в то же время — формировало конвергентно сходные группировки в сходных условиях.

Что касается условий обитания, то они могут рассматриваться на различных уровнях — от конкретных биотопов до так называемых глобальных биотопов. Последние мы рассматриваем как наиболее крупные топические единицы обитаемой гидросферы. Их может быть выделено четыре — нейсталь, перифиталь, бенталь и пелагиаль, причем первые три по отношению к четвертой выступают как контурные, оконтуривающие, ограничивающие¹.

В каждом из типов биотопов обитают организмы, адаптации которых в наибольшей мере отвечают данным условиям. Кроме того, формируются характерные биотические отношения, т. е. сообщество способно адаптироваться как единое целое. Важно подчеркнуть еще и то, что организмы не только адаптируются к тем или иным условиям, а сами активно воздействуют на них. Например, организмы бентоса активно изменяют характер биотопа, структуру донных отложений, проникают на глубину до нескольких десятков сантиметров (Бурковский, 1992; 2006), однако, как правило, наиболее населенными являются первые несколько сантиметров грунта (Курашов, 1994). Организмы перифитона в большей своей части не имеют приспособлений для проникновения в твердый субстрат, однако различные их поселения, постройки совершенно изменяют геометрию биотопа — из двумерного он становится трехмерным (Протасов, 1994).

Начиная с работ А.П. Бенинга (1924) классификация экологических группировок гидробионтов включает следующие: нейстон, бентос, перифитон, пагон (контуробион) и пелагос- (эмфибион). В контурных группировках исходя из особенностей биотопа выделяются эпинеuston и гипонейстон, эпибентос (эпимиелон — от греч. *μῆλις* — мягкий) и инбентос (интрамиелон), эписклерон (от греч. *σκληρός* — твердый) и интрасклерон.

В данной работе речь идет о составе и структуре зообентоса и зооперифитона, поэтому целесообразно рассмотреть вопрос о сходстве и различиях этих группировок. Различия определяются условиями среды. Значительная часть бентических животных обитают в грунте — малощетинковые и многощетинковые черви, нематоды, личинки насекомых, в первую очередь двукрылых из сем. Chironomidae, двусторчатые моллюски (за исключени-

¹ Эти контурные (маргиналь) и внутренние (эмфаль, от греч. *ἐμφών* — внутренний), возможно и следует считать действительно глобальными, т. е. биотопами первого порядка в гидросфере (Протасов, 2011).

ем дрейссенид). Именно эти таксономические группы создают, как правило, основную биомассу в бентосе. В перифитоне встречаются представители тех же таксонов, однако иных жизненных форм и экоморф. Кроме того, существуют перифитоспецифические организмы (такие как губки, мшанки), в бентосе они встречаются крайне редко, и бентоспецифические, например, роющие формы. Определенное сходство таксономического состава приводит к формированию довольно сходных биоценозов, однако следует отметить, что это сходство во многом определяют виды-эдификаторы сообществ, такие, например как дрейссениды, экологическая пластичность которых позволяет им обитать как в перифитали, на твердых субстратах, так и в бентали.

Относительно контурных группировок перифитона и бентоса в техно-экосистемах следует сказать, что они играют в них значительную роль. Для оценки и сравнения условий обитания организмов тех или иных экотопических группировок, в частности, перифитона, было предложено понятие «перифитопотенциал» (Скальская, 2002). Он показывает возможный уровень развития сообществ данной группировки в тех или иных условиях, благоприятность или, напротив, неблагоприятность условий. Пользуясь этим понятием, можно оценить потенциал и других экотопических группировок (Протасов, 2011), в частности и в техно-экосистемах (табл. 1.1).

Перифитон и бентос водоемов технического назначения исследованы еще крайне мало. Тем не менее, имеются и определенные обобщения (Гидробиология..., 1991; Протасов, 1994; Скальская, 2002; Яковлев, 2005). В частности, В.А. Яковлев (2005) на основании исследований зообентоса оз. Имандра (Кольский полуостров), часть акватории которого используется как охладитель Кольской АЭС, делает следующие обобщения. Влияние подогретых сбросов, по его мнению, совпадает по своему экологическому эффекту с антропогенным эвтрофированием. При воздействии техногенной термификации происходит общее возрастание биомассы, диапазона ее сезонных флуктуаций в глубоководных сообществах, возрастание роли первичновод-

Таблица 1.1. Некоторые факторы, влияющие на изменение перифитопотенциала и бентопотенциала в техно-экосистемах.

Группировка	Повышение потенциала	Снижение потенциала
Перифитон	Большое количество твердых субстратов в виде гидросооружений, трубопроводов, водотоков, градиринов и др. Высокий водообмен, турбулизация потока.	Заиливание твердых субстратов, высокая температура, токсичность субстрата.
Бентос	Создание водоема с большой площадью бентали. Высокий техногенный водообмен, насыщение придонных вод кислородом за счет техногенного перемешивания воды. Наличие участков водоводов с повышенной седиментацией.	Механические и гидродинамические нарушения стабильности донных биотопов. Высокая температура. Накопление в донных отложениях токсических веществ.

ных организмов, упрощение трофической структуры, возрастание роли собирателей-глотателей и снижение доли хищников, снижение средней массы особи в сообществах глубоководных участков и, наоборот — повышение в литорали, снижение средней массы особи хищников. Однако следует иметь в виду, что данные закономерности установлены при изучении зообентоса высокоширотного олиготрофного водоема. Тем не менее, общий вывод, что термофикация, как и эвтрофирование не приводит однозначно к деградации водных экосистем, особенно при умеренном проявлении, справедлив, очевидно, для многих экосистем. Следует заметить только, что техногенное воздействие, в частности, влияние ТЭС и АЭС на жизнь в водоеме не ограничивается только «термофикацией».

Зообентос является одной из наиболее выносливых к действию температуры экологических групп (Мордухай-Болтовской, 1974; Каратаев, Каратаева, 1987). При этом в водоемах-охладителях зообентос, как правило, испытывает намного меньшее влияние сбросных подогретых вод, чем планктон и перифитон.

С повышением температуры видовое богатство донных животных увеличивается, но при возрастании температуры более 29 °С в водоемах умеренных широт происходит его снижение. Численность и биомасса начинают снижаться при более низких температурах, чем видовое богатство. Исследования показали, что *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Asellus aquaticus*, *Ischnura elegans*, некоторые виды личинок хирономид наиболее выносливы к действию температуры (Krzyzanek, 1979; Каратаев, Каратаева, 1987). В зонах подогрева численность некоторых бентосных организмов может быть выше, а биомасса — ниже, чем на участках, которые не испытывают влияния температуры (Астраускас, Рачюнас, 1975; Коргина, Мордухай-Болтовской, 1979).

Некоторые закономерности формирования и трансформации сообществ перифитона в условиях воздействия ТЭС и АЭС были сделаны на основе исследований водоемов-охладителей Украины, Беларуси, России, Польши (Михаевич, 1987; Protasov et al., 1994a; Гидробиология..., 1991; Скальская, 2002; Шарапова, 2007). Было установлено, что в градиенте условий, в первую очередь температуры, существует определенный градиент сообществ, различающихся по составу и структуре. В сезонном аспекте установлена определенная пульсация сообществ, когда при превышении некоторого термического порога одни сообщества элиминируют и заменяются другими, но при сезонном или техногенном возврате прежних условий, восстанавливается и прежняя структура. Установлено также явление глубинной стратификации сообществ в соответствии со своеобразной техногенной термической и гидродинамической стратификацией. На материале исследований некоторых водоемов-охладителей — Лукомской ТЭС, Хмельницкой АЭС показано, что вселение мощного вида-эдификатора, в частности, двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha*, в сообщества перифитона и бентоса параллельно с повышением мощности энергетической станции, приводит к изменениям в экосистеме не меньшим, чем при техногенном воздействии. Эти организмы могут вызвать явление «бентификации» (Остапеня, 2007) или, что более правильно с нашей точки зрения, «контуризации» экосистем (Тех-

но-экосистема..., 2011). Это явление состоит в активном перемещении основных продукционно-деструкционных процессов в контурные подсистемы, в то время как активность процессов в эмфали существенно снижается.

Специфические условия среды и определенная открытость водоемов-охладителей для деятельности человека (рыбохозяйственная деятельность, рекреация, связь с другими водоемами и др.) способствует попаданию в них инвазийных видов из разных географических зон. Некоторые из них могут занимать важные экологические ниши, например, поселяться в донных биотопах со значительно повышенной температурой и даже вытеснять аборигенные виды. В Конинских озерах — охладительной системе двух тепловых электростанций (Польша) — значительного развития достигли двустворчатые моллюски *Sinanodonta woodiana* ориентального происхождения, заместив аборигенные виды именно в зонах наибольших температур — в сбросных каналах (Protasov et al., 1994b; Jeziora Koninskie..., 1998). Важной в процессе натурализации видов-вселенцев является роль дрейссены, которая как вид-экосистемный инженер существенно модифицирует среду и создает необходимые условия для существования многих видов беспозвоночных (Jones et al., 1994; Karatayev et al., 2002; Mermillon-Blondin, Rosenberg, 2006). В охладителе Хмельницкой АЭС найдено два вида моллюсков американского происхождения, один редкий южно-азиатский вид губки, два редких вида водорослей (Техно-экосистема..., 2011). В охладителе Южно-Украинской АЭС массово развиваются донные брюхоногие моллюски тропического происхождения (Grigorovich et al., 2002; Ляшенко, Слепнев, 2006). Однако появление новых видов может иметь как позитивный эффект (например, увеличение самоочистительной способности водоема), так и негативный — вызывать биологические помехи в работе систем водоснабжения энергетической станции (Каратаев, Бурлакова, 1995; Техно-экосистема..., 2011; Jenner et al., 1998).

Важно также отметить, что контурные группировки — бентос и перифитон достигают высокого обилия не только в технологических водоемах, но и в сугубо техногенных биотопах — каналах, трубопроводах, системах охлаждения, где могут также вызывать значительные биологические помехи в работе оборудования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования контурных группировок проводили на водоемах-охладителях шести ТЭС Украины и на озерах — охладителях двух ТЭС Польши, а также на водных объектах всех четырех действующих АЭС Украины и на водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС в доаварийный период и после ее вывода из эксплуатации в 2000 г. (табл. 2.1).

В работе использованы данные собственных исследований, информация из базы данных WaCo Лаборатории технической гидробиологии Института гидробиологии НАН Украины, а также литературных источников. В формировании базы данных принимали участие А.А. Протасов, С.А. Афанасьев, О.О. Синицина, Т.И. Акимова, А.Ю. Янакаев, А.В. Коломиец, А.А. Силаева, Д.В. Лукашев, Н.Г. Панькова, И.А. Морозовская, С.П. Бабарига.

В техно-экосистемах зообентос исследовали по всей акватории водоемов-охладителей (ВО), в подводящих и отводящих каналах, системах охлаждения, зооперифитон — на прибрежных участках охладителей, откосах подводящего и отводящего каналов, каналов подпитки, системах техводоснабжения.

Для отбора проб зообентоса использовали секционный дночерпатель (СДЧ-100), с площадью захвата 0,01 м², дночерпатель Петерсена (0,04 и 0,025 м²), коробчатый пробоотборник (0,01 м²), для отбора макроформ — рамки (0,25 и 0,096 м²). Пробы зооперифитона отбирали с различных субстратов при помощи гидробиологического скребка, путем смыва

с поверхности или при помощи коробчатого пробоотборника. Пробы промывали через мельничный газ № 23—27.

Исследования зооперифитона, частично и зообентоса, проводили с использованием легководолазного снаряжения — осуществляли выбор биотопа, трансекты и затем поэтапное обследование (Протасов и др., 1982; Протасов, 1987; 1994). Оценка распределения различных ценозокоморф, жизненных форм позволяла выявить общий характер пространственной структуры (поясность, пятнистость, характер рисунка микроландшафта), учесть обилие некоторых макроформ, оценить покрытие субстрата.

Экспериментальные субстраты из стекла, пластика и металла использовали для исследования динамики формирования и развития сообществ перифитона. Размеры субстратов были 25 × 80—85 мм. Закреплялись они в специальных держателях (Шевцова, 1976) сериями по 6 субстратов и фиксировались на капроновом тросе на глубине 0,5 и 2,5 м, который был закреплен на специальном плотике. Пробы в данном случае отбирали при подъеме установки на поверхность. Исследования с использованием экспериментальных субстратов в подводящем канале Хмельницкой АЭС проводили на пластинах из нержавеющей стали вышеуказанного размера, закрепляли на глубине 2, 4 и 6 м на специальном стенде. Установку и снятие субстратов проводили под водой с применением водолазной техники.

Все пробы фиксировали 4,0 %-м раствором формальдегида и в дальнейшем обрабатывали в лаборатории. Пересчет количественных показателей производили на 1 м².

Анализ гидробиологического материала проводили с использованием оригинального пакета прикладных программ WaCo (Protasov et al., 1999).

При описании таксономического состава беспозвоночных использовали термин NOT — низший определяемый таксон (Баканов, 1997), который обозначает таксоны как видового, так и более высоко ранга, в соответствии с возможностями идентификации организмов. В Приложениях 1, 2 приведен список таксонов беспозвоночных зооперифитона и зообентоса, зарегистрированных в водных объектах техно-экосистем энергетических станций Украины. До вида не определяли нематод, ракушковых раков, водных клещей.

Организмы зообентоса разделяли на следующие таксономические группы разного систематического уровня, которые далее названы «гидробиологические группы»: Spongia, Hydrozoa, Turbellaria, Nematoda, Oligochaeta, Polychaeta, Hirudinea, Hydracarina, Ostracoda, Isopoda, Cumacea, Mysidacea,

Таблица 2.1. Сравнительная характеристика исследованных систем водоснабжения энергетических станций.

Энергетическая станция	Объем ВО, млн. м ³	Площадь ВО, км ²
Змиевская ТЭС	53,1	12,5
Славянская ТЭС	16,5	4,7
Кураховская ТЭС	62,5	15,3
Криворожская ТЭС	70,0	15,7
Ладыжинская ТЭС	151,0	20,8
Трипольская ТЭС	Не имеет ВО	
Хмельницкая АЭС	120,0	20,0
Чернобыльская АЭС	149,0	21,7
Южно-Украинская АЭС	86,0	8,6
Запорожская АЭС	47,0	8,2
Ровенская АЭС	Не имеет ВО	

Gammaridae, Corophiidae, Odonata, Ephemeroptera, Trichoptera, Heteroptera, Coleoptera, Chironomidae, другие Diptera, Heleidae, Megaloptera, Bivalvia, Gastropoda, Bryozoa. Тубифицид з волосными щетинками считали отдельным НОТ.

Доминантом считали таксон, доля которого в показателях обилия составляла 50 % и более. Сходство определяли по коэффициентам Серенсена, Чекановского-Серенсена и по методу таксономического анализа Е.С. Смирнова (Песенко, 1982).

Разнообразие вычисляли по известной формуле Шеннона (Песенко, 1982): видовое (НОТ)-разнообразие определяли по количественным показателям (численность и биомасса), таксономическое — по количеству НОТ в таксономической группе (Протасов, 2008).

Для оценки продукции группировок беспозвоночных использовали коэффициент $K_2 = 0,26$ (Шитиков и др., 2003), а для расчета активности фильтрации дрейссены — коэффициент фильтрации, равный 910 мл профильтрованной воды на 1 мг потребленного кислорода (Алимов, 1981).

Трофическую структуру группировок оценивали по доле отдельной группы (фильтраторы, собиратели, хищники) в общей деструкции.

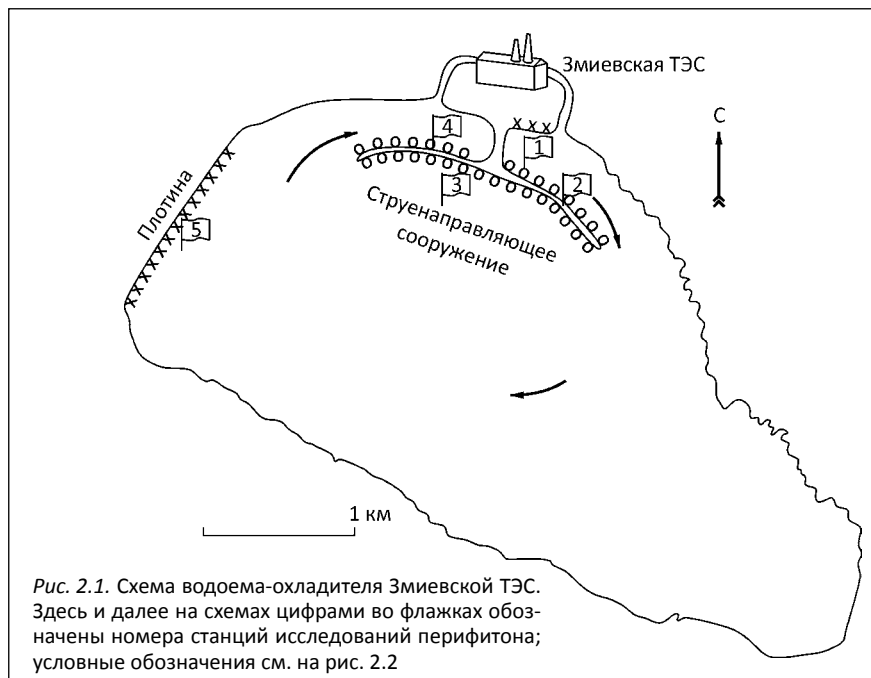
Выделение ценозов проводили по схеме: определяли сходство видового состава, по результатам которого объединяли станции со сходным видовым составом с последующим анализом степени доминирования (более 50 % численности и биомассы) и общих показателей обилия.

Состав ценозокоморф перифитона определяли по (Протасов, 1994).

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ОЗЕРА ЛИМАН — ВОДОЕМА–ОХЛАДИТЕЛЯ ЗМИЕВСКОЙ ТЭС

Водоем-охладитель *Змиевской ТЭС* (ЗмТЭС) эксплуатируется с 1960 г., занимает чашу бывшего оз. Лиман, расположенного в пойме р. Северский Донец, река служит водосточником пополнения охладителя (рис. 2.1). Объем водоема при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет 53,1 млн. м³, площадь — 12,5 км², средняя глубина 4,3 м. Температура сбросных вод достигает 35—36 °С. В охладителе можно выделить три зоны по температурному режиму — сильного подогрева, которая составляет 6 % акватории охладителя (температура летом у дна достигает 28—30 °С), умеренного подогрева — 80 % акватории и температура до 25—29 °С, и зона слабого подогрева, — занимающая около 14 % акватории, с температурой, которая летом превышает природную лишь на 1,0—1,5 °С. Грунты в охладителе представлены заиленными песками (Васенко, 1979; Афанасьев и др., 1993).

Исследования *зообентоса* проводили в 1986 г. в летний и осенний периоды. Всего было обнаружено 22 НОТ из 8 групп беспозвоночных, личинки хирономид были представлены 15 НОТ, а также отмечены пиявки, мизиды, гаммариды, моллюски, до вида не определяли остракод, нематод и олигохет (в основном тубифицид) (Афанасьев и др., 1993).



Наиболее низкие показатели обилия зообентоса были характерны для центральной зоны ВО со средней степенью подогрева — 0,60—0,88 тыс. экз/м² и 1,14—3,00 г/м², в наиболее подогреваемой части количественные показатели изменялись от 1,6 до 2,3 тыс. экз/м², биомасса — от 1,1 до 1,8 г/м², максимальные значения отмечены в наименее подогреваемой зоне — 11,1—14,0 экз/м². В подогреваемой зоне зообентос был представлен олигохетами, личинками хирономид и мизидами (всего 4 НОТ), в центральной части — личинками хирономид (7 НОТ), в слабо подогреваемой — остракодами, олигохетами и личинками хирономид.

К осеннему периоду возрастали показатели обилия и количество таксонов. Так, в подогреваемой зоне осенью количество таксонов возрастало до 14 НОТ, численность — до 10,1 тыс. экз/м², а биомасса — до 7,14 г/м². Сменились также доминанты — по численности доминировали остракоды, по биомассе — личинки хирономид. В слабо обогреваемой зоне осенью были отмечены *Unio pictorum*, с учетом которых биомасса зообентоса составила 258 г/м².

На основе полученных данных по составу, обилию беспозвоночных в зообентосе был выделен ряд сообществ (табл. 2.2) (Афанасьев и др., 1993). В подогреваемой зоне отмечено сообщество тубифицид, доля этой группы в показателях обилия была определяющей — 89,6 % общей численности и 79,3 % биомассы.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Таблица 2.2. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса водоема-охладителя Змиевской ТЭС, летний период 1986 г.

Показатели	Сообщества		
	Tubificidae	C. plumosus + P. ferrugineus	Ostracoda + C. plumosus + Oligochaeta
Локализация	Подогреваемая зона	Средняя часть водоема	Слабо подогреваемая зона
Температура, °С	27,6	27,7	27,1
Количество групп	3	2	3
Количество НОТ	4	7	8
N, тыс. экз/м ²	1,94	0,79	12,45
B, г/м ²	1,52	2,25	7,85
H _N , бит/экз.	0,62	2,00	1,87
H _B , бит/г	1,10	2,10	—
R, кДж/м ² · ч	0,04	0,03	0,19
P, кДж/м ² · сут	0,33	0,25	1,63
Доминирующая трофическая группа	Собиратели	Собиратели	Собиратели
Доля доминирующей трофической группы в общей деструкции, %	96,1	63,6	98,5

Примечание. Здесь и далее: N — численность; B — биомасса; R — деструкция; P — продукция; H_N — разнообразие по численности, бит/экз.; H_B — разнообразие по биомассе, бит/г.

В центральной части ВО выделено хирономидное сообщество **C. plumosus + P. ferrugineus**, доля видов по биомассе составляла соответственно 39,7 и 22,7 %. Доля *Procladius ferrugineus* в общей численности составляла 44,0 %, субдоминантами по численности были *Tanytarsus holochlorus* (21,3 %). В наименее подогреваемой зоне было локализовано сообщество с доминированием ракушковых раков (см. табл. 2.2). В целом в летний период сообщества зообентоса характеризовались достаточно низкими показателями обилия и разнообразия, низким таксономическим богатством, в общей деструкции доминировали собиратели.

Следует отметить, что в районе водозабора осенью сообщество **Ostracoda + C. plumosus + Oligochaeta** сменилось на сообщество **Pontogammarus robustoides + Procladius choreus**. В него входили олигохеты, пиявки, гаммариды, личинки хирономид, *U. pictorum*. Количественные показатели «мягкого» зообентоса составили 0,28 экз/м² и 0,52 г/м².

Таким образом, в условиях подогрева по таксономическому составу зообентос Змиевской ТЭС был достаточно беден, уровень развития — достаточно низкий (Васенко, 1979). Показатели обилия и доминанты изменялись по сезонам и в пространстве — от сброса к водозабору. Отмечено увеличение биомассы от сброса к водозабору летом, а осенью — наоборот (Афанасьев и др., 1993).

* * *

В системе охлаждения Змиевской ТЭС имеется система струнаправляющих сооружений (направительная дамба протяженностью около 2 км) в водоеме-охладителе, и участок плотины, облицованной бетоном и камнем (около 1,4 км), которые представляют собой биотопы сообществ **перифитона**. От сброса к водозабору может быть прослежено изменение состава структуры его сообществ.

В охладителе ЗмТЭС уже в весенний период наблюдалась выраженная дифференциация состава доминирующих форм перифитона (рис. 2.2). В приурезной зоне габитус определяли нитчатые водоросли (*Cladophora* sp.) и бу-

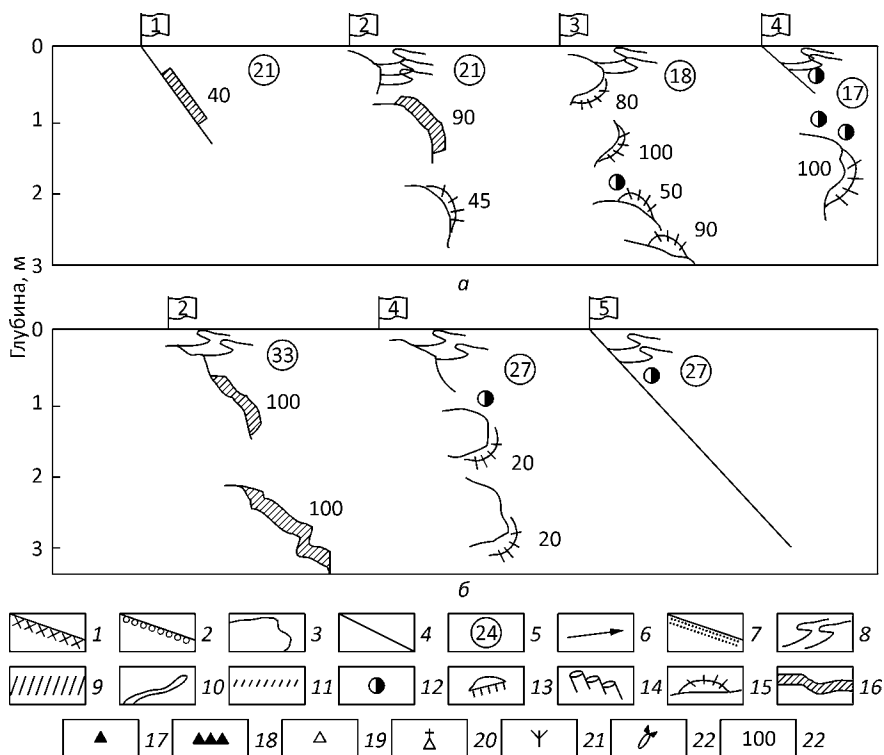


Рис. 2.2. Распределение перифитона на струнаправляющем сооружении и плотине Змиевской ТЭС, 1986 г.: а — апрель, б — июль. **Условные обозначения:** биотопы: 1 — бетонный субстрат, 2 — каменная отсыпка, 3 — поверхность камней, 4 — поверхность бетона, 5 — температура, °С, 6 — направление течений, 7 — седименты и рыхлые грунты; биологические объекты: 8 — зеленые нитчатые водоросли, 9 — синезеленые нитчатые водоросли, 10 — энтероморфа, 11 — микроводоросли и пленки, 12 — брюхоногие моллюски, 13 — гаммариды, 14 — корофииды, 15 — губка, 16 — мшанка, 17 — дрейссена (одиночные особи), 18 — дрейссена (щетки), 19 — дрейссена (друзы), 20 — дрейссена погибшая, 21 — кордилофора; 22 — униониды с друзьями; 23 — процент покрытия

рый слизистый налет из диатомовых. И уже на глубине менее 0,5 м на бетоне были отмечены колонии мшанки *Plumatella emarginata* (покрытие субстрата около 40 %). На участке струенаправляющего сооружения, вблизи сброса подогретых вод, покрытие субстрата мшанкой достигало 100 %. На откосах, обращенных к водоему, где температура снижалась до 18,5 °С, значительного развития достигали губки *Spongilla lacustris*. Их колонии полностью (на 80—100 %) покрывали нижние стороны камней укрепления откосов. Встречались также брюхоногие моллюски *Viviparus viviparus*. И, наконец, в районе водозабора, где сохранялось значительное развитие колоний губки, заметно увеличивалось обилие гастропод. В прирусловой зоне отмечены *Lymnea ovata*, а на глубине от 0,5 до 1,5—2,0 м — до 100 экз/м² крупных живородок.

В летний период сохранилась сходная картина: полное доминирование мшанок в зоне подогрева и губок вместе с живородками — в зоне водозабора и на плотине золотвала (см. рис. 2.2).

Показатели обилия, их распределение в пространстве и термоградиенте изменялись по-разному у тех или иных таксономических групп, что обуславливало изменение структуры сообществ. Общая численность изменялась на порядок — от 222,0 тыс. экз/м² на плотине до 2,7 млн. экз/м² — на глубине 0,3 м в районе сброса. Такую значительную численность определяли олигохеты *Pristina aequisetata* (1,5 млн. экз/м²), *Aelosoma hemprichi* — 153,6 тыс. экз/м², а также *Ostracoda* (807,1 тыс. экз/м²). Следует отметить, что значительная численность олигохет была характерна именно для зоны высокой температуры (35 °С) (рис. 2.3).

Снижение численности от биотопов с более высокой температурой к таким с более низкой отмечено также для нематод. Численность веслоногих и ветвистоусых ракообразных существенно не изменялась. От высокотемпературной зоны к низкотемпературной возрастала численность гастро-

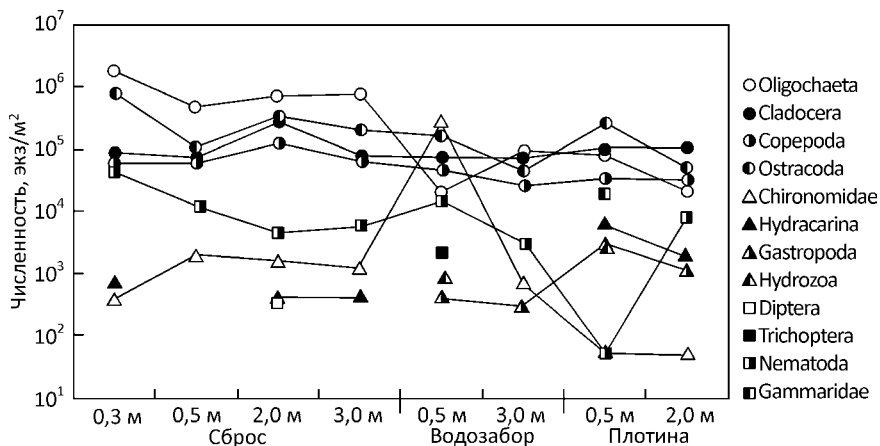


Рис. 2.3. Численность зооперифитона в различных биотопах водоема-охладителя Змиевской ТЭС, июль 1986 г.

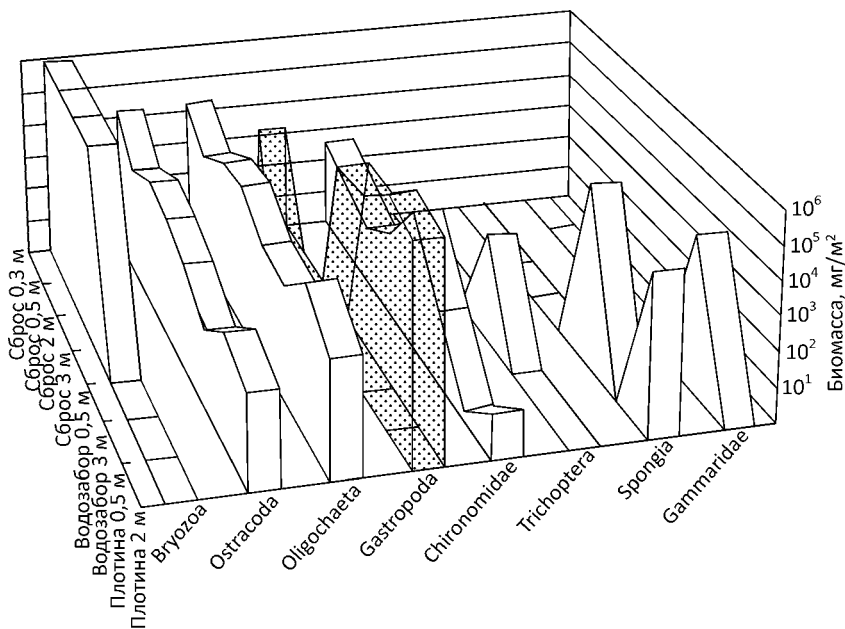


Рис. 2.4. Биомасса групп зооперифитона в различных биотопах водоема-охладителя Змиевской ТЭС, июль 1986 г.

под — от 357 экз/м² (*Physa fontinalis*) до 3,2 тыс. экз/м² (*V. viviparus*). Гаммариды (*Dikerogammarus haemobaphes*) с численностью 18,8 тыс. экз/м² были отмечены только на плотине.

Для показателей биомассы (рис. 2.4) отдельных групп беспозвоночных можно выделить несколько вариантов. Биомасса мшанки *P. emarginata* в зоне подогрева была от 800,0 до 815,0 г/м², а в районе водозабора и на плотине она отсутствовала вовсе. Биомасса гастропод, напротив, была наибольшей в районе водозабора. Для живородки она составляла здесь от 352,0 до 4258,0 г/м², причем биомасса двух видов живородки различалась: для *V. viviparus* была от 352,0 до 384,0 г/м², а для *V. contectus* на порядок выше — 1952,0—4288,0 г/м². Биомасса еще одного вида гастропод *Ph. fontinalis* была незначительной в районе сброса — 1,4 г/м². Только в необогреваемой зоне была отмечена губка, биомасса ее была 53,0—190,0 г/м². Биомасса олигохет была от 2,0 до 21,9 г/м², однако четкой тенденции изменения в градиенте температуры отмечено не было. Биомасса личинок хирономид изменялась также незакономерно: на глубине 0,5 м в зоне подогрева биомасса их составляла 0,8 г/м², на той же глубине на водозаборе 11,2 г/м², на плотине — всего 0,02 г/м².

Значительное развитие живородок в районе водозабора приводило к определенным биологическим помехам в работе ЗмТЭС. Однако, в водозаборные устройства попадали в основном пустые раковины моллюсков.

В летний период на вращающихся сетках фиксировалось до 0,6 м³ раковин живородок в сутки. С 1995 г. в водоеме зафиксировано появление дрейссены (*Dreissena polymorpha*), однако в связи с отсутствием большого количества твердых субстратов, колебаниями уровня воды, развитие ее популяции не было значительным (Васенко, 2000).

ЗООБЕНТОС ВОДОЕМА–ОХЛАДИТЕЛЯ СЛАВЯНСКОЙ ТЭС

Водоем-охладитель **Славянской ТЭС** был введен в эксплуатацию в 1962 г., его площадь составляет 4,7 км², средняя глубина 3,5 м, объем воды — 16,5 млн. м³. Водозабор воды осуществляется из р. Северский Донец (рис. 2.5). Сброс подогретых вод производится в водоем-охладитель, проходя который вода вновь попадает в р. Северский Донец. После реконструкции ТЭС в систему охлаждения был включен дополнительный водоем-охладитель. Температурный режим водоема характеризовался достаточно высокими температурами: на сбросе — до 38 °С, на выходе из водоема — до 30 °С. Влияние подогрева сказывается на всем водоеме, в среднем по акватории температура лишь на 2,0–2,5 °С ниже, чем в районе непосредственного сброса. Берега бетонированы, литораль отсутствует, грунты представлены глинисто-песчаными фракциями.

По результатам исследований 1988 г. (Афанасьев и др., 1993) в **зообентосе** ВО Славянской ТЭС обнаружен 21 НОТ беспозвоночных, относящихся к 5 группам. Из них личинок хирономид — 12, моллюсков — 4, олигохет — 2, ракообразных — 2, ручейников — 1 НОТ. В середине мая, при температуре воды 17,6 °С, донные беспозвоночные были представлены, в основном, личинками хирономид и олигохетами. Часто встречались *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anodonta piscinalis*. Среди олигохет доминировали *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Tubifex tubifex*, среди личинок хирономид — *Chironomus* sp. и *Procladius* sp. На заиленных песках в значительных количествах встречались

корофииды. Численность животных на разных станциях колебалась в пределах 0,5–2,9 тыс. экз/м², а биомасса 3,4–10,6 г/м². К концу мая, когда температура воды возросла до 23,0 °С, развитие зообентоса характеризовалось максимальными показателями численности и биомассы. Наибольшие за весь период исследований величины биомассы в отдельных пробах были отмечены на илах (ст. 1 и 8) и составляли 47,1 и 25,5 г/м².

В конце мая — начале июня, после вылета хирономид, в частности — *Chironomus* sp. и *Procladius* sp., при повышении температуры до

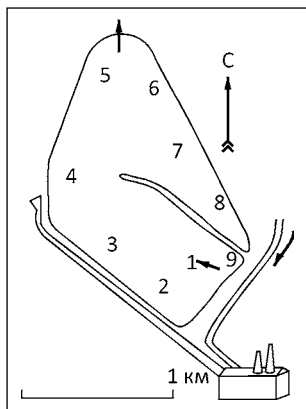
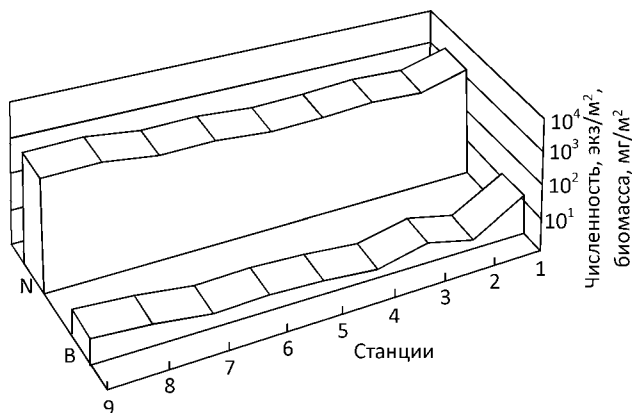


Рис. 2.5. Схема водоема-охладителя Славянской ТЭС

Рис. 2.6. Численность и биомасса зообентоса водоема-охладителя Славянской ТЭС



27,0—28,0 °С, численность и биомасса зообентоса значительно снизилась по сравнению с майскими значениями, и на различных станциях колебались: численность от 0,36 до 1,88 тыс. экз/м², а биомасса от 1,68 до 10,12 г/м².

В целом, сезонная динамика численности и биомассы бентоса характеризовалась максимальными показателями в конце мая, и дальнейшим снижением. Некоторое увеличение обилия отмечено только в первой декаде октября. Среднесезонные значения показателей обилия по ВО были невысокими, а максимальная биомасса была характерна для станций с наибольшим подогревом (рис. 2.6).

По результатам исследований зообентоса ВО было выделено 4 сообщества. У сброса (ст. 9) было локализовано сообщество с доминированием олигохет *Tubifex tubifex* (32,6 % общей численности и 55,9 % биомассы), субдоминантом по численности выступали личинки хирономид *Polypedium scalaenum*. Сообщество насчитывало лишь 7 НОТ (табл. 2.3).

В средней части водоема (ст. 1, 7, 8) было локализовано сообщество, состоящее из 13 НОТ, с доминированием личинок хирономид, на долю *C. plumosus* приходилось 43,8 % общей биомассы и 34,0 % численности. Субдоминантами по этим показателям выступали личинки р. *Procladius* и *Limnodrilus hoffmeisteri*.

В районе водослива в р. Северский Донец (ст. 5, 6) локализовано сообщество с доминированием личинок р. *Procladius* (29,8 % общей биомассы и 54,3 % численности), субдоминантом по биомассе был *C. plumosus* (27,8 %). Всего в сообществе отмечено 14 НОТ беспозвоночных из 6 групп, личинки хирономид были представлены 8 НОТ.

На ст. 3, 4 водоема отмечено корофидно-хирономидное сообщество, в котором доля *Corophium curvispinum* составила 32,2 % общей численности и 26,1 % биомассы, доля субдоминанта по численности личинок р. *Procladius* составила 28,5 %, а субдоминанта по биомассе *C. plumosus* — 26 %. В сообществе входило 14 НОТ беспозвоночных, личинки хирономид насчитывали 8 НОТ. Показатели обилия, как и в предыдущем сообществе, были невысокими.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Таблица 2.3. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса водоема-охладителя Славянской ТЭС.

Показатели	Сообщества			
	T. tubifex + P. scalaenum	C. plumosus + Procladius sp.	Procladius + C. plumosus	C. curvispinum + C. plu- mosus + Procladius sp.
Локализация	Сброс (ст. 9)	Средняя часть (ст. 1, 7, 8)	Район водо- слива (ст. 5, 6)	Ст. 3, 4
Количество групп	2	5	6	
Количество НОТ	7	13	14	14
N, экз/м ²	1380	1451	840	918
B, г/м ²	5,63	6,68	2,30	2,80
R, кДж/м ² · ч	0,05	0,05	0,02	0,03
P, кДж/м ² · сут	0,41	0,44	0,16	0,21
Доминирующая трофическая группа	Собиратели	Собиратели	Собиратели	Собиратели
Доля доминирующей трофической группы в общей деструкции, %	96,3	52,7	67,2	76,5

Таким образом, зообентос ВО Славянской ТЭС в таксономическом отношении был достаточно беден, по количеству НОТ доминировали личинки хирономид и олигохеты. На участках ВО, испытывающих подогрев, показатели обилия сообществ зообентоса были несколько выше, чем на более удаленных от сброса. Во всех сообществах доминирующей трофической группой были собиратели.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ КУРАХОВСКОЙ ТЭС

Водоем-охладитель *Кураховской ТЭС* образован в результате строительства гидроузла на р. Волчьа в 1951 г. Охладитель состоит из двух отсеков — Терновского и Ильинского (рис. 2.7). Полный объем охладителя составляет 62,5 млн. м³, площадь — 15,3 км², средняя глубина Терновского отсека — 5,4 м, Ильинского — 2,5 м. Максимальная температура в летний период составляет на сбросе 34—36 °С, на водозаборе — 25—27 °С. Для охладителя характерна стратификация водных масс, достигающая 10 °С. Донные грунты представлены в основном илами (Гидробиология..., 1991).

Исследования *зообентоса* Кураховской ТЭС, проведенные в 1965—1968 гг., показали, что в условиях, когда водозабор осуществлялся из Ильинского отсека, а сброс — в Терновский, зона подогрева была незначительной (Гидробиология..., 1991). При этом развитие зообентоса в зоне сброса было ниже, чем в зоне незначительного подогрева. После реконструкции ТЭС

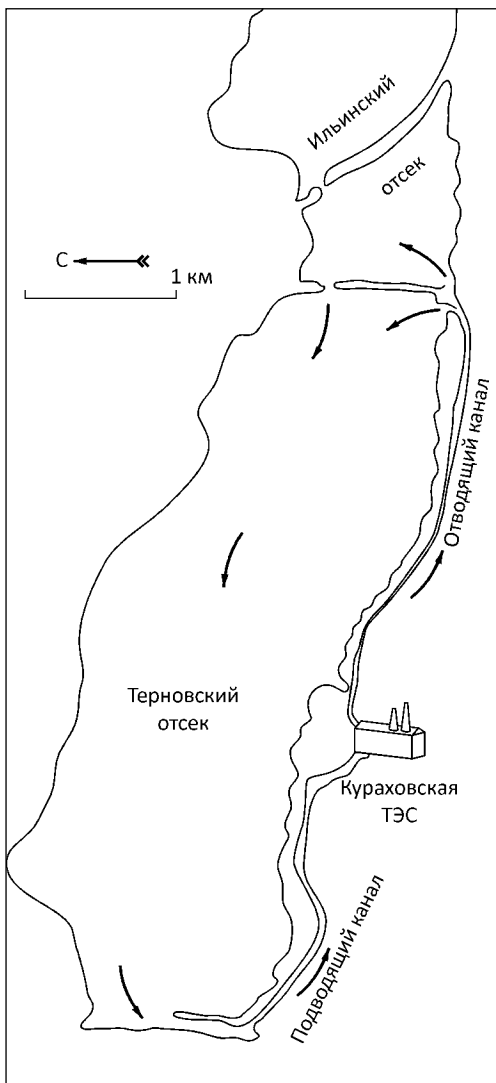
Рис. 2.7. Схема водоема-охладителя Кураховской ТЭС

сброс стал производиться в оба отсека, площадь подогреваемой зоны расширилась, и произошло перераспределение показателей обилия зообентоса — небольшой подогрев в сочетании с проточностью обусловил более высокий уровень развития зообентоса. При этом отмечено возрастание показателей обилия в осенний и зимний периоды на участках подогрева (рис. 2.8).

Зообентос в весенний и летний периоды 1986 г. насчитывал 32 НОТ из 11 групп, из них наибольшим количеством отличались личинки хирономид (17 НОТ), отмечены олигохеты (5 НОТ), а также личинки ручейников, брюхоногие моллюски, гаммариды, корофииды, пиявки, двустворчатые моллюски (Афанасьев и др., 1993).

Для зообентоса ВО также были характерны более высокие показатели обилия и таксономическое богатство весной по отношению к летнему периоду. Так, весной в районе сброса отмечено 14 НОТ и максимальные численность и биомасса — 41 тыс. экз/м² и 60,2 г/м² при доминировании олигохет. Летом показатели обилия здесь снизились до 0,62 тыс. экз/м² и 5,9 г/м², отмечено лишь 9 НОТ беспозвоночных.

В центральной части в летний период показатели обилия зообентоса были невысокими — 1,15—1,67 тыс. экз/м² и 0,5—1,3 г/м² при доминировании моллюсков. В районе водозабора летом численность (3,94—4,03 тыс. экз/м²) определяли остракоды, дрейссена и личинки хирономид, а биомассу (3,7—337,4 г/м²) — дрейссена. Весной на этом участке показатели обилия составляли 6,02 тыс. экз/м² и 221,0 г/м² при доминировании по численности



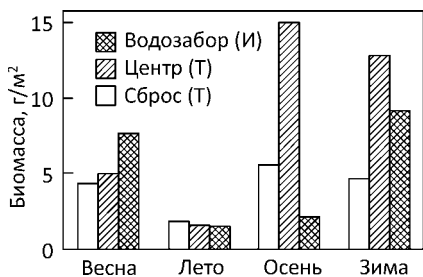


Рис. 2.8. Биомасса зообентоса водоема-охладителя Кураховской ТЭС, 1965—1968 гг. И — Ильинский отсек, Т — Терновский отсек

тубифицид и дрейссены — по биомассе.

В зообентосе ВО Кураховской ТЭС по результатам исследований были выделены сообщества **Chiromomus semireductus + Aulodrilus pigueti**, **Chiromomus semireductus**, **Chironomus plumosus + Planaria torva**, **Dreissena polymorpha**, **Valvata sp. + Procladius choreus**, **Dreissena polymorpha + Ostracoda** (табл. 2.4). По показателям обилия существенно выделялось сообщество дрейссены.

В Ильинской части ВО были представлены сообщества **Chiromomus semireductus + Aulodrilus pigueti** и **Chiromomus semireductus**. Для второго было характерно значительное доминирование хирономуса, что определило низкое разнообразие по биомассе. В зоне подогрева отмечено сообщество **Chironomus plumosus + Planaria torva**. Сообщества с доминированием моллюсков характеризовались наибольшими показателями обилия, преобладание дрейссены определило доминирование фильтраторов в общей деструкции.

* * *

Перифитон техно-экосистемы Кураховской ТЭС подробно не исследовался. Имеются данные подводных визуальных обследований и оценок распределения макроформ, проведенные в 1986 г. В облицованном бетоном отводящем канале в весенний период при температуре 21 °С в приуездной части отмечены скопления зеленых нитчатых водорослей, на глубине 0,5 м и до глубины около 1 м из макроформ беспозвоночных была отмечена *Cordilophora caspia*, а от глубины 1,5 м — отдельные особи дрейссены полиморфной. В летний период при температуре 36,5 °С в отводящем канале было отмечено 100 % покрытие всех субстратов синезелеными нитчатыми водорослями. На дамбе между отсеками при температуре 29—30 °С на глубине от 0,5 м до 3,0 м были отмечены дрейссены и мшанки, причем на меньшей глубине покрытие щетками дрейссены составляло 90 %, а на глубине 3 м были отмечены друзы этого моллюска. Подводящий канал только в прибрежной части укреплен каменной наброской. Здесь сформировалось сообщество дрейссены, которая плотными щетками покрывала каменистые субстраты и в виде агрегатов друз покрывала все дно на глубине 1,5—3,0 м (по сути, это была бентическая группировка).

Таким образом, в перифитоне водоема-охладителя преобладали дрейссенные поселения, а в отводящем канале существовала сезонная смена сообществ, как и в других водоемах-охладителях (Гидробиология..., 1991).

Таблица 2.4. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса водоема-охладителя Кураховской ТЭС, 1986 г.

Показатели	Сообщества					
	C. semireductus + A. pigueti	C. semireductus	C. plumosus + P. torva	D. polymorpha	Valvata sp. + P. choreus	D. polymorpha + Ostracoda
Локализация	Вдоль Ильинской плотины	Выход подогретых вод из Ильинской части	Участок сброса подогретых вод	Центральная часть		Подводящий канал
Количество НОТ	4	6	8	3	3	13
N, тыс. экз/м ²	0,85	0,50	0,77	1,146	0,17	1,95
B, г/м ²	1,9	7,8	1,33	110,49	0,50	146,7
H _W , бит/экз.	1,67	1,60	2,34			2,10
H _B , бит/г	1,59	0,37	2,46			0,18
R, кДж/м ² · ч	0,03	0,07	0,02	0,09	0,67	—
P, кДж/м ² · сут	0,25	0,59	0,13	0,77	5,62	—
Доминирующая трофическая группа	Собиратели	Собиратели	Собиратели	Фильтраторы	Собиратели	—
Доля доминирующей трофической группы в общей деструкции, %	—	99,7	55,7	92,9	84,0	—

Примечание: «—» — нет данных.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЫ КРИВОРОЖСКОЙ ТЭС

Водоем-охладитель **Криворожской ТЭС** является искусственным, создан в 1965 г. путем углубления и обвалования низменного участка (рис. 2.9). Полный объем водоема составляет 70,0 млн. м³, площадь — 15,7 км², средняя глубина — 4,5 м, а максимальная — 14,0 м. В летний период температура на сбросе достигала в период 35—38 °С, на водозаборе — 26—28 °С. Донные биотопы в районе сброса (сбросной отсек) подвергаются значительному гидродинамическому воздействию. Илистые грунты расположены в северной части охладителя, на остальных участках преобладают слабозаиленные суглинки и супеси (Гидробиология..., 1991).

В период становления экосистемы ВО исследования **зообентоса** в водоеме-охладителе Криворожской ТЭС (КрТЭС) проводили в 1966 г. (Пидгайко и др., 1967). В целом зообентос тогда был достаточно беден (биомасса составляла 0,5—2,6 г/м²) и лишь на подогреваемом участке была отмечена высокая биомасса дрейссены двух видов (*D. polymorpha*, *D. bugensis*) — 2,6 кг/м². Таксономический состав представлен моллюсками, личинками хирономид и ручейников, олигохетами, а также нематодами и остракодами.

В 1967—1968 гг. биомасса «мягкого» зообентоса была невысокой (до 2 г/м²), в центральной части ВО биомасса моллюсков достигала 1,4 кг/м². В этот пе-

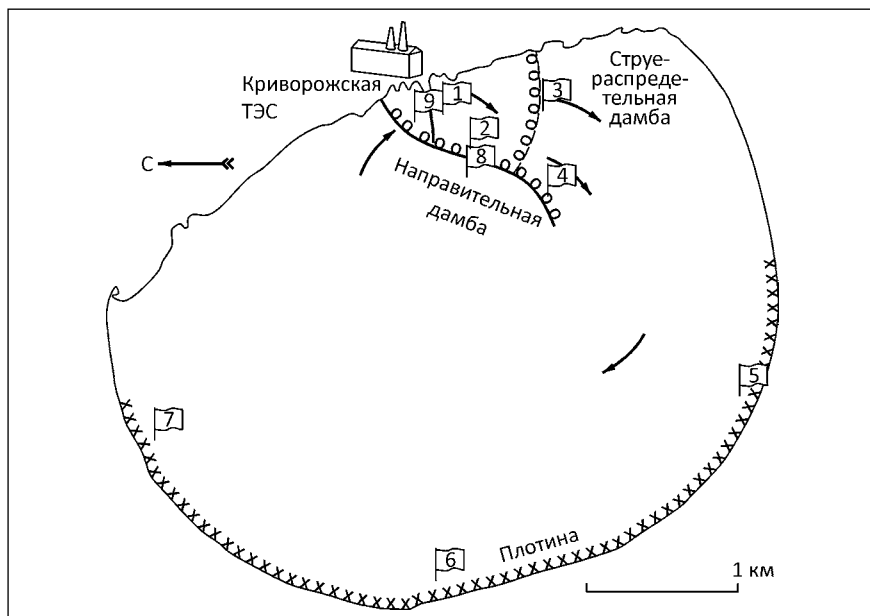
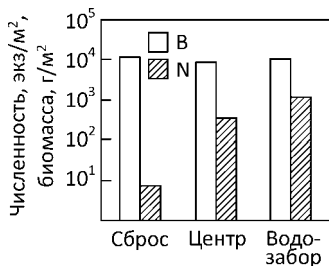


Рис. 2.9. Схема водоема-охладителя Криворожской ТЭС

Рис. 2.10. Показатели обилия зообентоса водоема-охладителя Криворожской ТЭС, весенний период 1986 г.



риод для повышения кормовой базы на ВО проводились акклиматизационные мероприятия (Чаплина, Махонина, 1971). Однако натурализовались лишь корофииды (три вида, 45 г/м²). К 1971 г. в зообентосе ВО КрТЭС было отмечено 29 таксонов беспозвоночных: личинок хирономид — 8, разноногих раков — 7, олигохет и моллюсков — по 4, мизид — 3 НОТ, а также личинки стрекоз и жуков, кумовые раки. Средняя по водоему биомасса «мягкого» зообентоса составляла 5 г/м² при доминировании ракообразных. На участке сброса подогретых вод отмечалась дрейссена (1200 экз/м², 28 г/м²), а в «мягком» зообентосе по численности преобладали олигохеты (до 800 экз/м²), по биомассе — гаммариды (до 2 г/м²).

В дальнейшем исследование зообентоса проводили летом 1986 и 1987 гг., а также в весенний и осенний периоды 1986 г.¹ (Гидробиологическая..., 1988, Гидробиология..., 1991).

Весной 1986 г. было обнаружено 19 НОТ беспозвоночных: 8 — личинок хирономид, 4 — моллюсков, олигохеты и ракообразные. Наименьшим количеством НОТ характеризовались участки наибольшего подогрева (7 НОТ), относительно центральных участков (14) и водозабора (13 НОТ).

Биомасса зообентоса увеличивалась от сброса подогретых вод к водозабору — от 7,0 до 360,0 г/м² в средней части водоема, и до 1252,0 г/м² — в зоне водозабора (рис. 2.10). На сбросе доминировали олигохеты (87 % общей биомассы), в средней части и водозаборе — дрейссена (98 и 99 % соответственно). По мере удаления от сброса в зообентосе увеличивалась доля личинок хирономид и ракообразных.

Летом 1986 г. в зообентосе было обнаружено 48 таксонов беспозвоночных: 17 НОТ олигохет, 4 — моллюсков, 9 — личинок хирономид, 4 — амфипод, 2 — кумовых раков, по 1 — личинок стрекоз и полихет.

Как и весной, наибольшей биомассой (свыше 1,0 кг/м²) характеризовался зообентос в районе водозабора при доминировании дрейссены. В зоне сброса зообентос был представлен в основном олигохетами *Limnodrilus* sp., *Dero digitata*, а также личинками хирономид, количественное развитие было незначительным (0,6—11,0 г/м²).

В октябре 1986 г. в зообентосе обнаружено 26 НОТ беспозвоночных. В районе сброса подогретых вод сохранилось доминирующее положение *L. clapedeanus*. Существенных изменений в видовом составе не произошло. Суммарные показатели обилия сохранились в основном на уровне летних.

Несмотря на определенное различие условий в водоеме-охладителе КрТЭС, видовой состав зообентоса практически не различался по всей акватории: значения коэффициента Серенсена при сравнении списков на отдель-

¹ Исследования выполнены А.Ю. Янакаевым и А.Е. Слепневым.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Таблица 2.5. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса водоема-охладителя Криворожской ТЭС, летний период 1986 г.

Показатели	Сообщества			
	L. clapparedeanus + D. digitata	D. polymorpha + D. bugensis	C. curvispinum	Valvata sp. + L. hoffmeisteri
Локализация	Сбросной отсек	Центр	Прибрежье	За оголовком дамбы
Глубина, м	1,5—5,0	4,5—5,5	0,7—2,5	5,0—5,3
Температура, °С	27—33	23,7—25,3	24,0	24,7
Количество групп	7	11	9	6
Количество НОТ	26	35	13	13
Численность, тыс. экз/м ²	19,87	2,19	40,56	347,00
Биомасса, г/м ²	12,96	167,96	29,66	0,30
H _N , бит/экз	2,81	3,98	0,53	3,01
H _B , бит/г	2,05	1,33	1,21	2,27
R, кДж/м ² · ч	0,36	0,16	0,64	0,01
P, кДж/м ² · сут	3,01	1,37	5,38	0,04
Доминирующая трофическая группа	Собиратели	Фильтраторы	Собиратели	Собиратели
Доля доминирующей трофической группы в общей деструкции, %	98,0	64,5	99,7	92,0

ных станциях в основном были выше 0,7. Однако, с учетом сходных доминантов — олигохет в зоне от сброса до канала продувки, дрейссены — в центральной части и в районе водозабора, и корофиид — на мелководье западной части водоема были выделены следующие сообщества: **Limnodrilus clapparedeanus + Dero digitata**, **Dreissena polymorpha + Dreissena bugensis**, **Corophium curvispinum**, **Valvata + Limnodrilus hoffmeisteri**.

Сообщество **Limnodrilus clapparedeanus + Dero digitata** локализовано в сбросном отсеке на заиленных грунтах в диапазоне температур 24,7—33,0 °С (табл. 2.5). Всего в сообщество входило 26 НОТ беспозвоночных, из которых наибольшим количеством представлены олигохеты (13) и личинки хирономид (8 НОТ). По показателям обилия и деструкции доминировали олигохеты составляя по численности — 90,3 %, по биомассе — 92,9 % и по деструкции — 95,0 % (рис. 2.11).

Трофический статус сообщества определяли собиратели (98,0 % общей деструкции). Разнообразие в сообществе было достаточно высоким (2,81 бит/экз., 2,05 бит/г) при невысокой выравненности (0,59, 0,43, соответственно).

Дрейссенное сообщество локализовано в центральной части ВО. В сообществе отмечено 35 НОТ беспозвоночных, олигохеты представлены

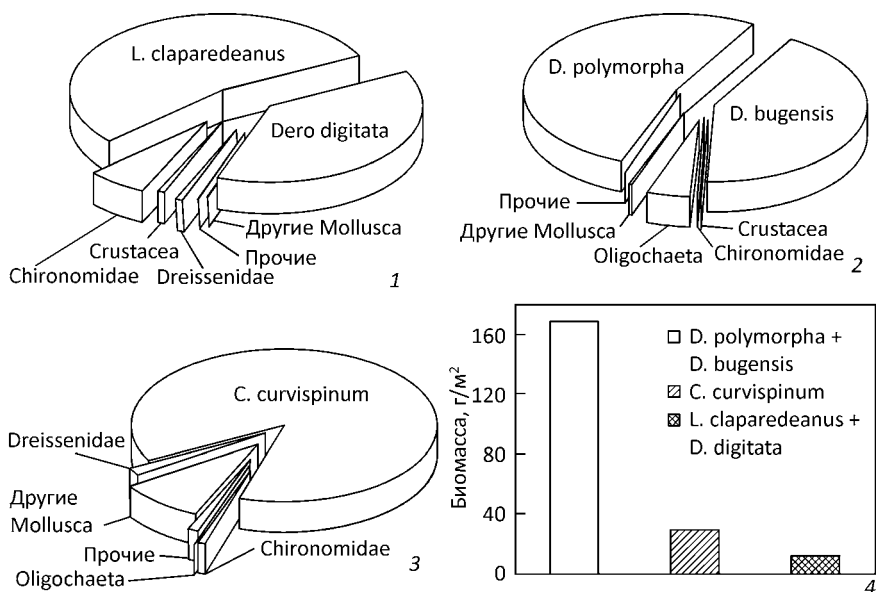


Рис. 2.11. Состав сообществ зообентоса в водоеме КрТЭС (1—3) и суммарная биомасса в них (4): 1 — *L. clapparedeanus* + *D. digitata*; 2 — *D. polymorpha* + *D. bugensis*; 3 — *C. curvispinum*

16 НОТ, личинки хирономид — 7, по 2 — корофиид, двустворчатых и брюхоногих моллюсков.

Доминирование дрейссены в сообществе по биомассе составило 94,7 %, на долю дрейссены полиморфной приходилось 52,4, а на долю бугской — 42,2 %. Продукционно-деструкционные характеристики сообщества были невысокие, наличие дрейссены определяло доминирование фильтраторов в трофической структуре. Сообщество характеризовалось высоким разнообразием и выравненностью по численности.

Сообщество *Corophium curvispinum* локализовано в прибрежной зоне северо-западной части водоема¹. В сообществе отмечено 13 НОТ из 9 групп, распределение по группам было однородным, каждая группа была представлена одним — двумя таксонами. Сообщество отличалось достаточно высокой численностью, при этом разнообразие и выравненность были очень низкими. Доминирование *C. curvispinum* по показателям обилия было определяющим 92,3 % — по численности, 76,4 % — по биомассе. По трофическому статусу сообщество относится к сообществам собирателей, их доля в общей деструкции составила 99,7 %.

Сообщество *Valvata sp.* + *Limnodrilus hoffmeisteri* локализовано между оголовком направительной дамбы и каналом продувки. Всего оно состоя-

¹ Следует отметить, что на плотине в перифитоне также существовали значительные поселения корофиид, см. ниже.

ло из 13 НОТ беспозвоночных: 5 НОТ олигохет и 4 — личинок хирономид, а также нематоды, остракоды, *Corophium curvispinum*, *Valvata* sp. Доля *Valvata* sp. в общей биомассе составляла 46,5 %, субдоминантами были *Limnodrilus claparedeanus* (28,9 %), этот вид тубифицид преобладал и по численности (36,5 % общей), субдоминантом выступал другой вид тубифицид *Potamotrix hammoniensis* (13,4 %). Сообщество отличалось минимальными показателями обилия и продукционно-деструкционными характеристиками.

В летний период 1987 г. сообщество дрейссены изучали с помощью водолазного снаряжения в водозаборной ванне. Здесь отмечена наибольшая биомасса животных — 23,5 кг/м², при численности около 850,0 тыс. экз/м², на долю дрейссены приходилось 97,7 и 68,1 % показателей обилия, соответственно. Второй и третий ранг по численности занимали остракоды — 17,7 % и гаммариды — 8,6 %. Суммарное потребление кислорода сообществом составляло 14,62 кДж/м² · ч, на обмен дрейссены приходилось 79 %, соответственно наиболее значительное место в общей деструкции сообщества занимали фильтраторы.

К 1987 г. локализация сообщества ***Limnodrilus claparedeanus* + *Dero digitata*** в целом сохранилась, однако в сбросном отсеке его площадь была незначительной. Сообщество состояло из 16 НОТ, из которых по 5 НОТ — олигохет и личинок хирономид. Суммарная численность составляла 3,03 тыс. экз/м², биомасса — 1,5 г/м², при доминировании олигохет (73 % общей численности и 64 % биомассы).

Таким образом, на период 1986—1987 гг. в ВО КрТЭС сложилась стабильная ценотическая структура зообентоса с вполне выраженными и постоянными сообществами, в отличие от периода становления, когда происходило увеличение таксономического разнообразия и показателей обилия, в наиболее подогреваемой зоне происходила смена сообщества дрейссены на олигохетно-хирономидное сообщество.

Летом 1990 г. в сбросном отсеке — непосредственно от сброса подогретых вод до переливной дамбы на заиленных грунтах (4,5—5,0 м, 32,0—33,5 °С) средние значения показателей обилия зообентоса были на невысоком уровне (табл. 2.6). В целом, в зоне максимального влияния подогретых вод в зообентосе отмечено 13 НОТ беспозвоночных. По численности и биомассе доминировали олигохеты (83,3 % общей численности и 77,3 % биомассы).

В прибрежной зоне водоема и в районе западного откоса направительной дамбы на заиленных грунтах (1,5—5,0 м, 21—24 °С) по численности

Таблица 2.6. Показатели обилия зообентоса водоема-охладителя Криворожской ТЭС в 1990—1991 гг.

Локализация	1990 г.			1991 г.		
	Н, экз/м ²	В, г/м ²	Запас, т	Н, экз/м ²	В, г/м ²	Запас, т
Подогреваемая зона	11185	9,86	52,7	18626	15,3	54,8
Центр	11853	337	4232,4	9249	203,0	2442,5
Водозабор	31466	6773,0	72,5	34400	6171,0	64,2

доминировали корофииды — 11911 экз/м² (75,5 %), а по биомассе дрейссены — 91,8 г/м² (81,9 %). Всего на участке встречено 12 НОТ зообентоса. В центральной части водоема на заиленных грунтах (4,5—5,5 м, 24—26 °С) зообентос отличался доминированием корофиид как по численности — 2280 экз/м² (38,7 %), так и по биомассе — 3,28 г/м² (48,4 %). На данном участке отмечено 12 НОТ беспозвоночных.

В поселениях дрейссены, локализованных в центральной части охладителя, отмечено 11 НОТ зообентоса, доля дрейссены в общей численности составляла 39,9 % (4733 экз/м²), доминирование моллюска по биомассе было определяющим — 99,5 % (1674,94 г/м²). Зона водозабора характеризовалась наибольшими показателями обилия по сравнению с другими участками при доминировании дрейссены.

Летом 1991 г. зона максимального влияния подогретых сбросных вод в целом характеризовалась достаточно высокими показателями обилия. Здесь встречено 5 НОТ беспозвоночных. Как по численности, так и по биомассе доминировали олигохеты — 93 % и 70 %, что составляло по численности 17360 экз/м², а по биомассе 10,8 г/м².

В центральной части водоема встречено 15 НОТ беспозвоночных. Средняя численность осталась на уровне 1990 г., а биомасса возросла за счет наличия дрейссены. По численности доминировали корофииды — 3703 экз/м² (40,0 %), доля дрейссены составила 94 % (191,0 г/м²).

В зоне водозабора встречено 8 НОТ беспозвоночных. Показатели обилия определялись доминированием дрейссены по численности — 49,0 %, по биомассе — 99 %.

В целом, оценивая развитие зообентоса в летний период 1991 г., можно отметить, что общий его уровень снизился по сравнению с предыдущими годами исследований. Так, общий запас животных бентоса, по сравнению с 1986—1987 гг., снизился приблизительно в 3 раза, а по сравнению с 1990 г. — в 1,7 раза. Снизилось и видовое богатство: по сравнению с 1986—1987 гг. в 1,6 раза (30 НОТ), а с 1990 г. — 23 НОТ. Общее снижение показателей обилия животных бентоса произошло, в основном, за счет уменьшения показателей обилия моллюска дрейссены (Гидробиологическая..., 1988).

Таким образом, развитие зообентоса водоема-охладителя Криворожской ТЭС проходило в период исследований в несколько этапов — динамического развития, стабилизации и, затем, снижения обилия.

* * *

Исследования **зооперифитона** техно-экосистемы КрТЭС проводили с 1986 по 1991 гг. В соответствии с общей методикой исследований, включающей водолазное обследование различных антропогенных и природных биотопов, было выполнено 56 трансектных съемок, в результате которых было установлено общее распределение макроформ, то есть основных характеристик структуры перифитона, проведено обследование гидротехнических сооружений — откосов направительной дамбы (НД), струераспределительной переливной дамбы (СРД), облицовки окружной плотины (П) (трансекты на ст. 1—9, рис. 2.12).

2. Контурные группировки техно-экосистем тепловых электростанций

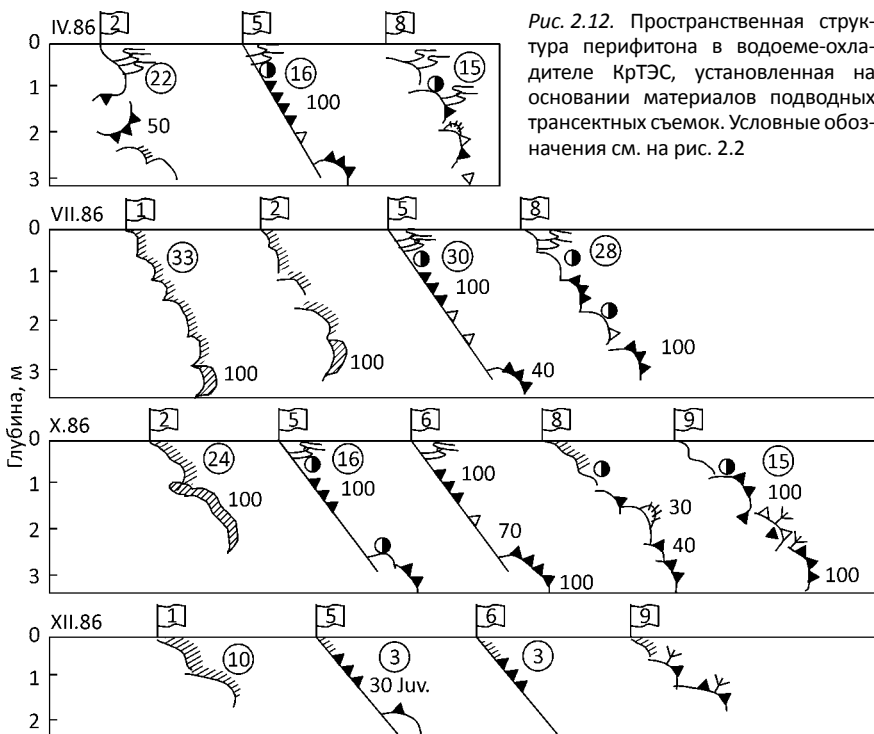


Рис. 2.12. Пространственная структура перифитона в водоеме-охладителе КрТЭС, установленная на основании материалов подводных трансектных съемок. Условные обозначения см. на рис. 2.2

Конструктивные особенности ВО КрТЭС таковы, что откосы дамб и плотины не распространяются глубже 3,5—4,0 м. Характер субстрата и биотопические характеристики, связанные с его структурой, были достаточно однородными: в водоеме существует два типа биотопов — окружающая плотина водоема, облицованная бетоном, и каменная наброска. Визуальное описание проводили на верхних, боковых, видимых нижних сторонах камней, здесь же отбирали и пробы.

В целом, как было отмечено ранее (Гидробиологическая..., 1988; Протасов, 1994), для общей структуры перифитона в водоеме КрТЭС была характерна определенная сезонная пульсация, смена биоценозов в течение годовичного цикла, что особенно было выражено в зоне максимального воздействия подогретых сбросов. Кроме того, определенная смена сообществ перифитона наблюдалась и в зонах умеренного влияния подогретых сбросов.

Особенностью конструкции системы охлаждения КрТЭС является отсутствие подводящего и отводящего каналов, которые есть, например, на ЧАЭС, ХАЭС. Направительная и переливная струераспределительная дамбы ограничивают своеобразный проточный внутренний водоем (сбросной отсек), в котором температура воды всегда самая высокая.

В апреле, когда температура воды на всех станциях исследований в 1986—1988 гг. была в диапазоне 12—22 °С, общий габитус перифитона в сбросном

отсеке определяли диатомовые водоросли в виде коричнево-бурых пленок, слизистых скоплений, а также поселения дрейссены с покрытием 50—80 %. На глубине 2—3 м на боковых и нижних сторонах камней интенсивно развивались колонии мшанки — от 60 до 100 % покрытия субстрата. Наблюдения в зимний и ранневесенний периоды, которые по техническим причинам не могли быть подробными, показали, что преобладали здесь диатомовые, в небольшом количестве встречалась дрейссена, а в марте 1987 г. — и мшанка.

Далее, при повышении температуры сбросной воды на фоне сезонного естественного возрастания температуры в водоеме, общий характер перифитонных сообществ сохранялся до критических температур 32—33 °С. При превышении этого порога в структуре перифитона начали происходить катастрофические изменения (рис. 2.13). В июне 1987 г. удалось провести наблюдения в период повышения температуры более 32 °С. Гибель отдельных особей дрейссены отмечалась уже при температуре 31—32 °С, при повышении до 33 °С наблюдалось ее массовое отмирание. На пространственное распределение организмов перифитона на всей струераспределительной дамбе существенное влияние оказывал и гидродинамический фактор. Если в сбросном отсеке по всей глубине наблюдалась сходная температура, то на противоположном откосе была четко выражена термическая стратификация (см. рис. 2.13, а—в). Это происходит вследствие перемещения глубинных

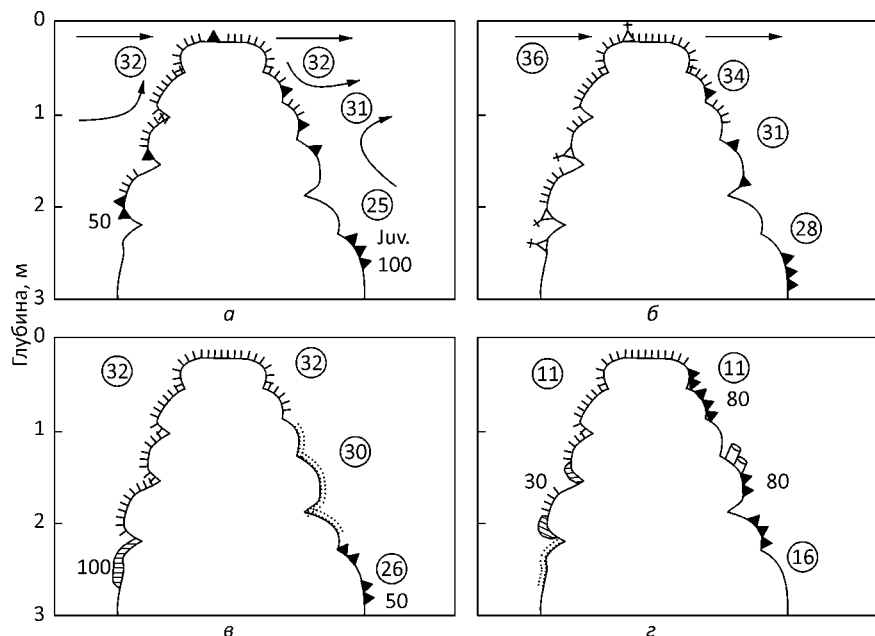


Рис. 2.13. Структура перифитона на двух откосах струераспределительной дамбы (схематический разрез) в водоеме КрТЭС (ст. 3). Стрелками указано направление течения сбросной подогретой воды: а — 13.06.87; б — 16.06.87; в — 12.07.87; г — 25.10.87

холодных вод к дамбе в противовоток потоку сбросной подогретой воды, распространяющейся по поверхности. В осенний период, вероятнее всего, происходит оседание велигеров дрейссены на субстратах в сбросном отсеке, и в апреле покрытие субстрата дрейссеной составляло уже 10 % и более.

В силу того, что столь существенные, резкие изменения температуры (а главное — отсутствие перехода через биологически важную границу 32—33 °С) в других биотопах обитания организмов перифитона отсутствовали, структура перифитона здесь была более стабильной, в первую очередь в связи со стабильностью популяции дрейссены. Однако на плотине происходили изменения в ценотической структуре, которые не были прямо связаны с термическим воздействием. В 1986 г. в средней части плотины от глубины 0,5—1,0 м до дна было локализовано сообщество дрейссены, но в 1988 г. на глубине от 2,5—3,0 м сформировалось поселение корофиид и новое сообщество. Особенностью этого сообщества были постройки ракообразных, представляющие собой трубочки из детрита. Это сообщество сохранялось и в летний период 1990 г. Значительной стабильностью обладали сообщества с доминированием дрейссены, а также губок на откосе НД вне зоны значительного влияния подогретых сбросов (ст. 8).

На откосе направительной дамбы, в наименьшей степени подверженном влиянию подогретых сбросов, практически на протяжении всех сезонов исследований общий габитус и макроструктура сообществ перифитона оставалась достаточно стабильной. Верхние ярусы поселений в зависимости от сезона года занимали либо диатомовые (холодное время года), либо нитчатые зеленые водоросли. Как на небольшой глубине, так и на глубине 2—3 м постоянно встречались брюхоногие моллюски лунки (*Theodoxus fluviatilis*). Они встречались практически от уреза воды до глубины 3 м. Подсчет особей на небольших площадках непосредственно под водой (более 50 измерений численности) показал, что при довольно большом разбросе дат (например, на глубине 1 м — от 3 до 50 экз/дм²), выявляется тенденция снижения их численности с глубиной. На 0,2—0,5 м численность моллюсков составляла в среднем 14 ± 2 экз/дм², а глубже — от 0,75 до 2,0 м она была довольно сходной — 13 ± 3 экз/дм². Глубже, до 3 м численность снижалась до 6 ± 1 экз/дм². Какой-либо четкой зависимости численности лунок от температуры не было отмечено, они встречались в диапазоне температур от 10 до 31 °С. На глубине до 1,5 м обильны были поселения губки, полипов *Cordilophora caspia*, а также скопления подвижных разноногих раков (в основном *Dikerogammarus haemobaphes*), дрейссены. На большей глубине роль дрейссены в сообществах возрастала и на глубине 2,5—3,0 м покрытие дрейссеной составляло 90—100 %.

Достаточно стабильной была структура перифитона в водозаборном отсеке. Здесь также преобладали поселения дрейссены с покрытием 90—100 % во все сезоны года. Они были представлены как щетками, так и друзами. Дно водозаборного отсека было покрыто поселением дрейссены в виде агрегатов друз, характерными для этого биотопа были колонии губки округлой, почти шаровидной формы. Пульсирующий, переменный характер структуры сообществ перифитона, близкий к таковому в водоеме КрТЭС, был установлен и в других техно-экосистемах, например, на ЧАЭС (Протасов, Афанасьев, 1982; Гидробиология., 1991).

Исследование габитуальных характеристик и оценка некоторых количественных параметров зооперифитона предусматривали также отбор проб в отдельных группировках, определение численности, биомассы, расчеты продукционно-деструкционных показателей, выделение и характеристику ценотических группировок.

Определение сходства состава зооперифитона в различных биотопах показало, что по коэффициенту Серенсена, который учитывает только присутствие—отсутствие видов без учета их количественной представленности, на уровне 0,6 и более наблюдался континуум. То есть группировки во всех биотопах имели достаточно сходный состав. Использование же показателя сходства Чекановского-Серенсена, который повышает значимость сходства группировок при сходстве доминирующего комплекса, показало, что достаточно определенно выделяются ценотические группировки водозаборного отсека, сбросного отсека, необогреваемого откоса направительной дамбы и слабообогреваемой части плотины. Ценотическая гетерогенность в целом, по данным нескольких лет исследований, была невелика. Можно выделить несколько основных сообществ (табл. 2.7).

В сообществах **Dreissena** абсолютное доминирование принадлежало одному виду — *Dreissena polymorpha*. Вторым вид дрейссенид, *D. bugensis* также встречался в сообществах зооперифитона, но показатели обилия его были на порядок ниже, чем у первого вида. В весенний период (апрель) 1986 г. сообщество **D. polymorpha + D. haemobaphes** занимало большую часть биотопов — было локализовано на струераспределительной дамбе, на плотине, направительной дамбе, в водозаборном отсеке. Средняя биомасса этого сообщества ($9,5 \pm 3,3$ кг/м²) была очень высокой и максимальной по сравнению с другими сообществами. Наибольшие значения биомассы, в основном за счет дрейссены, были отмечены в водозаборном отсеке и на направительной дамбе — более 10 кг/м². Вторым по показателю биомассы в ранжированном ряду видов, входящих в это сообщество был *Th. fluviatilis*, однако, его биомасса была всего 62,7 г/м², биомасса третьего вида *D. haemobaphes* была еще на порядок ниже (рис. 2.14). В силу столь малой выравненности разнообразия в сообществе, рассчитанное по биомассе, было очень низким — 0,08 бит/г.

Выравненность по численности была значительно выше, поскольку доминирование дрейссены (48 % общей) было невысоким. В это сообщество с численностью от 3 до 7 тыс. экз/м² входили также *D. haemobaphes* (15 % численности), *Th. fluviatilis* (7 %), *Hydra* sp. (10 %).

Для других вариантов сообществ с доминированием дрейссены (**D. polymorpha + Ostracoda + Harpacticoida**); **D. polymorpha + Ostracoda + C. curvispinum**) также были характерны высокие значения биомассы, высокое доминирование вида-эдификатора, высокие значения показателей суточной продукции — от 25,3 до 41,5 кДж/м² · сут (см. табл. 2.7). Кроме сообществ с доминированием ценозафтона — седентарных организмов (прикрепленных моллюсков) в теплое время года и при максимальных температурах в сбросном отсеке формировалось сообщество **Plumatella emarginata**, в котором доминирующими по численности были олигохеты — *Pristina aequisetia*, *Aeolosoma hemprichi*, а также остракоды и нематоды. Следует отметить, что сообщества эти не являются сугубо термофильными. В осенний период сообщество **P. emarginata + P. longiseta**

Таблица 2.7. Характеристика сообществ зооперифитона в водоеме-охладителе Криворожской ТЭС.

Показатели	Сообщества							
	D. polymorpha + D. haemobaphes	D. polymorpha + Ostracoda + Har- pacticoida	D. polymorpha + Ostracoda + C. curvispinum	Ostracoda + P. aequiseta + A. hemprichi (Lyngbya *)	P. emarginata + A. hemprichi + Ostracoda	P. emarginata + P. longiseta + Nematoda	Th. fluviatilis + Ostracoda + Harpacticoida (Cladophora *)	C. curvispinum + Ostracoda
Локализация	НД, Пл	НД, Пл	НД, Пл	Сбросной отсек				НД, Пл
Глубина, м	1,0—4,0	0,5—4,0	0,5—4,0	0,5—1,0	3,0—4,0	2,0—3,0	03—0,7	Пл
Температура, °С	15—23	25—29	27—32	33	32—33	19	25—29	2,0—3,0
Количество групп	11	13	16	6	7	10	5	25—28
Количество НОТ	16	35	25	10	12	21	12	14
N, тыс. экз/м ²	510,30 ± 214,32	100,25 ± 38,06	228,84 ± 115,34	69,35 ± 20,80	51,00 ± 25,86	158,18 ± 39,50	93,29 ± 22,5	1676,25 ± 732,52
B, г/м ²	9530,80±3335,5	4208,0 ± 1544,0	1453,30 ± 527,50	2,15 ± 0,60	41,2 ± 14,3	188,2 ± 52,69	181,60 ± 65,20	363,20 ± 196,10
H _N , бит/экз	2,431	3,281	2,700	2,431	2,464	2,510	2,562	2,880
H _B , бит/г	0,080	0,641	0,610	1,892	0,432	0,471	1,123	1,530
R, кДж/м ² · ч	3,30 ± 1,28	5,40 ± 1,00	5,20 ± 1,45	0,62 ± 0,23	0,77 ± 0,26	1,09	0,70	9,05 ± 2,65
P, кДж/м ² · сут	27,72	45,36	43,68	5,21	6,47	9,16	5,88	76,02
Доминирующая трофическая группа	Ф	Ф	Ф	Сб	Ф-Сб	Сдм	Сб	Сб
Доля доминирую- щей трофической группы в общей деструкции, %	84,5	69,8	51,0	89,6	78,9	81,9	97,2	76,0

Примечание. Ф — фильтраторы; Ф-Сб — фильтраторы-собиратели; Сб — собиратели; Сдм — седиментаторы; * автотрофные маркеры по-
ясов (сообществ).

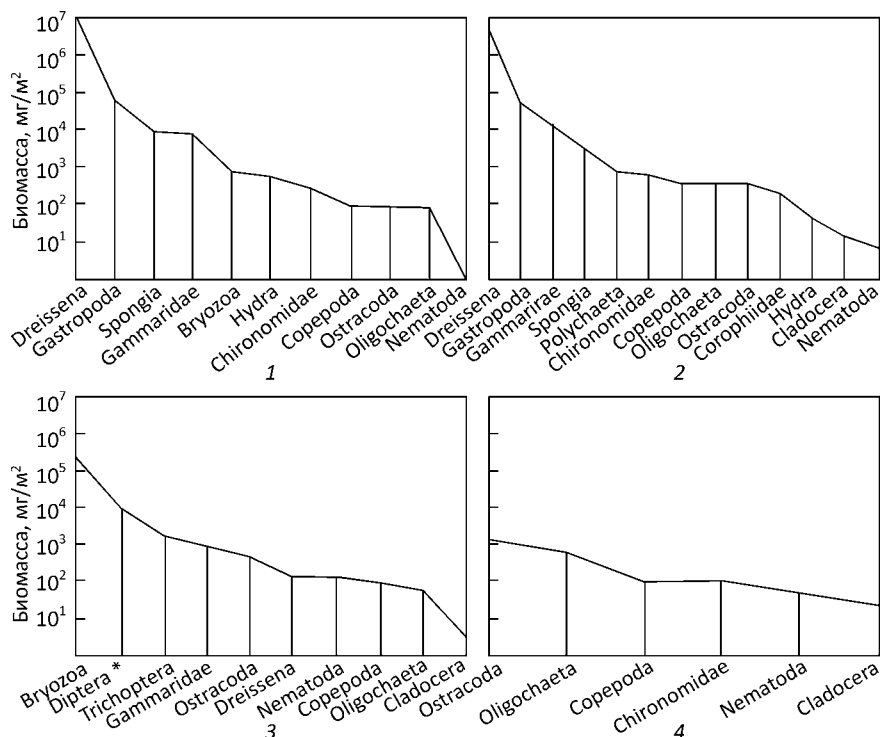


Рис. 2.14. Ранжированное распределение биомассы групп в сообществах перифитона КрТЭС: 1 — *D. polymorpha* + *D. haemobaphes*; 2 — *D. polymorpha* + *Ostracoda* + *C. curvispinum*; 3 — *P. emarginata* + *P. longiseta* + *Nematoda*; 4 — *Ostracoda* + *P. aequisetia* + *A. hemprichi*. * Без учета Chironomidae

имели биомассу даже больше, чем сообщество *P. emarginata* + *A. hemprichi* в летний период: $188,2 \pm 52,7$ против $41,2 \pm 14,3$ г/м².

Определенную роль играли в перифитоне и сообщества с доминированием беспозвоночных-планобионтов, такие как *Ostracoda* + *P. aequisetia* + *A. hemprichi* и *Th. fluviatilis*. Эти сообщества были локализованы на малых глубинах (0,3—0,7 м). В первом большая часть общей численности приходилась на олигохет — 64 %, и до 30 % — биомассы. В целом, для рангового распределения показателей биомассы в этом сообществе характерно довольно плавное снижение, то есть олигохеты *A. hemprichi* могут рассматриваться как субдоминанты вместе с остракодами (см. рис. 2.14, 4). Однако, с точки зрения ценозкоморфного состава данное сообщество беспозвоночных, которое состоит только из подвижных организмов, является, по сути, частью биоценоза, в котором доминирует, играет роль эдификатора ценопопуляция синезеленых нитчаток *Lyngbya putealis*.

Сообщество *Th. fluviatilis* + *Ostracoda* + *Harpacticoida* было локализовано на окружной плотине и направительной дамбе. По численности доми-

нировали ракушковые раки и гарпактициды (по 26—27 %), но по биомассе было хорошо выражено доминирование *Th. fluviatilis* (78,8 %). В сообществе дрейссены, которое располагалось глубже, эти брюхоногие моллюски, как было уже отмечено, распространялись до глубины 3 м и более. За лункой в этом сообществе по относительной численности в ранжированном ряду биомассы располагалась дрейссена (10,3 %) и *D. haemobaphes* (6,5 %). По трофической роли доминировали собиратели — более 97 % общей деструкции. По ценозкоморфному составу — это сообщество ценопланона, из седентарных форм в небольшом количестве встречается только дрейссена. Однако с точки зрения оценки всего биоценоза в этом биотопе основная роль эдификатора принадлежит зеленым нитчатым водорослям — *Cladophora glomerata*.

Одной из особенностей ценотической структуры зооперифитона в данном водоеме было существование сообщества, в котором определяющее значение играли экоморфы ценогемиэфаптона — корофииды, которые своими постройками полностью изменяли структуру биотопа. Сообщество **C. curvispium + Ostracoda** было локализовано на плотине на глубине 2—3 м. Здесь была зарегистрирована очень высокая численность беспозвоночных — около 1,7 млн. экз/м². Причем, выравненность была достаточно высокой — более 500 тыс. экз/м² составляла численность остракод, 352 тыс. — численность веслоногих, 235 тыс. — дрейссены, 218 тыс. экз/м² — корофиума. Показатель разнообразия составил 2,88 бит/экз. Достаточно высокими были и показатели биомассы — $363,2 \pm 196,1$ г/м² при доминировании (67 %) корофиума. Основной поток энергии проходил через его ценопопуляцию — 76,0 % от весьма значительного значения деструкции — $9,05 \pm 2,65$ кДж/м² · ч, т. е. в три раза выше чем в сообществе дрейссены, где биомасса была в 30 раз больше.

Сравнение таксономического состава сообществ по коэффициентам сходства показало определенную их близость. Однако, коэффициент t_{xy} при определении сходства по Смирнову, был не более 20, даже между сообществами с доминированием дрейссены. Между сообществами **Ostracoda** и **Plumatella**, при их большой топической близости, коэффициент t_{xy} был равен всего 1, то есть сходство практически отсутствовало. Коэффициенты сходства Жаккара имели значения более 0,4 только между сообществами дрейссены и губки, также близкие биотопически, мшаночные сообщества не имели достоверных связей с другими.

Состав доминирующего комплекса в сообществах был достаточно специфическим в каждом из них. Из общих 26 НОТ, среди первых пяти в ранжированном списке, как по численности, так и по биомассе, не было ни одного, который бы встречался во всех сообществах.

Сравнение сообществ по основным показателям (рис. 2.15) выявило, что численность и биомасса в них варьировали в очень больших пределах — на 3 порядка. В то же время показатели деструкции изменялись всего на 2 порядка. Это было связано, в частности, с тем, что сообщества, состоящие из многочисленных мелких особей, но с меньшей биомассой, были локализованы в зонах более высоких температур, где их метаболизм был выше. Практически для всех сообществ характерными были более или менее низкие показатели разнообразия по биомассе относительно таковых по численности. Это происходило вследствие того,

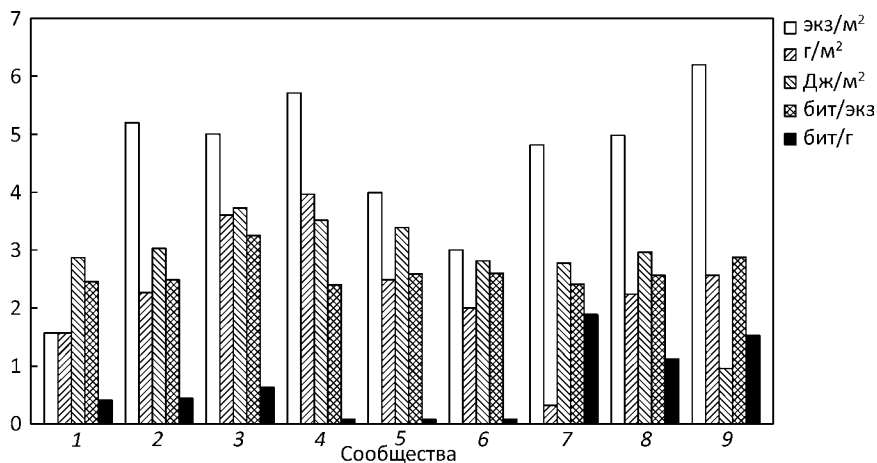


Рис. 2.15. Сравнительная характеристика сообществ зооперифитона ВО КрТЭС: 1, 2 — мшанок; 3, 4 — дрейссены; 5, 6 — губок; 7 — ракушковых раков; 8 — лунок; 9 — корофиид. По оси Y — логарифм численности (экз/м²), биомассы (г/м²), деструкции (Дж/м² · ч), разнообразие по численности (бит/экз), по биомассе (бит/г)

что выравненность по биомассе существенно ниже выравненности по численности. Следует, однако учитывать и то, что почти все виды с высокой биомассой выступают и как эдификаторы, способствуя, вероятно, тем или иным образом более выравненному разделению экологических ниш популяций консортов.

Как было отмечено, фактически эдифицирующими формами в сообществах перифитона на небольших глубинах были нитчатые водоросли, хотя их развитие и не было круглогодичным. В макрофитоперифитоне водоема-охладителя КрТЭС наиболее обильно были представлены зеленые, синезеленые, диатомовые и красные водоросли ¹.

Для сезонной динамики развития водорослей была характерна определенная периодичность (Гидробиология..., 1991). С января по апрель ведущая роль принадлежала диатомовым, которые развивались от уреза в верхней части фотической зоны, и красным водорослям (рода *Bangia*), которые были обильны в зоне заплеска практически по всей береговой линии и на дамбах. В апреле в сбросном отсеке появились синезеленые водоросли. Начало интенсивного развития *Cladophora* приходилось на апрель, ее биомасса достигала 1300 г/м². С июня по октябрь в перифитоне фотической зоны интенсивно развивались: синезеленые водоросли — в сбросном отсеке и зеленые — на остальных участках. В июле 1986 г. наибольшая биомасса кладофоры на плотине была до 2100 г/м². Максимум ее развития может приходиться и на август, как было в 1988 г. — наибольшая биомасса была 690 г/м². В сентябре-октябре запасы кладофоры существенно снижались, хотя на некоторых участках и достигали 800 г/м². Нижние границы распространения кладофоры достигали 1,5 м. Распространение кладофоры по береговой линии в летний период ограничивает температура более 30 °С.

¹ Исследования проводились Р.А. Калиниченко и А.В. Коломийцем.

В сбросном отсеке наибольшего развития достигали синезеленые нитчатые водоросли, в основном *Lyngbya putealis*. В зонах максимальных температур (до 38 °С) биомасса могла достигать 2,9 кг/м². Биомасса лингбии снижалась в биотопах, удаленных от сброса подогретых вод. Так, на откосах направительной дамбы биомасса не превышала 600 г/м². Доминирование лингбии в зонах наибольшего влияния подогретых сбросных вод характерно и для других техно-экосистем ТЭС и АЭС Украины (Гидробиология..., 1991; Шевченко, 2012). В зонах высоких температур лингбия распространялась до глубины 4,0—4,5 м, где ее биомасса была не более 30 г/м². В местах совместного обитания *Cladophora* и *Lyngbya*, в зонах умеренного подогрева, последняя занимала более глубинные горизонты (Гидробиология..., 1991). Нитчатые водоросли при своем значительном развитии представляли собой важный элемент биотопа, а также источник первичной продукции. Так, чистая первичная продукция кладофоры в биотопе направительной дамбы составляла 28,4 мг О₂/г · сут, при биомассе кладофоры около 500 г/м², это составляло 8,3 кДж/м² · ч. Таким образом, продукция автотрофного вида-эдификатора в сообществе *Th. fluviatilis* была на порядок выше, чем деструкция сообщества с животными. Очевидно, что продуцируемое органическое вещество потребляется не только в фотической зоне, но и перемещается в более глубинные горизонты, в сообщество *D. polymorpha*.

Наиболее распространенными биотопами перифитона в технических водоемах являются бетонные облицовки каналов, плотин, поверхность гидросооружений, а также крупнокаменная гранитная наброска укрепления берегов и гидросооружений. Металлические поверхности преобладают в системах водоснабжения и охлаждения. В охладителе КрТЭС протяженность бетонных берегоукрепительных облицовок составляет около 7 км (окружная плотина), ширина смачиваемой поверхности плотины составляла 13—15 м, таким образом площадь субстрата составляла около 98000 м². Для определения площади заселенных субстратов в сложном биотопе каменной наброски были проведены специальные исследования, которые показали, что заселяются организмами перифитона до 4 ярусов (условно выделенных слоев) камней. При длине трансекты 9,5 м и ширине трансекты 1 м реальная площадь камней под проекционной площадью трансекты составляла 65,75 м², т. е. были в 6,9 раз больше (иными словами — под 1 м² каменной наброски находятся почти 7 м² заселенного субстрата. Это соотношение, естественно, изменяется в зависимости как от размеров камней, так и от гидродинамических условий, определяющих внутренний водообмен в наброске). На основании проведения подводного картирования микроландшафта (Протасов, Синицина, 1996), учета обилия организмов, установили, что в биотопе каменной наброски общее количество организмов в 7,2 раза превышает таковое на двумерной бетонной поверхности облицованной плотины — 121,1 кг против 16,7 кг на трансекте шириной 1 м.

Картирование перифитонного микроландшафта (Викторов, 1986) позволило выявить особенности хорологической структуры сообществ. Как было отмечено выше, в зоне умеренного влияния подогретых сбросов зеленые и синезеленые нитчатые водоросли разделяют пространственные ниши по глубине (рис. 2.16).

Биотопами развития сообществ перифитона в техно-экосистеме являются не только естественные и искусственные субстраты, но и субстраты в системе



Рис. 2.16. Распределение относительной площади однородных контуров микроландшафта (%) на трансекте (протяженностью 9,5 м) направительной дамбы ВО КрТЭС. Кл — контуры кладофоры; Ли — лингбии; Др — дрейссены

водоснабжения самой энергетической станции (Гидробиология..., 1991; Protasov et al., 2009). Обследование систем водоснабжения КрТЭС¹ показывает, что на различных участках развитие перифитона (обрастания) имело мозаичный характер, что и характерно для техно-экосистем (Протасов, 2009; 2010). В напорных циркуляционных водоводах значительного обрастания не отмечалось. Оно формируется, как правило, на фильтрующих элементах и стенках водного фильтра ФС-400. На КрТЭС биомасса животных здесь (дрейссена, кладофора, губки) достигали 7,5 кг/м² (в среднем 1,8 кг/м²). Наибольший негативный эффект для работы фильтра оказывали дрейссена, мшанка, полипы кордилофоры.

Одним из технических биотопов, благоприятных для развития обрастания являются поверхности камер и трубок маслоохладителей. Плохая работа фильтров, вызванная развитием здесь организмов перифитона, приводит к поступлению в маслоохладители биогенного материала и резкому снижению эффективности охлаждения. В основе сообществ обрастания стенок камер маслоохладителей были дрейссена, мшанка, полипы кордилофоры. В маслоохладителях второго энергоблока КрТЭС все три камеры имели обрастание мшанкой с максимальной биомассой до 18 кг/м², толщина слоя достигала 7 см. На пятом и десятом энергоблоках прослеживалась зависимость состава обрастания от температуры. В первой холодной камере доминировала дрейссена (покрытие составляло 50—70 %), здесь встречены и колонии губок. В промежуточной — почти поровну были представлены дрейссена и мшанка. В наиболее теплой камере обрастание состояло только из мшанки. Таким образом, сообщества перифитона не только развивались в техногенных условиях, но и достигали высокого обилия, что связано с благоприятным термическим и вполне приемлемым «эдифическим» (субстрат) условиями.

¹ Исследования в 1987—1989 гг. в технических системах КрТЭС проводили С.А. Афанасьев и А.А. Протасов.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ЛАДЫЖИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА — ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЛАДЫЖИНСКОЙ ТЭС

Ладыжинское водохранилище расположено на р. Южный Буг, было заполнено в 1964 г. при строительстве ГЭС (рис. 2.17). Водохранилище каньонного типа, при НПУ площадь составляет 20,8 км², объем — 151 млн. м³. Максимальная глубина составляет 19 м, средняя — 10 м. Первый блок Ладыжинской ТЭС (ЛТЭС) был введен в 1971 г., а к началу 1972 г. электростанция была выведена на полную мощность (6 энергоблоков мощностью по 300 тыс. кВт), таким образом часть водохранилища стала выполнять функции водоема-охладителя. Система водоснабжения ТЭС состоит из водозаборного ковша, двух насосных станций, отводящего канала, системы брызгал и трубопроводов.

Снижение температуры сбросной воды происходит в основном в нижней и средней части водохранилища на протяжении 8—13 км. В среднем за год разница между температурой сбросной и водозаборной воды составляет 7 °С. Подогрев воды в водохранилище на 1° может распространяться на площадь 14 км², а на 4—5 °С — на площадь до 3 км². На глубине 5 м подогрев не превышает 4 °С и распространяется на площадь не более 0,2 км² (Водоем-охладитель..., 1978)

Гидробиологические исследования на водоеме проводили в два периода: в 1972—1975 гг. (Водоем-охладитель..., 1978) и в начале 1990-х гг. В первый период исследований отбор проб проводили в зоне влияния подогретых сбросов площадью 4 км², где температура воды выше на 2—3 °С, а также в контрольном створе выше по течению реки от сброса подогретых вод.



Рис. 2.17. Схема водоема-охладителя Ладыжинской ТЭС

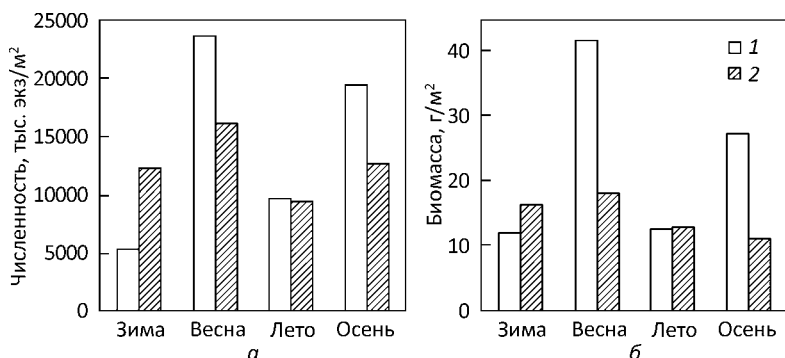


Рис. 2.18. Численность (а) и биомасса (б) зообентоса в неподогреваемой (1) и подогреваемой (2) зонах Ладыжинского водохранилища (средние значения по данным 1972 и 1974 гг.)

В зимний период 1972 г. **зообентос** был представлен в основном личинками хирономид и олигохетами. Из первых доминировали *Procladius* sp., *Polypedium convictum*. В 1975 г. отмечено 15 видов личинок хирономид, кроме указанных выше доминировали *Cryptochironomus defectus* и *Chironomus semireductus*. В летний период в зообентосе кроме олигохет и личинок хирономид встречались также личинки ручейников, поденок и моллюски.

В зимний период наибольшие показатели обилия были приурочены к подогреваемой зоне (рис. 2.18).

В среднем по водоему численность и биомасса зообентоса в 1972 г. увеличивалась от зимы к весне — 4,1 тыс. экз/м² и 6,8 г/м² в январе и до 15,3 г/м² — в марте. Наибольшая биомасса олигохет в этот период наблюдалась на илах глубоководной зоны — до 29,6 г/м², а личинок хирономид — на заиленных песках мелководий правобережья.

В июле 1972 г. средние количественные показатели зообентоса были на уровне таковых в весенний период. Сохранялась закономерность превышения биомассы зообентоса на илах глубоководной зоны относительно побережья (12,0 г/м² против 6,4 г/м²). В 1974 г., на четвертом году эксплуатации водохранилища как охладителя, значительно возросла численность зообентоса по всему водохранилищу за счет олигохет, нематод и личинок хирономид. Средние показатели обилия зообентоса по всему водохранилищу снизились от апреля к июлю до 31,5 тыс. экз/м² и 14,8 г/м². К сентябрю 1972 г. средние показатели численности в необогреваемой части уменьшились почти в два раза и составили 17,0 тыс. экз/м², а биомасса почти в три раза — 8,5 г/м², по сравнению с таковыми в конце июля.

В октябре 1972 и 1974 гг. показатели обилия были сходны между собой: численность 14,2 и 14,8 тыс. экз/м², биомасса — 17,7 и 12,9 г/м², соответственно. Выше была биомасса в глубоководной части, по сравнению с побережьем — до 35,7 г/м² против 6,7 г/м².

В дальнейшем исследования зообентоса были проведены в 1993 г. в течение трех сезонов (апрель, июль, октябрь) и в 1994 г. в летний период. Все-

2. Контурные группировки техно-экосистем тепловых электростанций

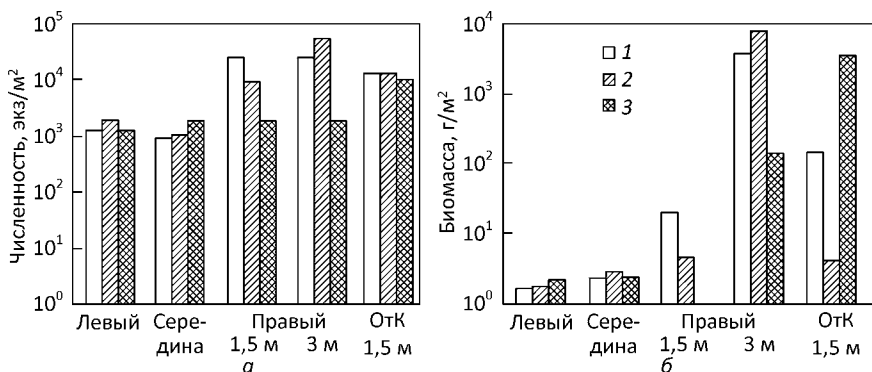


Рис. 2.19. Показатели численности (а) и биомассы (б) зообентоса в водоеме-охладителе Ладыжинской ТЭС в различные сезоны 1993 г.: 1 — весна; 2 — лето; 3 — осень

го в 1993 г. был отмечен 31 НОТ из 12 групп. Наиболее богатым был состав личинок хирономид — 17 видов и форм. Следует отметить, что по сравнению с началом 1970-х гг. состав организмов бентоса пополнился — появилась дрейссена (*Dreissena polymorpha*¹), корофида.

В 1993 г. численность в прибрежной зоне (левый берег водохранилища) в течении трех сезонов отличались незначительно и составляла 1260—1836 экз/м², доминировали олигохеты (рис. 2.19). Биомасса также была довольно сходной — 1,6—2,2 г/м². Весной по биомассе доминировали олигохеты — 1,1 г/м², а осенью — личинки хирономид — 1,6 г/м².

В средней русловой части водохранилища на глубине около 10 м в 1993 г. показатели численности зообентоса мало отличались от таковых в прибрежье левого берега, и от весны к осени возрастали от 923 до 1793 экз/м². Также невысокой была и биомасса — 2,4—2,9 г/м². Доминировали олигохеты, дрейссена была встречена в виде одиночных особей. На небольших глубинах (1,5 м) на правом берегу, в районе ТЭС показатели численности и биомассы были сходными с таковыми на левом, летом возрастая до 8700 экз/м². Биомасса здесь достигала 20,2 г/м². Значительными были показатели как численности, так и биомассы на глубине 3—4 м: в летний период численность достигала 56,2 тыс. экз/м² при доминировании олигохет (43,3 тыс. экз/м²), а биомасса — 7938,0 г/м².

В 1994 г. на трансектах как левого, так, в большей мере, правого берега были отмечены поселения дрейссены в виде отдельных друз с плотностью покрытия дна до 70 % (рис. 2.20). Биомасса зообентоса составляла 845 г/м²

¹ По имеющимся у нас данным *Dreissena polymorpha* вселилась в водоем в 1980-х гг. Проведенные обследования в 1989 г. показали, что в верховьях водохранилища биомасса ее в бентосе достигала 3,8 кг/м², в отводящем канале ТЭС максимальная зафиксированная биомасса была 16,3 кг/м² (Л.В. Шевцова, личное сообщение). Можно предположить, что вселение произошло в 1986—1987 гг.

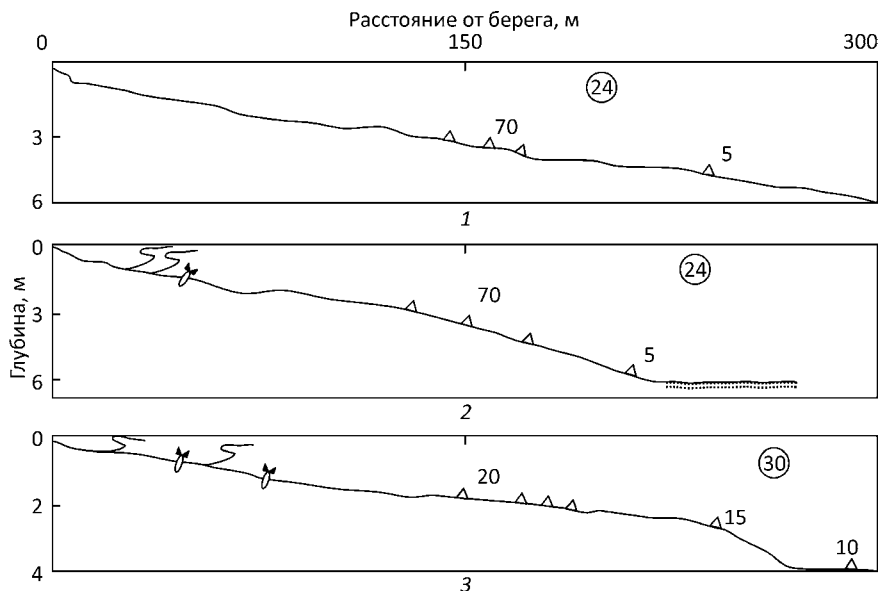


Рис. 2.20. Схема трансект и распределение на них основных макроформ зообентоса в водоеме-охладителе Ладыжинской ТЭС, летний период 1994 г.: 1 — левый берег, напротив сброса; 2 — левый берег, напротив ТЭС; 3 — правый берег, ниже ТЭС

и на 97 % определялась биомассой дрейссены. Численность была также относительно высокой.

В 1994 г. показатели обилия зообентоса в прибрежье были также достаточно высоки: численность до 15,3 тыс. экз/м², биомасса — 4750 г/м². Доминирование дрейссены по численности составляло 67 %, по биомассе — 96 %.

* * *

Исследования **зооперифитона** были проведены в 1993 и 1994 гг. Для определения пространственной структуры, обилия сообществ были проведены водолазные обследования в водозаборном отсеке, отводящем канале ТЭС, на плотине водохранилища, а также на выходах скальных пород на правом берегу водохранилища выше по течению от ТЭС. При визуальных подводных наблюдениях были выявлены определенные закономерности распределения макроформ перифитона.

В начале летнего периода (июнь) 1993 г. (температура в водозаборном отсеке была 22°, в начале отводящего канала — 26 °С) в водозаборном отсеке в приустьевой зоне были отмечены небольшие скопления зеленых нитчатых водорослей и гастропод. Начиная от глубины 1 м и до 5 м боковые стороны камней на 80—100 % покрыты поселениями дрейссены в виде щеток и друз.

В начале отводящего канала были отмечены отдельные колонии мшанок и дрейссены в виде отдельных друз и щеток с процентом покрытия до 40 %. Во втором отсеке канала отмечено значительное развитие нитчатых водорослей, биомасса которых достигала 600 г/м². В конце отводящего канала были отмечены поселения дрейссены в виде щеток и колонии губок.

В июле в отводящем канале при температуре до 29 °С макроструктура перифитона мало отличалась от таковой в июне. Несколько возросло обилие дрейссены — до 80 % покрытия в первом отсеке. В водозаборном отсеке до глубины 1 м каменистый субстрат был покрыт зелеными нитчатыми водорослями, а на глубине 2—5 м отмечено сплошное покрытие субстрата друзами и щетками дрейссены.

В осенний период обилие дрейссены в отводящем канале резко сократилось. В водозаборном отсеке распределение дрейссены оставалось прежним, сохранилось мощное развитие нитчатых водорослей с биомассой до 4 кг/м². В массе были отмечены колонии мшанки *Crystatella mucedo*. На плотине от уреза до глубины 1,5 м бетонная облицовка была свободна от обрастания, очевидно из-за волнового воздействия. Поселения дрейссены отмечены от глубины 1,5 и до 8 м.

Количество НОТ зооперифитона, отмеченных в разных биотопах, было от 11 до 17. В водозаборном отсеке в июне 1993 г. было отмечено 22 НОТ из 9 групп — олигохеты, личинки хирономид, моллюски, кишечнорастворимые, пиявки и др.

Показатели обилия зооперифитона в разных биотопах различались (рис. 2.21). Численность беспозвоночных в приуездной зоне в водозаборном отсеке была несколько выше (166,0 тыс. экз/м²), чем на глубине 4—5 м (101,0 тыс. экз/м²) при преобладании брюхоногих моллюсков и веслоногих ракообразных на малой глубине и дрейссены — на большой. Биомасса на глубине 5 м достигала 9,2 кг/м², против 130 г/м² в приуездной зоне, средняя биомасса для зооперифитона в этом участке системы водоснабжения составляла 4680 г/м² при абсолютном доминировании дрейссены (см. рис. 2.21).

В отводящем канале средняя численность беспозвоночных была почти в три раза ниже, чем в водозаборном отсеке — 239,4 тыс. экз/м². По численности преобладали личинки хирономид, олигохеты наидиды, веслоногие ракообразные. Средняя биомасса в отводящем канале (при температуре 23,0—23,6 °С) составляла 670 г/м². Однако распределение показателей биомассы было неравномерным по отсекам канала. В конечной части канала (третий отсек, глубина 3 м) биомасса достигала 2,2 кг/м², в основном за счет дрейссены. Здесь же на глубине 0,1 м биомасса была всего 22,8 г/м². На плотине также преобладала дрейссена и на глубине 2 м ее биомасса была около 5 кг/м².

В июле 1993 г. в исследованных биотопах — водозаборном отсеке, отводящем канале, на плотине в перифитоне было отмечено 35 НОТ, наибольшим количеством таксонов характеризовались личинки хирономид.

Показатели численности были довольно сходными во всех биотопах — от 25,0 до 33,0 тыс. экз/м², только во втором отсеке отводящего канала была отмечена численность 175,0 тыс. экз/м² при доминировании олигохет. Темпе-

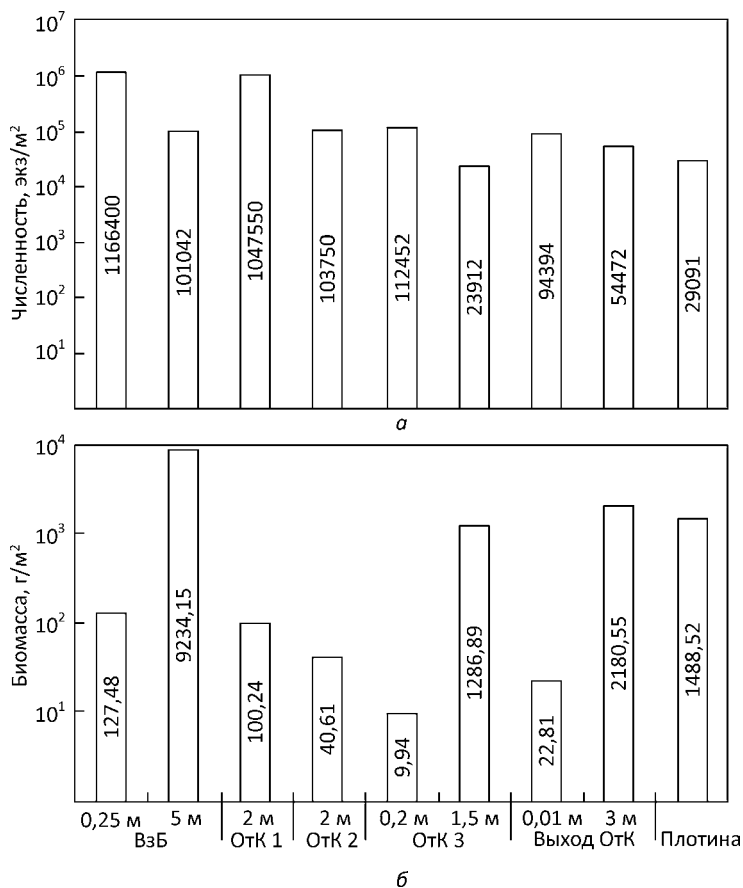


Рис. 2.21. Численность (а) и биомасса (б) зооперифитона на разных глубинах в водозаборном отсеке (ВзБ), разных участках отводящего канала (Отк: отсеки 1—3, выход канала) и на плотине Ладыжинской ТЭС, июнь 1993 г.

ратура в отводящем канале была около 26 °С, что на 5 °С выше, чем в водозаборном отсеке. Здесь показатели обилия возросли относительно июня, биомасса на глубине 3 м достигала 8,6 кг/м², однако средние значения по всему отсеку были на том же уровне, что в июне. Значительно возросла биомасса зооперифитона на плотине — на глубине 2,5 м она составила 11,5 кг/м².

В осенний период 1993 г. показатели обилия существенно не изменились, однако в водозаборном отсеке, очевидно, за счет роста особей дрейссены биомасса достигла 25,3 кг/м² на глубине 3 м (рис. 2.22). Средняя масса особи моллюска здесь возрастала от 0,09 г в июне до 0,25 г в июле и до 0,33 г — в сентябре.

2. Контурные группировки техно-экосистем тепловых электростанций

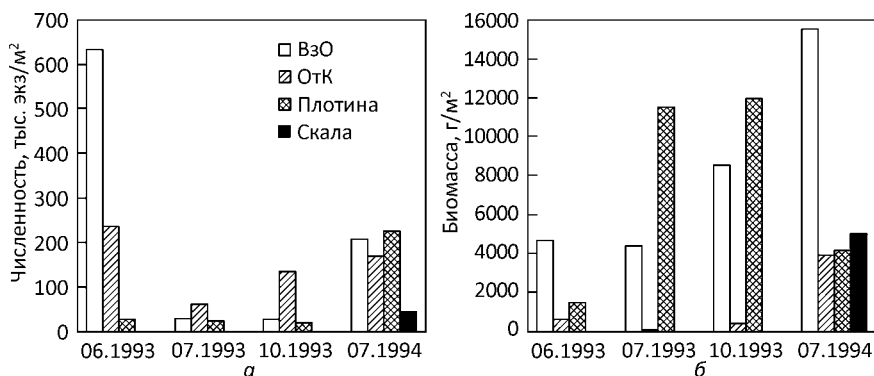


Рис. 2.22. Средние значения численности (а) и биомассы (б) зооперифитона водоема-охладителя Ладыжинской ТЭС (водозаборный отсек (ВЗО), отводящий канал (ОтК), плотина) и на скальных выходах в разные сезоны

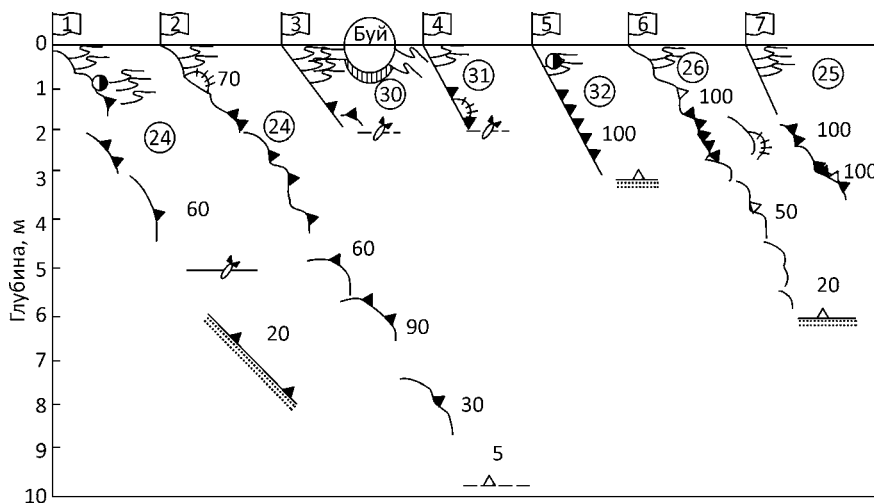


Рис. 2.23. Схема трансект и распределение на них основных макроформ перифитона в охладительной системе ЛТЭС и в водохранилище

Водолазное обследование в июле 1994 г. было проведено как в системе водоснабжения ТЭС (водозаборный отсек, отводящий канал), так и на естественных твердых субстратах выше по течению от ТЭС, а также на плотине. Обследование распределения макроформ в различных биотопах под водой показало, что существенных изменений по сравнению с картиной 1993 г. не произошло. Во всех исследованных биотопах, как естественных, так и техногенных, доминирующее положение принадлежало дрейссене (рис. 2.23). Эти поселения начинались от глубины около 1,0—1,5 м и на глубине 2 м достигали 100 % покрытия.

В водозаборном отсеке пояс поселений дрейссены со 100 % покрытием распространялся от глубины 1 м и до 4 м, глубже процент покрытия снижался. Это связано, очевидно, с особенностями гидродинамического режима: в водозаборном отсеке, на отдельных его участках гидродинамические условия способствуют интенсивному илонакоплению на каменной отсыпке на глубине свыше 5 м, что лимитирует развитие здесь поселений дрейссены.

В отводящем канале (ст. 3, 4, 5) дрейссена встречалась на всех участках, однако 100 % покрытие было отмечено только на участках, расположенных наиболее близко к сбросу (ст. 5) — в первом отсеке отводящего канала (покрытие составляло 100 %), причем температура здесь была значительной — до 32 °С, что близко к предельной для выживания этих моллюсков в других охладителях (Гидробиология..., 1991). Следует также отметить присутствие колоний мшанки в конечном участке отводящего канала, ее развитие в зоне высоких температур характерно и для других водоемов-охладителей (Гидробиология..., 1991; Скальская, 2002).

В летний период 1994 г. в перифитоне водохранилища было отмечено 52 НОТ беспозвоночных из 19 групп. Наибольшим богатством отличались личинки хирономид — 12 НОТ, 9 — представлены брюхоногие моллюски, 8 — пиявки. Для водозаборного отсека усредненные показатели численности были выше, чем в июле 1993 г., но ниже, чем в начале лета (см. рис. 2.22) и составили 210,8 тыс. экз/м². Следует отметить, что численность не очень существенно различалась по глубине: в зоне уреза была 372 тыс. экз/м² (доминировали брюхоногие моллюски и ветвистоусые ракообразные), а на глубине 3 м при общей численности 194,8 тыс. экз/м² доминировала дрейссена, *Asellus aquaticus*, *Stylaria lacustris*.

Что касается биомассы, то ее средние значения для водозаборного отсека составили 15,4 кг/м², что было в два-три раза больше, чем в предыдущий год. Только на малой глубине, до 1 м дрейссена не входила в число доминантов по биомассе, а в приурезной зоне вообще отсутствовала. На глубинах 2—3 м она полностью доминировала, достигая биомассы 26,4 кг/м².

В отводящем канале показатели численности достигали 493 тыс. экз/м². Средние значения численности составили 17,1 тыс. экз/м², среди доминантов были дрейссена, личинки хирономид, олигохеты. Показатели биомассы значительно варьировали — от 14,5 г/м² (второй отсек, глубина 1,5 м) до 15,3 кг/м² (начало канала, первый отсек, глубина 3 м), средняя биомасса составила 3,9 кг/м², при этом на долю *D. polymorpha* приходилось 98,6 % общей биомассы.

На плотине, как и в других биотопах, показатели численности мало зависели от глубины: в приурезном горизонте составляли 147,9 тыс. экз/м², а на глубине 3 м — 131,7 тыс. экз/м². Доминировали дрейссена, личинки хирономид, Cyclopoidea. Средние значения численности составили 228,4 тыс. экз/м², что было близко к таковому в водозаборном отсеке. Показатели биомассы, согласно общей закономерности, возрастали с глубиной и были в приурезной части 18,2 г/м², а на глубине 3 м — 8,9 кг/м². Средние показатели биомассы составили 4,2 кг/м² при полном доминировании дрейссены (99,5 %).

Выше по течению реки (ст. 2) на скальных выходах показатели численности были на порядок ниже, чем в техногенных биотопах — численность представленных всего 18 НОТ беспозвоночных составляла в среднем 47,1 тыс. экз/м², доминировала дрейссена. Биомасса зооперифитона в основном за счет дрейссены (95,7 % общей) составляла 5,0 кг/м². Кроме дрейссены довольно значительная биомасса была у губки *Spongilla lacustris* — 288 г/м².

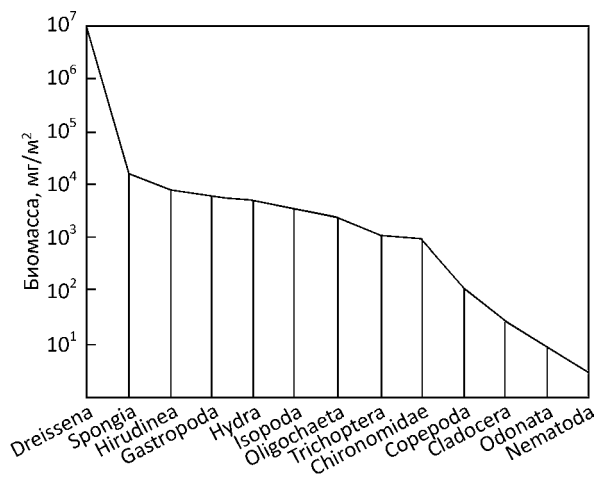
Основным сообществом перифитона в Ладыжинском водохранилище в районе ТЭС, а также в системах водоснабжения и охлаждения было сообщество **D. polymorpha**. Оно было локализовано как на природных, так и на техногенных субстратах, в зоне, испытывающей термическое воздействие подогретых сбросов. Основные характеристики этого сообщества представлены в табл. 2.8.

При полном доминировании одного вида — *D. polymorpha*, можно выделить некоторое количество других видов, показатели обилия которых за-

Таблица 2.8. Характеристики сообщества **Dreissena polymorpha** в Ладыжинском водохранилище, летний период 1994 г.

Показатели	Значения
Количество НОТ	37
Количество групп	13
Разнообразие по численности, $H_{N'}$ бит/экз	1,221
Разнообразие по биомассе, H_B бит/г	0,046
Разнообразие по деструкции, H_R бит/Дж	0,479
Средняя численность, N , экз/м ²	179936 ± 56328
CV по численности, %	82,4 ± 14,3
Средняя биомасса, B , г/м ²	12301,1 ± 2515,6
CV по биомассе, %	51,0 ± 11,1
Среднее энергосодержание, $B_{Дж}$, кДж/м ²	2565,0 ± 510,0
Деструкция, кДж/м ² · ч	12,66 ± 3,16
Продукция, кДж/м ² · сут	106,36 ± 21,12
Доля фильтраторов в общей деструкции, %	96,0
Доля собирателей в общей деструкции, %	2,0
Доля хищников в общей деструкции, %	2,0
Доминант по численности, %	<i>D. polymorpha</i> , 83,5
Доминант по биомассе	<i>D. polymorpha</i> , 99,6
Доминант по энергетическому эквиваленту биомассы	<i>D. polymorpha</i> , 95,3
Доминант по деструкции	<i>D. polymorpha</i> , 95,0
Средняя масса особи, г	0,0683
Средняя биомасса ценопопуляции ($B/НОТ$)	341,7 г/м ²
Количество НОТ со 100 % встречаемостью во всем сообществе	2

Рис. 2.24. Ранжированное распределение показателей биомассы групп в сообществе *D. polymorpha* в Ладыжинском водохранилище



нимали второе и ближайшие места в ранговом распределении. Это *Asellus aquaticus*, который занимал второй ранг по численности, шестой по биомассе, четвертый по деструкции (рис. 2.24).

Второй ранг по биомассе занимала *Spongilla lacustris*, по деструкции — третий ранг. Также можно выделить ценопопуляцию пиявки *Helobdella stagnalis*, которая занимала четвертый ранг по биомассе, пятый — по численности, второй — по деструкции. Следует также отметить определенную неоднородность сообщества в масштабах водохранилища: количество НОТ со 100 % встречаемостью было всего 2, — дрейссена, что очевидно, и гидры. Встречаемость 42 % отмечена для *Erpoptella octoculata*, количество НОТ со встречаемостью от 25 до 40 % было всего 7. Таким образом, в различных биотопах существовали модификации сообщества с довольно различным составом беспозвоночных.

Таким образом, исследования Ладыжинского водохранилища в период, когда оно в течение нескольких лет использовалось в качестве охладителя ТЭС (с 1964 по 1972 г.), показали, что более обилен зообентос был в глубоководной части на илистых грунтах, чем в прибрежье. Такая закономерность сохранялась во все сезоны. Как правило, снижение обилия зообентоса в зимний период связано в водохранилищах с дефицитом кислорода в глубоководных зонах, исходя из достаточно высокого уровня развития зообентоса, можно сделать заключение, что кислородный режим в Ладыжинском водохранилище был вполне благоприятным. Весной 1974 г. (апрель) в придонных слоях содержание кислорода составляло до 7 мг/дм^3 (64 % насыщения), но в летний период, особенно в районе сброса подогретых вод, содержание кислорода снижалось до 2 мг/дм^3 (Водоем-охладитель..., 1978). Относительно влияния подогретых сбросов ТЭС, можно сделать заключение, что количественные показатели зообентоса в непогреваемой части водоема, как правило, были выше, чем в подогреваемой.

Исследования, проведенные в 1993—1994 гг., после вселения дрейссены, показали, что по сравнению с предыдущим периодом исследований (1972—1974 гг.) произошли существенные изменения в структуре зообентоса в водоеме. Вселение дрейссены привело к существенному возрастанию количественных показателей, появились также крупные ракообразные из отряда разноногих раков (Amphipoda). В зоне умеренного подогрева, в прибрежье в районе ТЭС показатели обилия были выше по сравнению с левобережьем и средней частью водохранилища.

Для зооперифитона, исследования которого проводились после вселения дрейссены, можно отметить, что дрейссена и сформированные ею сообщества заняли ключевое место в перифитоне, причем именно в техногенной перифитали они достигали наибольшего развития.

Особенностью сообщества дрейссены в перифитоне техно-экосистемы ЛТЭС было то, что сообщество сохраняло свою локализацию и структуру в зоне сброса подогретых вод во все сезоны. Это связано с довольно умеренным влиянием подогретых сбросов, по имеющимся у нас данным температура очень редко превышала в отводящем канале 30 °С.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН КОНИНСКИХ ОЗЕР — ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНИНСКОЙ И ПАТНОВСКОЙ ТЭС

С конца 1950-х гг. пять озер, соединенных естественными протоками и каналами (рис. 2.25) используются как охладительная система двух тепловых электростанций — Патновской (мощностью 580 МВт, работает с 1958 г.) и Конинской (1600 МВт, работает с 1967 г.). Подпитка, компенсирующая потери воды на испарение всей системы охлаждения и сток в оз. Гопло из оз. Слесиньского, осуществляется по Можеславскому каналу из р. Варты.

Конинские озера являются частью Великопольского поозерья, располагаются в центральной части Польши. По площади озера сравнительно небольшие: от 1,48 (оз. Слесиньское) до 3,79 км² (оз. Гославское). Средняя глубина от 2,3 (оз. Гославское) до 11,9 м (оз. Микожинское). Использование озер в качестве охладительной системы ТЭС определило высокий водообмен: от 2—3 (оз. Гославское и Патновское) до 7 сут — в оз. Микожинском, а также относительно высокий уровень среднегодовых температур — от 12,9 °С (оз. Слесиньское) до 16,0 °С (оз. Лихеньское). В жаркое лето 1994 г. на сбросе электростанций температура достигала 36 °С, в каналах — 34°, в озерах — 30°. Среднегодовые температуры в 1987—1992 гг. составляли для оз. Гославского 15,4 °С, Патновского — 14,2, Лихеньского — 16,0, Микожинского — 15,8, Слесиньского — 12,9 °С (Zdanowski, Prusik, 1994).

Термические условия в тех или иных зонах озер могут быть охарактеризованы суммой температур, которые в период с 1993 по 2005 гг. в зонах, непосредственно прилегающих к сбросу (водоем первичного охлаждения) были в пределах от 6902 до 7771 градусодней, в оз. Слесиньском, наиболее

Рис. 2.25. Схема системы охлаждения Конинской (КТЭС) и Патновской (ПТЭС) тепловых электростанций

удаленном от влияний подогретых сбросов, диапазон составил 3547—4170 градусодней, то есть этот показатель был 2,4 раза ниже (Синицына, 2005).

Исследования Конинских озер в различных аспектах ранее проводились неоднократно (Leszczynski, 1976; Zdanowski et al., 1988; Stanczykowska et al., 1988; Protasov et al., 1993; 1997; Zdanowski, 1994; Zdanowski, Protasov, 1998).

Литораль озер была обследована на ряде трансект с использованием водолазного снаряжения. По данным подводных съемок в 1993 г.¹ поясное распределение макроформ в озерах определенным образом различалось (табл. 2.9; рис. 2.26).

В результате исследования было выделено 7 поясообразующих форм — *Najas*, *Cladophora*, *Nuphar*, *Glossneria*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* из растений и *Dreissena*. Только в Гославском озере дрейссена была отмечена в качестве доминирующей формы в первом, самом мелководном поясе, в других озерах она поселялась глубже.

Исследования последующих лет показали, что поясная структура контурных группировок сохраняется, хотя в составе поясов происходили определенные изменения. Например, в оз. Лихеньском к 1996 г. основным поясообразующим элементом стала *Vallisneria*, которая впоследствии была отмечена и в других озерах и достигала значительного развития (Hutorowicz, 2006). Дрейссена сохраняла свое доминирующее положение в контурных группировках, хотя показатели ее обилия существенно изменялись (Синицына, 2005). Нижняя граница пояса дрейссены в озерах с пологой литоралью проходила по изобате около 3 м (озера Гославское, Патновское, Лихеньское); в Слесинском и Микожинском — по изобате 7 м.

По данным 1993 г. состав группировок животных бентоса и перифитона в системе Конинских озер был разнообразен и довольно богат: всего от-



¹ Исследования были проведены совместно с польскими коллегами из Института рыбного хозяйства на внутренних водах (г. Ольштын). С украинской стороны в исследованиях принимали участие А.А. Протасов, С.А. Афанасьев, О.О. Синицына, А.В. Коломиец. С польской стороны работами руководил проф. Б. Здановский.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Таблица 2.9. Результаты подводного обследования литоральной зоны Конинских озер.

Озеро	Длина трансекты, м	Максимальная глубина на трансекте	Количество выделенных поясов	Поясообразующие гидробионты
Гославское	100	2,5	2	1. <i>Dreissena</i> + <i>Najas</i> 2. <i>Dreissena</i> + <i>Anodonta</i>
Лихеньское	100	3	4	1. <i>Cladophora</i> + <i>Nuphar</i> 2. <i>Najas</i> + <i>Cladophora</i> + <i>Ceratophyllum</i> 3. <i>Cladophora</i> 4. <i>Dreissena</i>
Слесиньское	20	7	3	1. <i>Cladophora</i> 2. <i>Ceratophyllum</i> + <i>Myriophyllum</i> 3. <i>Dreissena</i>
Микожинское	40	6	4	1. <i>Cladophora</i> + <i>Najas</i> + <i>Vallisneria</i> 2. <i>Cladophora</i> + <i>Vallisneria</i> 3. Без макроформ 4. <i>Dreissena</i>
Патновское	100	3,5	1	1. <i>Dreissena</i>

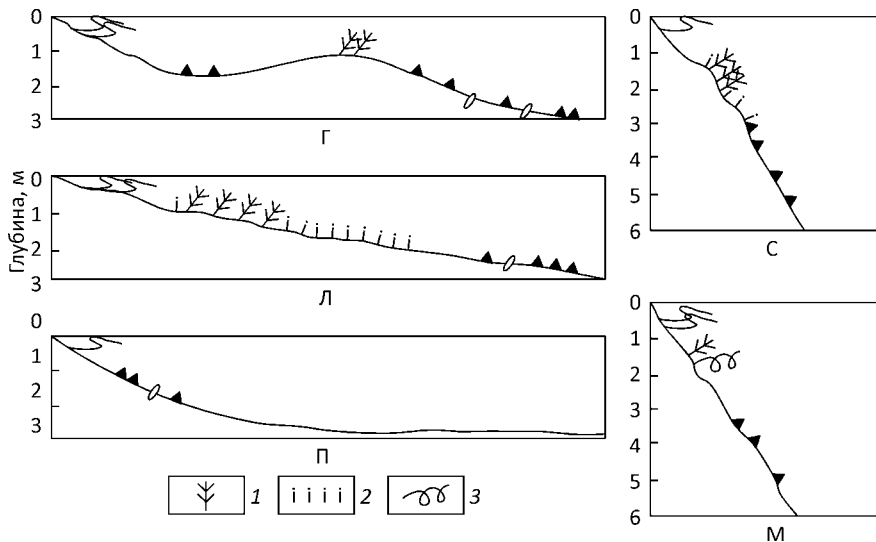


Рис. 2.26. Схема обследованных трансект в литорали Конинских озер и распределение макроформ бентоса (по: Protasov et al., 1994a). Здесь и на рис. 2.28, 2.30 — озера: Г — Гославское; П — Патновское; Л — Лихеньское; С — Слесиньское; М — Микожинское; 1 — *Ceratophyllum*, *Myriophyllum*, 2 — *Najas*, 3 — *Vallisneria*

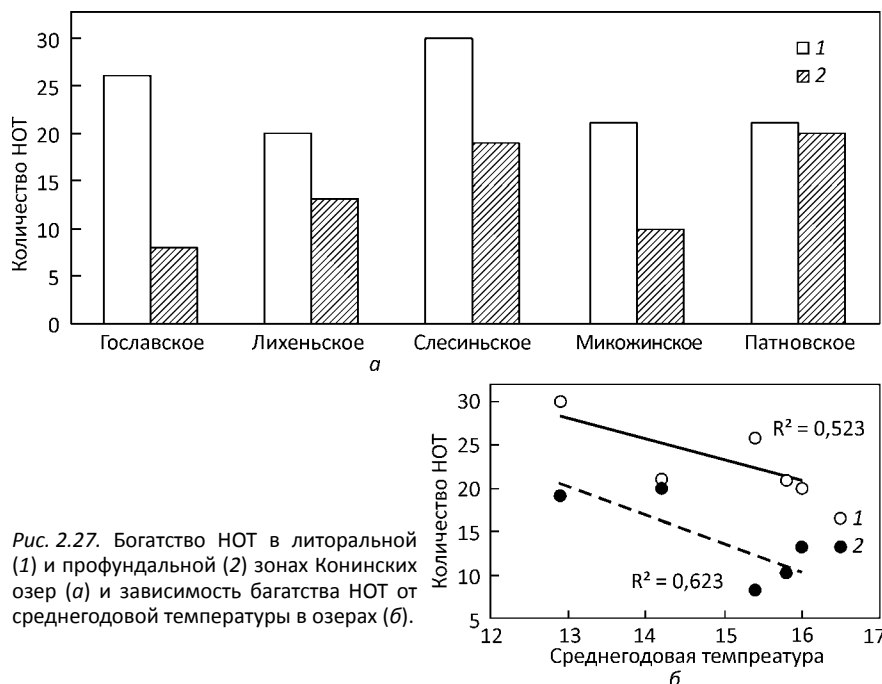


Рис. 2.27. Богатство HOT в литоральной (1) и профундальной (2) зонах Конинских озер (а) и зависимость богатства HOT от среднегодовой температуры в озерах (б).

мечено 79 HOT беспозвоночных (без видового определения Nematoda и Hydracarina). Наиболее богато были представлены личинки хирономид — 28 видов и форм, моллюски — 15 видов, олигохеты — 11, ракообразные — 10. В целом список обнаруженных гидробионтов представлен обычными для Польши видами (Protasov et al., 1994a), однако, следует отметить ряд интересных находок. В сбросном канале Патновской ТЭС впервые для Польши отмечена *Urnatella gracilis* — североамериканский вид Камптозоа, распространение которого в Европе определенным образом связано со сбросами подогретых вод (Протасов, 1996). В сбросных каналах и некоторых участках озер впервые для водоемов Польши отмечены скопления двусторчатых моллюсков *Sinanodonta woodiana*¹ (Afanasjev, Protasov, 1994; Protasov et al., 1993; 1994b). Следует отметить, что из почти 80 HOT, только некоторые имели достаточно большую встречаемость (0,80—0,85): *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbii*, *Dreissena polymorpha*.

¹ Поначалу эти моллюски были определены как 2 или даже 3 вида *Sinanodonta*, что было связано с достаточно хорошо выраженной морфологической изменчивостью (в лотических условиях явно преобладали моллюски с удлинённой раковиной и как бы срезанным под углом сифональным ее концом, в озерах — моллюски с раковиной округлой формы).

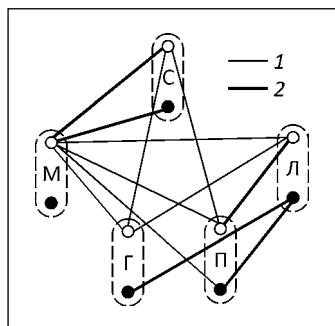


Рис. 2.28. Граф сходства состава зообентоса Конинских озер по коэффициенту Серенсена: 1 — значения связей от 0,45 до 0,55; 2 — более 0,55 (по: Здановский и др., 1996)

Число видов донной фауны в озерах колебалось от 28 (оз. Лихеньское) до 37 (оз. Слесинское), литораль была заметно богаче видами, чем профундальная зона (рис. 2.27, а). При этом, следует отметить, что как в литоралях, так и в профундалях отмечена вполне четкая закономерность снижения видового

богатства при снижении среднегодовой температуры воды в озерах. Сходство этих зависимостей выглядит достаточно парадоксально, поскольку техногенное повышение температуры, как правило, мало влияет на термический режим в глубинных зонах, особенно в достаточно глубоководных озерах Слесинском (максимальная глубина 26 м) и Микожинском (38 м).

Анализ сходства состава зообентоса по коэффициентам Серенсена и Чекановского-Серенсена показал, что во всех озерах велико было сходство между соседними поясами на литоралях. Сходство между профундальной зоной и литоралью (рис. 2.28) практически отсутствовало (на уровне сходства более 0,45). Также малым было сходство между фауной озер и каналов. В пределах одноименных поясов по доминирующим макроформам значительное сходство отмечено между поясами дрейссены во всех озерах (Protasov et al., 1994). Анализ сходства между озерами в пределах некоторых таксономических групп показал, например, единство состава олигохет в литоральной зоне и отсутствие сходства с профундальной зоной. Состав личинок хирономид характеризовался значительным сходством в поясах дрейссены, сходством состава профундальных зон Лихеньского, Патновского, Гославского и Микожинского озер, слабым сходством литораля с профундалью озер.

Таким образом, можно сделать вывод, что при высоком уровне внутреннего водообмена в системе озер на фоне различий в термическом режиме, в литоральной зоне сходство состава контурных группировок достаточно высоко. Глубинные зоны в меньшей степени затронуты влиянием антропогенных гидрофизических факторов, поэтому и «оригинальность» их в каждом озере выше.

Выделение определенных поясов и зон при подводном обследовании позволило отбирать пробы в различных биотопах, ориентируясь на распределение макроформ. Во всех озерах минимальные показатели численности, биомассы, энергетического эквивалента биомассы отмечаются в профундальных зонах (рис. 2.29), где они составили от 42 экз/м² (оз. Микожинское) до 7684 экз/м² (оз. Патновское), от 1,3 г/м² (оз. Микожинское) до 78,0 г/м² (оз. Лихеньское) и от 3,2 кДж/м² (оз. Микожинское) до 60,1 кДж/м² (оз. Патновское). При учете роли отдельных группировок в деградации органических веществ можно выделить два их типа: в профундалях — хирономидно-олигохетная (оз. Микожинское и Гославское) и олигохетно-моллюсковая (в остальных озерах). В первой группе доминировали *Chironomus plumosus*,

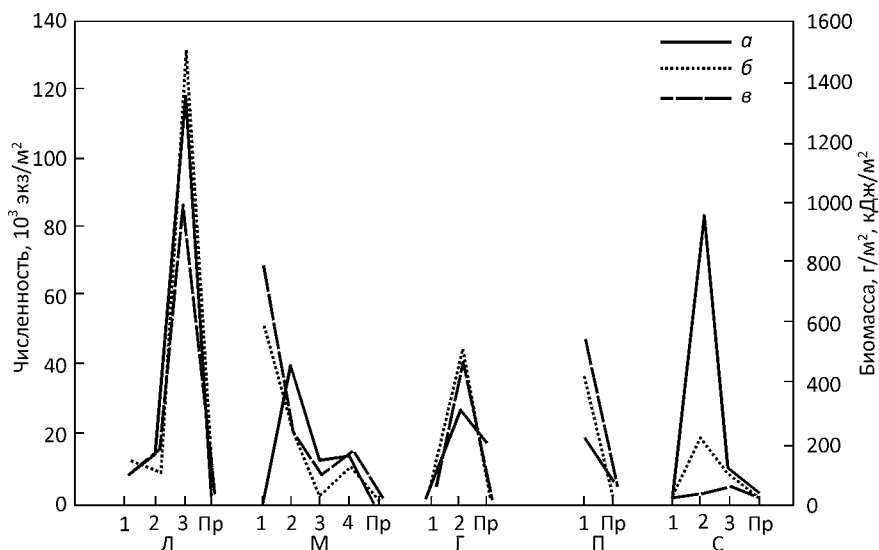


Рис. 2.29. Численность (а), биомасса (б) и энергосодержание биомассы (в) зообентоса Конинских озер по данным 1993 г. Здесь и на рис. 2.30: 1—4 — номера последовательных поясов в литорали, Пр — профундаль

Ch. thummi, *Procladius ferrugineus*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbii*, во второй — *Dreissena polymorpha*, *Bithynia tentaculata*, *B. sowerbii*.

В литорали состав и показатели обилия группировок разных поясов были неоднородными. В оз. Лихеньском в литорали было выделено 3 группировки. Показатели обилия первой составляли 7700 экз/м² и 145,1 г/м², по численности преобладали *Dreissena polymorpha*, *Planaria torva*, *Ostracoda*, составляя 48, 13, и 12 % общей, соответственно, по биомассе доминировала дрейссена (70 % общей). Около 23 % биомассы составляли *Viviparus viviparus* однако, по биомассе, выраженной в энергетических единицах, именно гастроподы доминировали, составляя 58 %. В поясе кладофоры при общей бедности зообентоса (всего 4 НОТ) доминировали брюхоногие моллюски *Bithynia tentaculata* — 83 % общей численности, которая достигала 103,1 г/м². В нижней литорали на глубине 2—3 м преобладала дрейссена, ее биомасса составляла 1040,0 г/м² (70 % общей). Видовое разнообразие по биомассе было 1,7 бит/г. По численности в этом поясе преобладала дрейссена (в друзьях) и остракоды — на грунте между друзьями дрейссены. Численность в друзьях прочих беспозвоночных была небольшой — 7168 экз/м², на грунте гораздо выше — 150930 экз/м².

В профундали оз. Лихеньского Tubificidae (850 экз/м²) преобладали по численности, составляя 50 % общей, *Dreissena* (при численности 254 экз/м² и биомассе 78,0 г/м²) составляла 96 % общей биомассы, отмечены также личинки Chironomidae. В соответствии с этим в трофической структуре доминантами были фильтраторы — 58 % общего потребления кислорода.

В оз. Микожинском в первом поясе (глубина 0,5—1,5 м) численность беспозвоночных достигала 1950 экз/м² при доминировании *Chironomidae*, *Dreissena*, *Corophiidae*. Биомасса *Anodonta stagnalis* достигала 550,8 г/м², что составляло 95 % общей (581,6 г/м²). Энергетический эквивалент биомассы составлял 780,6 кДж/м².

Во втором поясе, который маркировали *Cladophora* и *Vallisneria*, общая численность беспозвоночных составляла 4100 экз/м² при доминировании дрейссены (1340 экз/м²). Биомасса была 237,1 г/м² также при доминировании дрейссены — 65,1 %. Значения энергетического эквивалента биомассы были несколько ниже, чем в предыдущем поясе — 246,7 кДж/м². В поясе дрейссены на глубине 3—6 м численность составляла 14855 экз/м² при доминировании дрейссены (63,9 %). Биомасса дрейссены в друзах была 66,9 г/м², биомасса прочих организмов на грунте — 63,4 г/м², а унионид — около 40 г/м². Энергетический эквивалент биомассы составлял в этом поясе 167,5 кДж/м².

В профундальной части озера при доминировании *Chironomus plumosus* как по численности, так и по биомассе показатели обилия были невысокими — 417 экз/м² и 1,3 г/м² (3,2 кДж/м²).

В оз. Гославском в литорали было выделено две группировки, в которых по биомассе доминировала дрейссена. На глубине 1—2 м в доминанты входила еще *Anodonta stagnalis*. В первом поясе, который маркировали дрейссены и наяда численность составляла 4489 экз/м² при доминировании дрейссены и *Bithynia tentaculana*, биомасса была 50,4 г/м² при доминировании дрейссены и корофиид. Энергетический эквивалент биомассы составлял 44,0 кДж/м² при доминировании дрейссены, корофиид, гастропод. Во втором поясе, на глубине 1—2 м численность составляла 28406 экз/м². Основу биомассы составляли дрейссена и анодонта — 254,9 и 213 г/м², соответственно. В друзах дрейссены биомасса прочих беспозвоночных (в основном — *Helobdella stagnalis*, *Corophium curvispinum*, *Ecnomus tenellus*) была незначительной — 0,02—0,12 г/м², на грунте она также была невысокой — 2,4—4,3 г/м². Энергетический эквивалент биомассы составлял 454,4 кДж/м².

В глубоководной части озера численность была относительно невысокой — 1911 экз/м² при доминировании *Limnodrilus hoffmeisteri* (53,1 %). Биомасса была также небольшой — 2,6 г/м² при доминировании *Chironomus thummi*, *Branchiura sowerbii*, *L. hoffmeisteri* (37,6, 30,1, 11,9 % соответственно). Энергетический эквивалент биомассы составлял 8,3 кДж/м².

В Патновском озере, в силу его мелководности, сложно говорить о хорошо выраженных литоральной и профундальной зонах. На глубине 1,2 м численность составляла 1862, а глубже 2 м — 7865 экз/м², доминировали гастроподы. Однако различия в биомассе между литоралью и глубоководной зоной были значительны — 403,7 и 32,5 г/м², соответственно. В литорали 50 % биомассы составляли *U. tumidus*, биомасса дрейссены была 83,1 г/м². Также значительно различались и энергетический эквивалент биомассы: 525,5 и 6,1 кДж/м², соответственно.

В оз. Слесиньском в первом поясе численность составляла 81664 г/м², доминировали дрейссена (54,0 %) и корофииды (23,5 %). Биомасса составляла 210,0 г/м², при доминировании дрейссены (51,0 %) и гастропод (41,0 %).

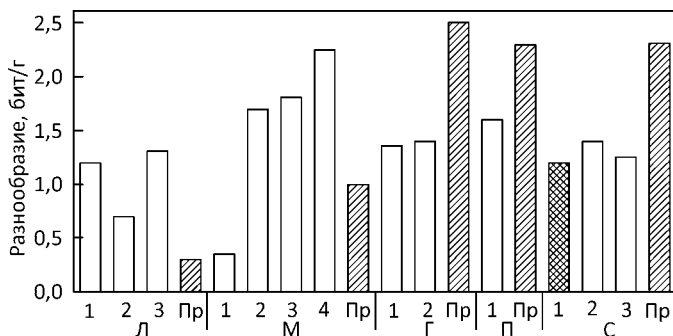


Рис. 2.30. Показатели видового разнообразия, рассчитанного по биомассе в литорали и профундали озер

Энергетический эквивалент биомассы составлял 294,9 кДж/м². Во втором поясе, от 1,5 до 3,0 м численность и биомасса были невысокими — 3300 экз/м² и 12,1 г/м². По биомассе доминировала дрейссена (82,0 %). На глубине от 3 до 7 м, в поясе дрейссены показатели обилия также были невысокими — 6000 экз/м² и 98,0 г/м². В другах дрейссены (2—3 друзы на 1 м²) встречались корофииды с небольшой численностью — 62 экз/м², численность их на грунте была намного выше — 2500 экз/м². Кроме того, на грунте вне друз дрейссены многочисленны были остракоды — 1500 экз/м². Энергетический эквивалент биомассы в этом сообществе составлял 10,7 кДж/м². В профундали озера показатели обилия были еще ниже 2776 экз/м² и 12,6 г/м². По численности не было выраженного доминанта: *Limnodrilus hoffmeisteri* (30,0 %), *Corophium curvispinum* (30,0 %), *D. polymorpha* (29,5 %) составляли основу сообщества. Основу биомассы составляли дрейссены в другах (29 %) и немногочисленные *A. stagnalis* (43,0 %). Энергетический эквивалент биомассы в этом сообществе составлял 21,8 кДж/м².

Рассчитанное по биомассе разнообразие в сообществах, было связано в большей степени с выравненностью, чем с таксономическим богатством зообентоса. Отсутствовала четкая зависимость изменения разнообразия от глубины и температуры (рис. 2.30). Озера по характеру изменения значений показателя разнообразия разбиваются на две группы: в наиболее подверженных техногенному подогреву озерах Лихеньском (среднегодовая температура 16,0 °С) и Микожинском (15,8 °С) разнообразие возрастало с увеличением глубины на литорали и затем резко снижалось в профундали. В остальных озерах (температура от 12,9 °С — в оз. Слесинском, до 15,4 °С — в оз. Голославском) разнообразие значительно возрастало в глубоководной части¹.

¹ В одной из наших работ (Здановский и др., 1996) сделано не совсем обоснованное заключение, что разнообразие прямо зависело от температурных характеристик, однако, это не так, эта зависимость более сложная. Кроме того, следует иметь в виду, что озера имеют различную глубину, с чем также связаны условия обитания в глубоководной их части.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Следует отметить, что средние показатели разнообразия в литоральной части озер были довольно близкими:

Лихеньское	1,077 бит/г
Микожинское	1,523 бит/г
Гославское	1,375 бит/г
Патновское	1,600 бит/г
Слесьинское	1,283 бит/г.

Поскольку НОТ-богатство не очень значительно изменялось с глубиной во второй группе озер и, напротив, было в 1,5—3,0 раза ниже в профундали в первой группе, можно сделать заключение, что в первой группе показатели разнообразия определяли как богатство, так и выравненность, а во второй группе — в основном выравненность.

В соответствии с показателями обилия, термическим режимом в различных поясах и сообществах изменялись показатели деструкции.

В оз. Лихеньском в пределах выделенных поясов деструкция изменялась от 0,5 кДж/м² · ч в первом поясе до 1,4 кДж/м² · ч — в третьем. Суточная продукция изменялась от 2,4 до 6,72 кДж/м² · сут. В профундали продукционно-деструкционные показатели зообентоса были на порядок ниже: деструкция — 0,042 кДж/м² · ч, продукция 0,2 кДж/м² · сут. Удельная деструк-

Таблица 2.10. Энергетические характеристики зообентоса Конинских озер, общий запас беспозвоночных и фильтрация (летний период 1993 г.).

Озера	Зоны	Запас, т	Деструкция, тыс. кДж/сут	Деструкция, т О ₂ /сут	Продукция, тыс. кДж/сут	Доля ассимиляции в общей для всех озер, %	Фильтрация, м ³ /сут
Лихеньское	л	128,1	6910	0,48	2418,5	7,80	72000
	п	88,9	1150	0,08	402,5	1,30	30540
	О	217,0	8060	0,56	2821,0	9,10	103540
Микожинское	л	157,6	7560	0,53	2646,0	8,53	67400
	п	2,3	250	0,02	87,5	0,28	39590
	О	159,9	7810	0,54	2733,5	8,81	107000
Гославское	л	1172,6	33100	2,32	11585,0	37,35	78700
	п	1,2	254	0,02	88,9	0,29	16
	О	1173,8	33400	2,33	11673,9	37,64	78716
Патновское	л	209,6	20000	1,40	7000,0	22,57	71400
	п	66,8	11800	0,83	4130,0	13,32	40600
	О	276,4	31800	2,23	11130,0	35,88	112000
Слесьинское	л	77,4	7010	0,49	2453,5	7,91	73207
	п	2,3	552	0,02	193,2	0,62	30633
	О	88,5	7560	0,53	2646,7	8,53	103840
Всего		1915,6	88630	6,21	31005,1	100	505096

П р и м е ч а н и е. О — общий показатель для водоема, л — литораль, п — профундаль.

ция в автотрофно-гетеротрофных поясах была почти в 2 раза выше, чем в гетеротрофном: 0,005 против 0,0014 ч⁻¹. Фильтрация всех моллюсков в озере составила 103540 м³/сут, из них 70,5 % составляла фильтрация моллюсков в литорали, на долю дрейссены приходилось 58000 в литорали и 29800 м³/сут — в профундальной части (табл. 2.10) ¹.

В оз. Микожинском в автотрофно-гетеротрофной части литорали деструкция составила 0,48—1,22 кДж/м² · ч. В первом поясе 87 % потока энергии в зообентосе трансформировалось двустворчатыми моллюсками. Во втором поясе 48 % потока энергии трансформируется гастроподами, удельная продукция составляла 0,0049 ч⁻¹. В двух гетеротрофных поясах литоральной зоны показатели деструкции были близкими — 0,28—0,33 кДж/м² · ч, сходным было и распределение потоков энергии: Tubificidae — 35—46 %, Corophiidae — 20—22 %. Доля дрейссены в деструкции второго пояса гетеротрофной зоны составляла всего 16 %. Суточная продукция была наименьшей (1,34 кДж/м² · сут) в поясе без выраженного доминанта из макроформ, наибольшей — 5,86 кДж/м² · сут — в поясе Cladophora + Vallisneria. В профундали озера деструкция (0,006 кДж/м² · ч) и продукция (0,029 кДж/м² · сут) были очень низкими, около 90 % энергии трансформировалось хирономидами. Моллюски-фильтраторы профильтровывали за сутки более 100000 м³ воды. В первом поясе наибольшую роль играли анодонты, с увеличением глубины их роль в общей фильтрации снижалась. На долю дрейссены в целом по водоему приходилось около 38 % профильтрованной воды.

В оз. Гославском в литоральной зоне деструкция была 0,13—0,57 кДж/м² · ч. В первом поясе, на глубине 0,5—1,0 м основная доля энергии трансформировалась брюхоногими моллюсками (37 %) и двустворками (дрейссена — 35 %, беззубка — 19 %). Суточная продукция в первом поясе составила 0,64 кДж/м² · сут, во втором — была в 4 раза выше. В профундали деструкция была намного ниже, чем в литорали — 0,023 кДж/м² · ч (тубифициды — 47 %, личинки хирономид — 47 %). Продукция была низкой — 0,1 кДж/м² · сут. Моллюски литорали оз. Гославского профильтровывали около 79000 м³/сут воды, причем 99,97 % этой фильтрации приходилось на литоральную зону.

В оз. Патновском деструкция литорального зообентоса составляла 1,57 кДж/м² · ч, продукция — 7,58 кДж/м² · сут. До 86 % потока энергии приходилось на ценопопуляцию *Bithynia tentaculata*. В профундали озера уровень продукции и деструкции был в 5—6 раз ниже. Удельная деструкция в обеих зонах была близкой — 0,03—0,04 ч⁻¹. Фильтрационная активность в этом озере была наибольшей во всей системе — 112000 м³/сут, при этом, в отличие от оз. Гославского, роль литоральных моллюсков была не столь велика по отношению к профундальным — 62 %.

В оз. Слесиньском автотрофно-гетеротрофные пояса (1 и 2) характеризовались показателями деструкции 0,45 и 1,67 кДж/м² · ч, соответственно. Основной энергетический поток в первом поясе проходил через ценопопуляции корофиид (37 % общей деструкции), дрейссены (19 %) и личинок

¹ В данной работе расчет продукции был проведен с использованием коэффициента $K_p = 0,26$ (Шитиков, 2003) в отличие от расчетов, опубликованных ранее (Protasov et al., 1994a; Здановский и др., 1996).

ручейников (18 %). Во втором поясе, который маркировался кладофорой, не было выраженного доминанта, доля корофиид составляла 28 %, дрейссены — 12 %. В дрейссеновом поясе показатели деструкции снижались и составляли $0,11 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$, доля дрейссены составляла 41 %. Суточная продукция в литорали была в диапазоне от 0,22 до $8,02 \text{ кДж/м}^2$ и наибольшей была во втором поясе. В профундальной части озера деструкция составляла $0,03 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ (доля корофиид в суммарной деструкции была 42 %, субдоминантами были гастроподы — 21 %). Удельная деструкция в автотрофно-гетеротрофных поясах составляла 0,0023 и $0,0057 \text{ ч}^{-1}$, а в гетеротрофной части литорали и профундали — в 3,5 раза меньше. Фильтрация всеми моллюсками в бентосе оз. Слесиньского составляла $103540 \text{ м}^3/\text{сут}$, из них на литоральную зону приходилось 70 %, из которых, в свою очередь, 70 % приходилось на долю дрейссены.

Полученные в результате исследований данные позволили оценить суммарные величины запаса зообентоса в озерах и энергетические характеристики группировок (см. табл. 2.10).

Всего в зообентосе озер находилось более 1900 т беспозвоночных, 60 % которых обитало в оз. Гославском. При этом, однако, ассимиляция имела близкие значения в Гославском и Патновском озерах ($4,5 \cdot 10^7$ и $4,3 \cdot 10^7 \text{ Дж/сут}$), в остальных озерах — около $1,0$ – $1,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/сут}$. Показатели деструкции в отдельных группировках в литорали были от 0,1 до $1,7 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$, различаясь почти в 20 раз, только в поясе *Cladophora* + *Myriophyllum* в оз. Слесиньском деструкция была $0,745 \text{ кДж/м}^2$, т. е. близка к значениям деструкции в профундали.

Что касается различий в оценках запаса зообентоса в литорали и профундали, то следует отметить, что запас в первой зоне был 10,8 раз выше — 1745 против 160 тонн. При этом, по отдельным озерам соотношение показателей значительно колебалось — от 1,4 раза в оз. Лихеньском до 977 раз — в Гославском. В последнем различия определялись малыми размерами относительно глубоководной зоны в мелководном озере.

Суммарная деструкция всего зообентоса в пяти озерах составила $8,9 \times 10^7 \text{ Дж/сут}$. Если рассматривать зообентос как элемент единой системы самоочищения в озерах, то необходимо отметить, что из всего деструктируемого зообентосом органического вещества во всех озерах на долю двух наиболее мелководных озер — Гославского и Патновского приходится 37,7 и 35,8 %, соответственно, на долю остальных озер — от 8,5 до 9,1 %.

Общая продукция зообентоса составляла $3,1 \cdot 10^7 \text{ Дж/сут}$. Для определения продукции в единицах биомассы (т на зону в сутки) провели анализ зависимости среднего энергосодержания (кДж/г) в разных сообществах (рис. 2.31). Полученная обратная зависимость свидетельствует о том, что сообщества с минимальной биомассой состоят из организмов с наибольшей калорийностью (имеют наибольшее энергосодержание биомассы). Сообщества с максимальной биомассой, наоборот, включают в себя организмы с малым энергосодержанием, например моллюсков с массивными раковинами, состоящими в основном из минеральных веществ. Следует отметить также отличие в наклоне прямых регрессий на графике между сообществами зообентоса Конинских озер и ряда водоемов-охладителей. Это связано,

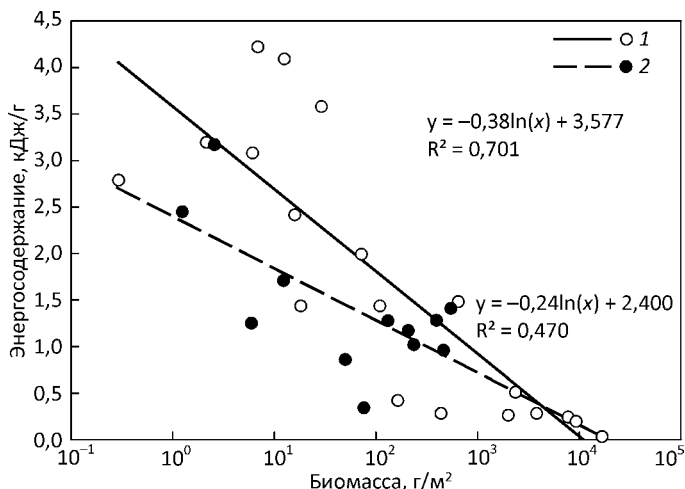


Рис. 2.31. Зависимость среднего удельного энергосодержания (кДж/г) от биомассы в сообществах зообентоса в ряде водоемов-охладителей Украины (1) и в Конинских озерах (2)

очевидно, с тем, что сообщества с относительно малой биомассой в первых имеют в своем составе достаточно много организмов с массивными твердыми покровами — гастропод, корофиид. Общая продукция всего зообентоса озер оценивается в 35,4 т/сут, при этом на долю профундальной зоны приходится 10,6 т, а на зону литорали 24,8 т/сут.

Ассимиляция всем бентосом на литорали озер была связана со среднегодовой температурой, однако не очень четкая прямая зависимость была отмечена только для Слесиньского, Патновского и Гославского озер (рис. 2.32). Для двух остальных озер оно было гораздо ниже (в 4,8—5,0 раз), чем «могло бы быть», в соответствии с общей закономерностью для Слесиньского, Патновского и Гославского озер. Таким образом, скорее всего, можно говорить об унимодальной зависимости ассимиляции зообентоса от температуры со значением экстремума около 14 °С.

Значительную роль в функционировании сообществ зообентоса играли моллюски-фильтраторы. Одним из важных показателей их функциональной активности является фильтрационная деятельность. Общее количество воды, профильтрованной моллюсками в литоральной зоне составляло 362,7 тыс. м³/сут и было довольно близким во всех озерах: от 67, 4 тыс. м³ в оз. Микожинском до 78,7 тыс. м³/сут — в оз. Гославском. В глубоководной части фильтрация составила 141,3 тыс. м³/сут при общей фильтрации в двух зонах во всех озерах 505,1 тыс. м³/сут. Относительно всего объема профильтрованной воды моллюсками, следует отметить, что этот объем составил всего 0,8 % от объема всей системы. По имеющимся данным (Гидробиология..., 1991; Техно-экосистема..., 2011), моллюски могут профильтровывать до 10 % объема водоема-охладителя в сутки.

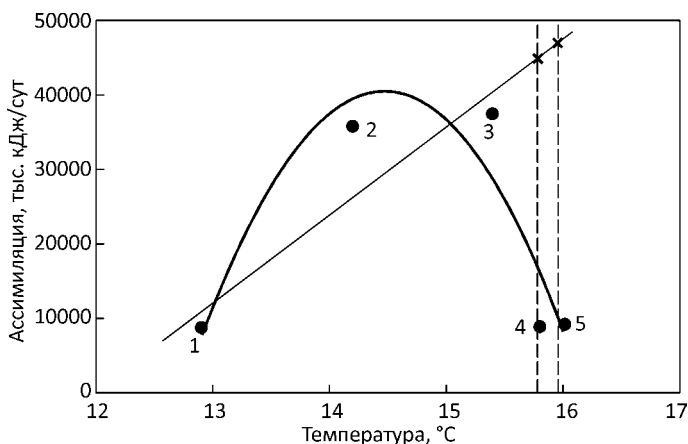


Рис. 2.32. Зависимость ассимиляции зообентоса в литоральной зоне Конинских озер от среднегодовой температуры. Пересечение линии регрессии и пунктирных линий показывает гипотетический уровень ассимиляции для Микожинского (4) и Лихеньского (5) озер; 1 — Слесинское, 2 — Патновское, 3 — Гославское; крестиками обозначены «гипотетические» значения ассимиляции

Как видно из представленного материала, одним из важных элементов сообществ как в бентосе, так и в перифитоне всей системы, является популяция дрейссены. Что касается ее единства, то в силу довольно значительного водообмена, следует, очевидно, считать популяцию единой, поскольку велигеры могут свободно перемещаться с водой по озерам и каналам. Прохождение велигеров через системы циркуляционного охлаждения ТЭС не сказывается существенно отрицательно на их выживании. Так, в водоеме первичного охлаждения, куда поступает подогретая сбросная вода, прошедшая через подводящий канал Конинской ТЭС и приносящая личинки, которые заселяют как камни переливной плотины, так и другие субстраты, в том числе раковины моллюсков *S. woodiana*. При повышении температуры выше 33 °C эта часть популяции отмирает, однако затем восстанавливается в осенний период. Такое же явление отмечалось в других техно-экосистемах ТЭС и АЭС.

Как было показано О.О. Синициной (2005), в Конинских озерах, характеристики обилия дрейссены напрямую связаны с термическим режимом озер и каналов. Так, в подводящем канале Конинской ТЭС при средней температуре в весенний период 21 °C, его продолжительности около 30 дней (сумма эффективных температур весной составляла 635 градусодней), наблюдались минимальные показатели численности дрейссены — 400 экз/м². Пик же численности — до 58060 экз/м² был отмечен при сумме весенних температур 940—1177 градусодней. В целом за период исследований с 1993 по 2005 гг. наблюдались довольно значительные колебания обилия дрейссены, особенно выраженные в лотических условиях, в частности — подводящем канале Конинской ТЭС, Петровицком канале, водоеме первичного охлаждения. Так, если в 1993 и 2004 гг. биомасса практически во всех участках

системы была на уровне десятков и сотен г/м², то в 1999 г. биомасса достигала 18 кг/м² (переливная дамба в водоеме первичного охлаждения, подводящий канал КТЭС). Явление значительных периодических колебаний плотности популяции дрейссены за 30-летний период исследования в Мазурских озерах (Польша) отмечали А. Станчиковска и К. Левандовски (Stanczykowska, Lewandowski, 1993). Для техно-экосистем ТЭС и АЭС это имеет большое значение, поскольку наблюдавшиеся на многих электростанциях биологические помехи, в особенности при пиковых уровнях развития популяции дрейссены могут периодически повторяться при создании соответствующих условий, которые зависят как от климатических, так и от техногенных факторов.

Важным элементом системы охлаждения являются каналы, общая протяженность которых в системе Конинских озер 26 км, из них около 6 км — водозаборные каналы ТЭС. По данным водолазных обследований и учета макроформ в сбросных, водозаборных и соединяющих озера каналах, можно выделить характерные участки по преобладающим организмам бентоса и перифитона.

По данным исследований 1994 г. в водозаборных каналах Конинской ТЭС и западном водозаборном канале Патновской ТЭС преобладала дрейссена, причем, в первом случае это были друзы и щетки на камнях, биомасса их достигала 2300 г/м², во втором — друзы на заиленном песке с биомассой 390 г/м². Здесь были отмечены колонии мшанки *Plumatella emarginata* с биомассой около 150 г/м². Вблизи сброса КТЭС в перифитоне биомасса мшанки достигала 1000 г/м². В 1993 г., когда температура в сбросных каналах Конинской и Патновской ТЭС была ниже, чем в 1994 г. (до 31 °С), биомасса мшанки достигала на сбросе КТЭС 327 г/м² при этом потребление кислорода составляло 240 мг О₂/м² · ч. В 1994 г. потребление кислорода мшанкой здесь составляло значительно большую величину: более 1000 мг О₂/м² · ч.

По течению каналов можно выделить несколько характерных участков. Они приурочены к зонам рыбоводных садков и сифонов, то есть к зонам повышенной турбулизации потока и, возможно, поступления дополнительного органического вещества в виде корма для рыб. Эти зоны маркировались скоплениями крупных двустворчатых моллюсков. Летом 1993 г. в сбросном канале ПТЭС в районе садков ниже по течению от сифона под водозаборным каналом Конинской электростанции были обнаружены чрезвычайно большие скопления *Sinanadonta woodiana*, в некоторых точках — до 70 кг/м², в среднем по нескольким пробам с площадок 50 × 50 см — 42,8 кг/м² при численности более 200 экз/м² (Protasov et al., 1993). Потребление кислорода моллюсками достигало значительных величин — более 2000 мг О₂/м² · ч (28,5 кДж/м² · ч). В 1994 г. на этом участке канала биомасса моллюсков была значительно ниже — 4 кг/м². Такие колебания биомассы скорее свидетельствуют о значительной мозаичности поселений, чем о реальном быстром изменении плотности популяции долгоживущих моллюсков. На участке за сифоном под каналом из оз. Лихеньского в оз. Патновское биомасса *Sinanadonta* достигала 10—17 кг/м², численность была более 120 экз/м². На остальных участках каналов численность крупных устриц была небольшой — от 1 до 9 экз/м², биомасса — 180—230 г/м². Довольно характерными

для некоторых участков (например, протока между оз. Лихеньским и Патновским, начальная часть канала из оз. Лихеньского в Слесинское) были группировки унионид с прикрепленными на них моллюсками *Dreissena* в виде крупных друз. Биомасса и деструкция органического вещества дрейссеной были близкими таковым моллюска-базибионта. Так, потребление кислорода унионидами составило $101,6 \text{ мг } O_2/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, фильтрация $92,5 \text{ л/м}^2 \cdot \text{ч}$, а дрейссены, обитающей на них — 156 мг и 145 л, соответственно.

Весьма показательным было распределение контурных группировок в двух участках канала между оз. Лихеньским и Слесинским до насосной станции и после нее. Второй участок заполняется водой только в теплое время года, когда работает насосная станция для подклюдения к системе охлаждения дополнительно оз. Слесинского и северной части оз. Микожинского. На первом участке, в котором в холодное время года отсутствует проточность, в прибрежье значительного развития достигали высшие водные растения — *Vallisneria*, *Najas*. От глубины 0,5 м встречались *Anodonta* в друзях дрейссены на них с почти равными биомассами: 42 и 39 г/м², соответственно. Совершенно иной характер имело донное население в другом участке канала. Здесь в летний период достаточно быстро после начала заполнения канала водой в массе развивалась дрейссена, преобладали особи средних размеров (в июле — до 10 мм). Покрытие камней (друзы и щетки) достигало 100 %, на дне отмечены агрегаты друз при 50 % покрытии дна. Биомасса дрейссены в перифитоне достигала 14,4 кг/м² при численности 184860 экз/м², тогда как в бентосе — 1,1 кг/м² и 13300 экз/м², соответственно. Очевидно, основная масса личинок дрейссены, поступающих из Лихеньского озера, оседает на субстрат в самом начале периода эксплуатации канала (май — начало июня). Впоследствии дрейссена уже не заселяет субстраты. Таким образом, зная сроки первого массового оседания дрейссены и несколько задержав сроки пуска канала, можно снижать плотность поселения дрейссены на этом участке. Напротив, для повышения роли дрейссены как биофильтра заполнять канал необходимо в более ранние сроки. Эта рекомендация может рассматриваться как пример био-инженерной манипуляции.

* * *

Исследования перифитона в системе Конинских озер в 1996 г. проводили на 7 станциях: водозаборный канал Конинской ТЭС (ст. 1), сбросной канал Конинской ТЭС (ст. 2), Петровицкий канал между озерами Лихеньским и Слесинским (ст. 3), оз. Гославское у сброса подогретых вод (ст. 4), водозаборные каналы Патновской ТЭС (ст. 5, 6), сбросной канал Патновской ТЭС (ст. 7). Диапазон температур составлял от 21 °С (ст. 6) до 30,5 °С (ст. 7).

Состав сообществ перифитона в 1996 г. насчитывал 26 НОТ (Oligochaeta, Cladocera, Cyclopoida, Ostracoda, Gammaridae определяли только до рода). Наиболее разнообразно были представлены Chironomidae (9 видов) и Mollusca (4 вида); Corophiidae, Copepoda, Bryozoa — по 2 вида.

К наиболее многочисленным видам можно отнести *D. polymorpha* — численность этого вида в исследованных сообществах достигала 46875 экз/м².

Многочисленны были также *Nematoda* (22500 экз/м²), *Corophium mucronatum* (25000 экз/м²), *C. robustum* (110667 экз/м²). Эти виды доминировали по численности: корофииды в водозаборных каналах Патновской ТЭС и в районе сброса в оз. Гославском (температура 20—28 °С), дрейссена — в каналах (водозаборном и сбросном Конинской ТЭС, а также в Петровицком, температура 23,3—26,0 °С), нематоды — в сбросном канале Патновской ТЭС (температура 30,5 °С).

Значимыми по биомассе видами в перифитоне были мшанки *Plumatella fungosa* (с биомассой до 1175,0 г/м²) и *P. emarginata* (143,0 г/м²), моллюски *D. polymorpha* (940,6 г/м²), *Spongilla lacustris* (131,7 г/м²), *Cordilophora caspia* (117,8 г/м²), *Corophium robustum* (58,7 г/м²), *Hydra* sp. (13,9 г/м²).

Трофическая структура сообществ перифитона в 1996 г. была представлена фитодетритофагами-собираателями (20 видов), хищниками (5 видов) и фитодетритофагами-фильтраторами (в том числе и седиментаторами) — 4 вида. Доминантами по численности в перифитоне были собиратели (76,7 % видов), по биомассе — фильтраторы (моллюски, губки) и фильтраторы-седиментаторы (мшанки) — 91,4 %.

Показатели обилия сообществ перифитона изменялись в широких пределах: численность — от 546 до 139167 экз/м², биомасса — от 0,64 до 1252,68 г/м², энергосодержание биомассы от 3,90 до 2203,35 кДж/м² (рис. 2.33). Наибольшие показатели численности были отмечены в сообществах ***Corophium robustum* + *Dreissena polymorpha*** — 135333 экз/м² (ст. 4), ***Corophium mucronatum* + *Plumatella fungosa*** — 139167 экз/м² (ст. 5), ***Dreissena polymorpha*** — 111563 экз/м² (ст. 1). Наибольшие показатели биомассы и ее энергетического эквивалента отмечены в этих же сообществах: 1252,7 г/м², 2203,3 кДж/м² (ст. 5), 1016,1 г/м², 685,3 кДж/м² (ст. 1), 984,4 г/м², 508,7 кДж/м² (ст. 4).

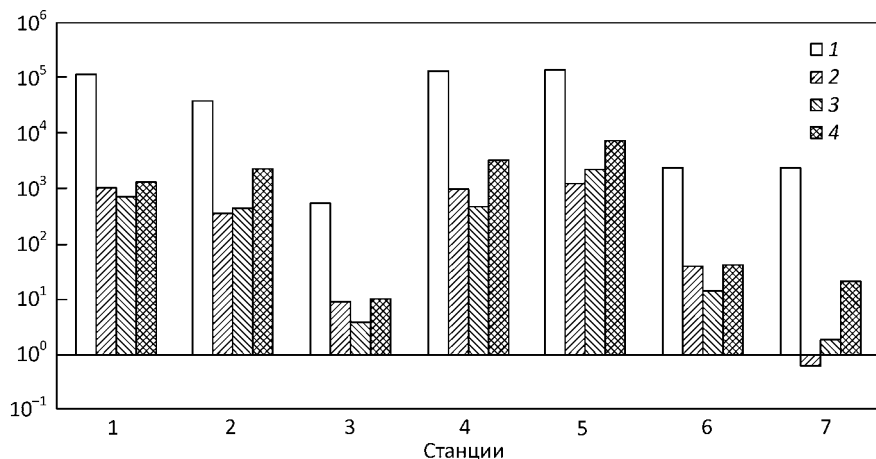


Рис. 2.33. Показатели численности, экз/м² (1), биомассы, г/м² (2), энергосодержания, кДж/м² (3), деструкции, Дж/м² · ч (4) в сообществах перифитона на 7 станциях (1996 г.)

Уровень деструкции в различных сообществах перифитона изменялся в пределах $0,01\text{—}7,26 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ и зависел как от качественных и количественных характеристик доминирующих видов, так и от условий обитания сообществ. Наибольший уровень деструкции отмечался в сообществе перифитона с функциональным доминантом *P. fungosa* (91,3 %), локализованном в восточном Патновском водозаборном канале (температура 20 °С). Уровень деструкции в сообществах перифитона в сбросном канале Конинской ТЭС и в районе сброса в оз. Гославском (26—28 °С) был в среднем в 2,6 раза ниже. Функциональными доминантами в этих сообществах были мшанка *P. emarginata* — 57 % (субдоминант — губка *S. lacustris* — 28 %) и *C. robustum* — 58 % (субдоминант — *D. polymorpha* — 24 %). Уровень деструкции в водозаборном канале Конинской ТЭС (температура 23,3 °С) был в 2,4 раза ниже, чем максимальный отмеченный в 1996 г.

По соотношению доли деструктируемого в процессе метаболизма органического вещества различными компонентами сообщества перифитона можно разделить на монодоминантные и полидоминантные. В 1996 г. монодоминантные сообщества перифитона были отмечены на станциях 3, 5, 6: от 80,5 до 93 % потока энергии в них составляла доля доминанта — фильтра / фильтра-седиментатора (двустворчатые моллюски, мшанки). Полидоминантные сообщества с преобладанием фильтра/фильтра-седиментатора отмечены на ст. 1 и 2, доля потока энергии, трансформируемого ими, составляла соответственно 49 и 57 %, доля содоминанта дрейссены, детритофага — корофиид — 32 %, около 16 % в этом сообществе составила доля хищников (гидры). На ст. 2 доля субдоминанта мшанки составляла 28 %.

В группу полидоминантных сообществ с преобладанием собирателей-детритофагов можно включить сообщества перифитона на станциях 6 и 7: доля потока энергии, трансформируемого корофиидами, составляла 51 и 48 % соответственно, содоминантами были на ст. 6 — дрейссена и на ст. 7 — личинки хирономид. На ст. 1 большая доля потока энергии приходилась на хищников (47 %), доля содоминанта собирателей-детритофагов составляла 44 %.

Таким образом, в Конинской системе отмечалось значительное разнообразие распределения потоков энергии в сообществах перифитона между компонентами различного трофического статуса.

В Конинской системе одним из субстратов для поселения дрейссены являются моллюски униониды. В некоторых водоемах в друзах на живых унионидах численность дрейссены значительно выше, чем в друзах, образованных на других субстратах (камни, створки раковин и т. д.), занимающих такую же площадь дна (Каратаев, Тишиков, 1983; Karatayev, Burlakova, 1996). Это объясняется, вероятно, лучшими условиями существования дрейссены на живых унионидах, что обусловлено двумя факторами: способностью унионид активно передвигаться, выбирая оптимальные условия существования, и их фильтрационной активностью, за счет чего улучшаются условия питания и дыхания дрейссены. В Конинской системе поселения дрейссены на унионидах (в том числе на *S. woodiana*) отмечены в диапазоне темпера-

Таблица 2.11. Показатели обилия дрейссены и унионид при их совместном поселении в Конинской системе.

Станция	Биомасса унионид, г/м ² (кДж/м ²)	Биомасса дрейссены, г/м ² (кДж/м ²)	Биомасса дрейссены на 1 г унионид	Доля деструкции дрейссены в деструкции всей консорции, %	Доля деструкции унионид в деструкции всей консорции, %
Водоем первичного охлаждения Конинской ТЭС, 100 м ниже переливной плотины	915,93 (1264,40)	99,13 (22,93)	0,10	18,0	82,0
Можеславский канал	7467,55 (10310,60)	357,19 (66,5)	0,048	8,5	91,5
Оз. Лихеньское	703,57 (971,44)	1066,54 (255,19)	1,51	74,3	25,7
Петровицкий канал до насосной станции	821,21 (1133,86)	371,55 (99,37)	0,45	48,4	51,6

тур от 25 до 31,5 °С. Соотношение биомассы унионид и поселяющейся на них дрейссены (табл. 2.11) показывает, что наибольшая биомасса дрейссены, приходящейся на 1 г унионид, отмечена в оз. Лихеньском, а наименьшая — на обогреваемом участке Можеславского канала. Соответственно различному соотношению биомассы дрейссены и унионид в разных частях Конинской системы доля дрейссены и унионид в деструкции составила 8,5 и 91,5 %, соответственно (Можеславский канал) и 74 и 25 % (оз. Лихеньское).

В трех из четырех биотопов, где встречены оба вида моллюсков, температура выходила за пределы толерантных для дрейссены, поэтому унионид можно рассматривать как элемент, увеличивающий экологическую емкость сообщества и как центр консорции.

В основу расчетов суммарного потребления кислорода моллюсками *S. woodiana* была положена экспериментально полученная зависимость скорости дыхания от их массы, которая описывается уравнением ¹:

$$R = 0,089 W^{0,85},$$

где R — скорость потребления кислорода в мг O₂/г · ч, W — сырая масса моллюсков с раковиной в граммах.

Использование методики измерения потребления кислорода респирометрическими камерами (Протасов и др., 1987) позволило получить характеристики кислородного метаболизма бентоса без моллюсков, что составило на илистых грунтах в районе сифона в среднем 116,4 мг O₂/м² · ч (для сравнения, в оз. Лихеньском на песчаном грунте потребление кислорода зообентосом было ниже — 70,96 мг O₂/м² · ч). Средний же уровень

¹ Работы по определению дыхания *S. woodiana* проведены О.О. Синициной.

2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций

Таблица 2.12. Структурно-функциональные характеристики сообществ перифитона на переливной дамбе в водоеме предварительного охлаждения Конинской ТЭС (1997 г).

Показатели сообщества	Plumatella emarginata + Nematoda	D. polymorpha
Локализация	Переливная дамба водоема первичного охлаждения	
Глубина, м	1,0—1,5	2,5—3,0
Температура, °С	32,5	28,0
Количество таксономических групп	8	16
Количество НОТ	8	21
N, тыс. экз/м ²	6 ± 2	1755 ± 456
B, г/м ²	226,8 ± 68,0	5186,4 ± 134,8
H _N , бит/экз	1,409	0,731
H _B , бит/г	0,02	0,324
R, кДж/м ² · ч	3,6 ± 1,1	10,9 ± 0,5
P, кДж/м ² · сут	29,9	91,2
Доминирующая трофическая группа	Фильтаторы-седиментаторы	Собиратели / Фильтраторы
Доля доминирующей трофической группы в общей деструкции, %	99,5	50,8 / 46,6

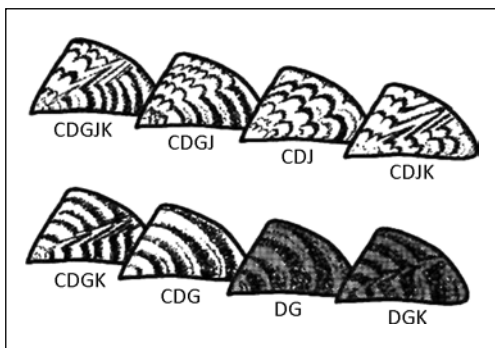
потребления кислорода моллюсками *S. woodiana* в районе сифона составил 511,36 мг O₂/м² · ч, т. е. их доля в суммарном потреблении кислорода всем бентосом может достигать почти 80 %.

Ценотическая структура бентоса и перифитона в техно-экосистеме двух электростанций была достаточно сложна. Выше было рассмотрено поясное распределение сообществ в озерах и разделение на литоральные и профундальные группировки. Таким образом, в техно-экосистеме сохранялась обычная лимническая структура сообществ. В каналах большую роль в распределении организмов и формировании группировок играли гидродинамический и термический факторы. Наиболее своеобразным водоемом в техно-экосистеме был водоем первичного охлаждения КТЭС, куда сбрасывается часть подогретых циркуляционных вод. Переливная дамба является в нем характерным для охладителя техническим элементом (аналогично с водоемами КрТЭС, ЧАЭС).

В соответствие с особенностями этого техногенного биотопа здесь формировались сообщества, которые существенно различались по структуре, находясь в очень близком соседстве, что определялось характером термической стратификации (табл. 2.12).

Особенностью сообщества *D. polymorpha* в данном местообитании была очень значительная численность. Здесь в огромном количестве оседали поствелигеры дрейссены, средняя масса особей дрейссены во всем сообществе была 3 мг, что соответствует размерам 2,5—3,0 мм. Процент численности велигеров относительно общей численности дрейссены здесь был

Рис. 2.34. Доминирующие фенотипы (по рисунку раковины) дрейссены популяции Конинских озер: вверху — с волнообразными элементами рисунка, внизу — с дуговидными



наибольшим во всей Конинской системе и составил 94 %. Абсолютное значение численности велигеров в отдельных пробах зооперифитона здесь достигало 2 млн. экз/м². Таким образом, основную биомассу составляли 105000 экз/м² дрейссены. Средняя масса особи в этой части ценопопуляции таким образом составляла 49 мг, что соответствует размерной группе 8—10 мм. Стоит отметить еще одну особенность этого сообщества с доминированием дрейссены. При значительном доминировании по численности (89 %), биомассе (95 %), энергосодержанию (53 %), по деструкции дрейссена не была столь заметным доминантом — 47 %, кроме нее 37 % общей деструкции занимали гаммариды и 15 % корофииды.

Для сообщества с доминированием мшанки была характерна относительно невысокая численность при доминировании нематод (75 %) и средняя биомасса (более 200 г/м²) при доминировании мшанки (99,8 %). Такое существенное доминирование привело к тому, что показатель разнообразия по биомассе был очень низким. Деструкция и продукция в этом сообществе была в 3 раза ниже, чем в сообществе дрейссены.

Значительное обилие дрейссены и ее распространение практически во всей техно-экосистеме вызвало интерес к показателям ее популяции, в частности к фенотипической структуре. Как было показано (Протасов, 2002) в популяции дрейссены Конинских озер преобладающими были фенотипы с рисунком раковины в виде дуг и с волнистыми элементами рисунка (рис. 2.34).

Исследования частот распределения фенотипов двух указанных групп показали (данные 1999 г.), что в популяции можно выделить определенные субпопуляционные группы, распространение которых связано с термическим режимом. В отводящем канале КТЭС, объединенном канале двух станций, оз. Лихеньском, части Петровицкого канала преобладали особи с волнистым элементом рисунка. Кроме того, они были многочисленны и в подводящем канале КТЭС. В то же время, в озерах Лихеньском, Микожинском, Патновском преобладали моллюски с рисуночным фенотипом в виде дуг (рис. 2.35).

Таким образом, в техно-экосистеме двух тепловых электростанций, которая представляет собой сложную систему взаимосвязанных естественных водных объектов, было отмечено как сходство структуры контурных группировок, так и существование определенных признаков дифференциации, различий. В целом техногенные факторы не оказали сильного негативного

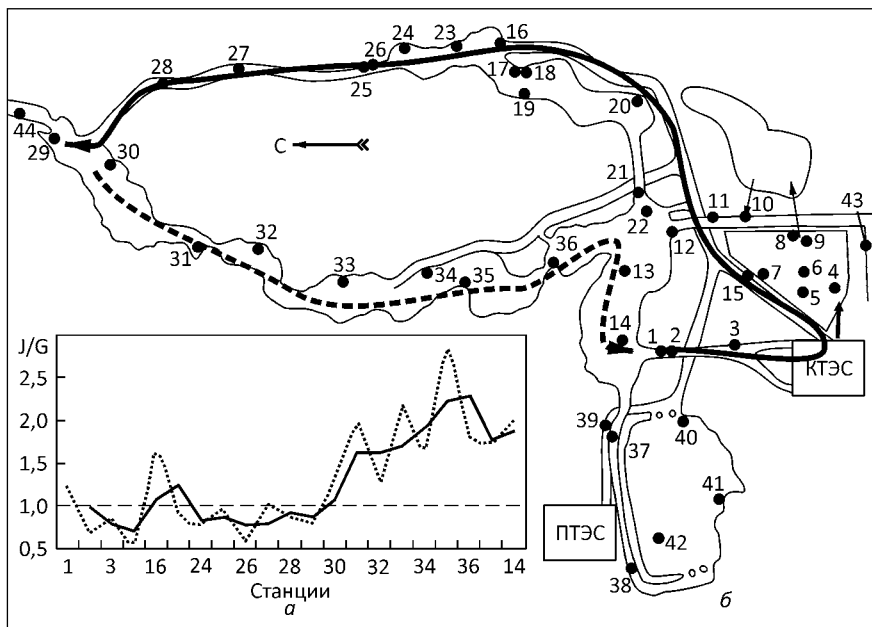


Рис. 2.35. Распределение субпопуляционных групп дрейссены: отношение количества моллюсков фенотипа J к фенотипу G (а) и распределение этих групп в системе Конинских озер (б). Сплошная линия соединяет станции с преобладанием фенотипов с волнообразными элементами рисунков, пунктирная — с дуговидными элементами

влияние на контурные группировки, в большей части водоемов сохранилась естественная структура распределения группировок и зональности. Тем не менее, именно техногенными факторами можно объяснить появление и значительное развитие моллюска-вселенца *Sinanodonta woodiana*, которая играет, благодаря своей активной фильтрационной деятельности, причем именно в зонах высоких температур, положительную роль в функционировании всей техно-экосистемы.

КОНТУРНЫЕ ГРУППИРОВКИ УЧАСТКА КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ТРИПОЛЬСКОЙ ТЭС

Трипольская ТЭС (ТрТЭС) расположена в средней части Каневского водохранилища, на правом берегу в 50 км ниже г. Киева. Средняя часть водохранилища (от г. Украинка до г. Переяслав-Хмельницкий) длиной 65 км имеет озерно-речной характер. Глубины не превышают 15 м, скорость течения — 0,25—0,30 м/с). Правобережные участки представляют

Рис. 2.36. Схема системы водоснабжения Трипольской ТЭС

собой мели, сформированные продуктами размыва коренных берегов (Гидрология..., 1989; Плигин, 2005).

Трипольская ТЭС имеет шесть блоков по 300 тыс. кВт, с прямой системой охлаждения. Первый блок был введен в 1970 г., а с сентября 1972 г. работали уже все шесть блоков (Пикуш, 1975). Днепровская вода подается в систему циркуляционного водоснабжения из подводящего канала, а подогретая на 8—12 °С вода через сбросной бассейн по двум замкнутым водоводам попадает на 0,2 км ниже водозабора через отверстия на дне рукава, отгороженного от водохранилища дамбой длиной около 0,8 км (эжекторное сооружение). Сбросной бассейн (СБ) представляет собой резервуар длиной около 60 м, с бетонированными откосами, и характеризуется наличием принудительного течения и значительными температурами (29—32 °С) (рис. 2.36). Вода в эжекторном сооружении разбавляется в 4—5 раз и температура воды, которая поступает в водохранилище, превышает естественную лишь на 2—3 °С. Площадь акватории подогретой на 3 °С в районе ТрТЭС составляет 0,7 км², а с подогревом на 1 °С — до 5 км², то есть участки имеют незначительную площадь относительно общей площади водохранилища. Подогретая вода распространяется вдоль правого берега узкой полосой шириной до 100 м. Дальше эта полоса постепенно расширяется и в 20—30 км от ТрТЭС достигает левого берега, однако температура здесь отличается от природной лишь на доли градуса. К техническим водным объектам ТрТЭС относятся также водоемы золоотвала — незначительной глубины специальные водоемы для отстаивания пульпы с золой.

Формирование гидрохимического режима Каневского водохранилища определяется стоком из Киевского водохранилища, р. Десны и промышленно-бытовыми стоками г. Киева. На участке ТрТЭС вода характеризовалась умеренной минерализацией (120—286 мг/дм³) и гидрокарбонатно-кальциевым составом. Содержание биогенных веществ в основном определялось влиянием бытовых стоков, например содержание азота аммонийного в среднем составляло 0,51—0,57 мг N/дм³. Кислородный режим в районе ТрТЭС был достаточно благоприятным (9,1—9,7 мг/дм³).

Проведенные в период до строительства ТЭС и после ее пуска исследования **зообентоса** показали, что в створе сброса подогретых вод ТЭС (до начала работы станции) значительного развития достигали олигохеты и личинки хирономид. Так, в 1969 г. показатели обилия этих групп составляли 30,2 тыс. экз/м² и 11,6 г/м² (Гидробиология..., 1991). С пуском станции показатели обилия этих групп снизились, а основную долю в зообентосе составляла дрейссена. Введение эжекторного устройства при постоянной проточности позволило снизить



температурную нагрузку на участки Каневского водохранилища ниже ТрТЭС. В этих условиях возросло таксономическое разнообразие и показатели обилия зообентоса за счет развития сообществ дрейссены. При этом численность и биомасса были выше, чем на участках выше ТрТЭС — в среднем за 1975—1977 гг. 6,7 г/м² против 233,7 г/м², соответственно.

В районе Трипольской ТЭС в июне 1991 г. в районе водозабора были обнаружены Tubificidae, *Dikerogammarus haemobaphes* и *D. polymorpha*, показатели обилия животных составляли 14000 экз/м², 1147 г/м². По численности доминировали олигохеты (54,2 %), по биомассе — дрейссена (99,3 %). На участке ниже сброса подогретых вод показатели численности и биомассы возрастали — 84500 экз/м² и 5529 г/м². Видовой состав был представлен гаммаридами (*D. haemobaphes*), корофиидами (*Corophium curvispinum*) и дрейссеной. По численности доминировали гаммариды (83,1 %), по биомассе — дрейссена (95,9 %). В районе выхода подогретой воды из эжектора численность и биомасса беспозвоночных составляли 13300 экз/м²; 13033,0 г/м². В зообентосе отмечены *Hypania invalida*, гаммариды, *Jaera sarsi*, дрейссена. По численности и биомассе доминировала дрейссена — 75,1 и 99,9 % соответственно. В русловой части р. Днепр, ниже Трипольской ТЭС показатели обилия животных были заметно выше, чем на участке водозабора и составляли 50100 экз/м²; 5927 г/м², как и на вышележащем участке доминировала дрейссена — 77,0 % и 99,8 % общих показателей.

По данным исследований Ю.В. Плигина (2005), которые были проведены на протяжении 1985—1989 и 1994 гг., в районе сброса подогретых вод Трипольской ТЭС доминировали группировки дрейссены бугской с биомассой до 2,7 кг/м², с субдоминантами *D. haemobaphes* (15,1 г/м²) и *Lithoglyphus naticoides* (20,0 г/м²).

Исследование зообентоса в 2004 г. проводили на участке Каневского водохранилища выше и ниже сброса подогретых вод, а также в технических водоемах ТрТЭС. Исследованные объекты техно-экосистемы ТрТЭС испытывают влияние разных техногенных факторов, например повышенная температура воды (сбросной бассейн) и изменение химического состава воды, грунтов (золоотвал).

Общее количество таксонов зообентоса участка Каневского водохранилища в районе ТрТЭС и технических водоемов составляла 56 НОТ из 19 групп. Таксономическое богатство определяли личинки хирономид — 20 и олигохеты — 11 НОТ. Зообентос участков в районе водозабора и ниже сброса подогретой воды ТрТЭС характеризовался наличием поселений дрейссены двух видов — *D. polymorpha* и *D. bugensis*. Беспозвоночные понто-каспийского комплекса были представлены 11 таксонами (из полихет, равноногих и разноногих раков, мизид и моллюсков) (см. Приложение 2).

В целом количество таксонов беспозвоночных в поселениях дрейссены на участке Каневского водохранилища выше и ниже ТрТЭС (27 и 23 НОТ соответственно) было близким и более высоким, чем в отдельных технических водоемах (подводящий канал (ПК) — 13 НОТ, сбросной бассейн — 7, золоотвал — 11 НОТ). Отметим, что в последнем, наряду с наличием гидр, ракушковых раков, личинок ручейников и брюхоногих моллюсков, олигохеты отсутствовали.

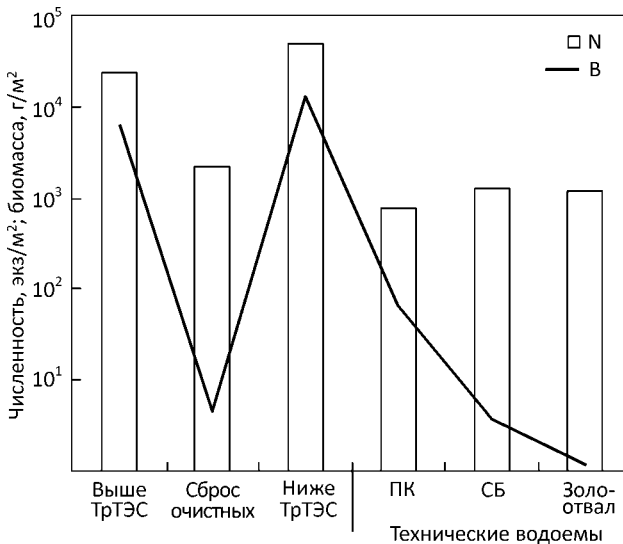


Рис. 2.37. Показатели обилия зообентоса участка Каневского водохранилища в районе Трипольской ТЭС, летний сезон 2004 г.

Распределение таксонов беспозвоночных бентоса участка Каневского водохранилища и технических водных объектов ТрТЭС по группам было относительно равномерным, таксономическое разнообразие колебалось в пределах 1,30—3,10 бит/НОТ при высокой виравненности $0,90 \pm 0,02$.

Общая численность организмов в бентосе за исследованный период на участках выше и ниже ТрТЭС составляла 24050 и 49550 экз/м², биомасса — 6184,2 и 13100,0 г/м², соответственно (рис. 2.37). Уровень обилия зообентоса здесь был достаточно высокий за счет наличия дрейссены двух видов. Численность и биомасса *Dreissenidae* ниже сброса была 1,9 и 2,1 раза больше, соответственно, чем на участке выше ТрТЭС. А доля этих моллюсков в общих показателях обилия на обоих участках была подобной (за исключением участков с погруженными высшими водными растениями) и в среднем по численности составляла 47,7 %, по биомассе доминирование дрейссены было очень высоким и составляло 99,6 %. На локальных участках, в зарослях кубышки желтой, в зообентосе по численности преобладали тубифициды (52,3 % общей), доля дрейссены здесь составляла 15,6 %.

На исследованном участке водохранилища, как выше так и ниже сброса, на глубине 3—6 м *D. bugensis* преобладала над *D. polymorpha*, численность первой составляла 94,5 %, биомасса — 99,5 % суммарных показателей двух видов. Таким образом, влияние сброса подогретой воды не влияло на соотношение показателей обилия двух видов дрейссены.

Численность и биомасса прочих видов в группировке дрейссены на участке ниже ТрТЭС были в 2,3 и 1,6 раза, соответственно, больше, чем на участке

выше станции. Доминантами на большей части участков были тубифициды, на некоторых станциях — по биомассе — в комплексе с личинками хирономид — *H. invalida*, *D. haemobaphes*, *Th. fluviatilis*.

Обилие видов-консорттов, выявленных в поселениях дрейссены на исследованном участке водохранилища было достаточно тесно связано с обилием вида-эдификатора. С увеличением биомассы дрейссены увеличивалась численность этих беспозвоночных. Следует отметить определенную связь между показателями обилия олигохет, гаммарид и дрейссены: с ростом биомассы моллюсков увеличивалась численность этих групп, коэффициент положительной корреляции составлял 0,64 и 0,66, соответственно.

В подводящем канале ТрТЭС количественные показатели зообентоса были значительно ниже, чем на участке водохранилища: численность — 774 экз/м², биомасса — 68,7 г/м². По численности доминировали тубифициды (63,1 %), по биомассе — *D. bugensis* (98,8 %), встречающаяся на глубине 7 м (143 экз/м², 135,7 г/м²).

Количественные показатели зообентоса сбросного бассейна в условиях подогрева составляли 1250 экз/м² и 3,75 г/м². Здесь была зарегистрирована дрейссена с невысокими показателями обилия, вероятно, этот моллюск заносится в бассейн током циркуляционных вод. В «мягком» зообентосе доминировали тубифициды, их доля в количественных показателях составляла более 80 %. Таким образом, в искусственном водоеме, который характеризуется максимальными температурами, зообентос отличался достаточно низкими показателями обилия.

В водоеме золоотвала количественные показатели колебались в пределах 524—1857 экз/м², 0,1—2,2 г/м² в основном при доминировании остракод и личинок хирономид по численности и последних — по биомассе.

Показатель разнообразия зообентоса по численности на участках выше и ниже ТрТЭС и в подводящем канале был близким и в среднем составлял $2,81 \pm 0,15$ бит/экз. при средней выравненности 0,75. Разнообразие по биомассе было очень низким $0,37 \pm 0,28$ бит/г из-за значительного доминирования дрейссены — выравненность составляла 0,11. В сугубо техногенных водных объектах (сбросной бассейн и золоотвал) разнообразие было невысоким (1,84 бит/экз. и 1,09 бит/г), за счет небольшого количества таксонов (7—11 НОТ).

Таким образом, в случае прямоточного водоснабжения энергетической станции, незначительное хроническое влияние повышенной температуры (Лукашенко, 2008) сбросной воды приводит к определенному повышению обилия зообентоса. Существенным элементом зообентоса участка Каневского водохранилища в районе Трипольской ТЭС (выше и ниже станции) являются поселения двух видов дрейссены (*D. polymorpha*, *D. bugensis*), что определяет достаточно высокий уровень показателей обилия. Доминирующим видом по количественным показателям была *D. bugensis*. Среди остальных беспозвоночных наибольшими показателями обилия характеризовались олигохеты и личинки хирономид, а среди видов понто-каспийского комплекса — полихеты и гаммариды. В технических водных объектах показатели численности и биомассы уменьшаются; в сбросном бассейне и золоотвале численность была ниже в 30 раз, а биомасса — на несколько порядков, чем на участке Каневского водохранилища.

Во временном аспекте можно сделать вывод, что в условиях большого водоема — водохранилища на участке влияния энергетической станции, где определенные технические решения (эжекторное сооружение) уменьшают влияние дополнительной температуры, значительных изменений в зообентосе не происходит.

* * *

Исследования **зооперифитона** в районе Трипольской ТЭС проводили в 1975—1977 гг. с использованием методов экспериментальных субстратов (Протасов, 1978; 1979; 1980; 1981; 1994; Кафтанникова, Протасов, 1979; 1980).

Исследования проводили на двух станциях — в районе водозабора (ст. 1) и в сбросном бассейне (ст. 2), куда попадает циркуляционная сбросная вода. Использовали в основном стеклянные субстраты. При коротких сериях экспозиции субстратов, от 10 сут летом до 20 сут — зимой, были получены данные о характере начальных стадий формирования сообществ перифитона. Накопительные (аккумулятивные) серии субстратов экспонировали в течение ряда сезонов с промежуточным отбором проб, что позволило установить динамику сообществ в сезонном аспекте, как в зоне естественных температур, так и в зоне подогрева.

В условиях коротких экспозиций скорость колонизации субстратов в единицах вид/сутки, то есть среднее количество видов, поселившихся за период экспозиции, была, как правило, выше в зоне подогрева (рис. 2.38).

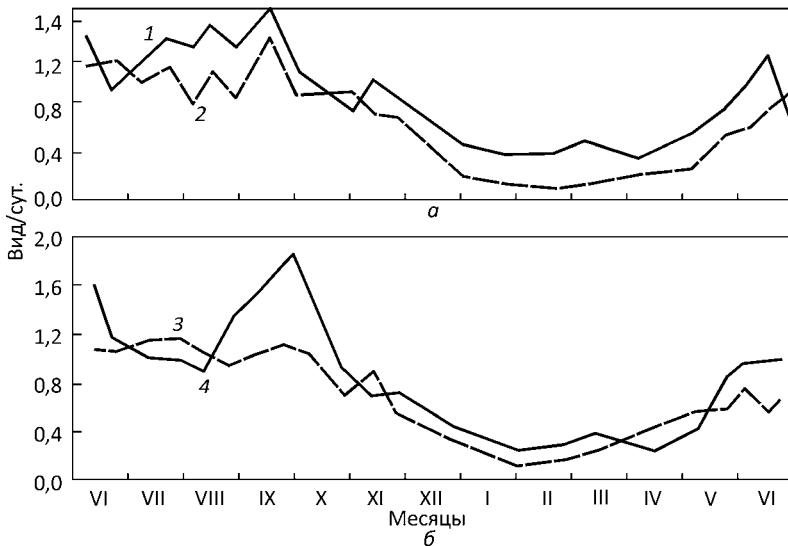


Рис. 2.38. Скорость колонизации экспериментальных субстратов в зоне водозабора (1, 3) и сброса подогретых вод (2, 4) на глубине 0,5 (а) и 2,5 м (б) в районе Трипольской ТЭС

2. Контурные группировки техно-экосистем тепловых электростанций

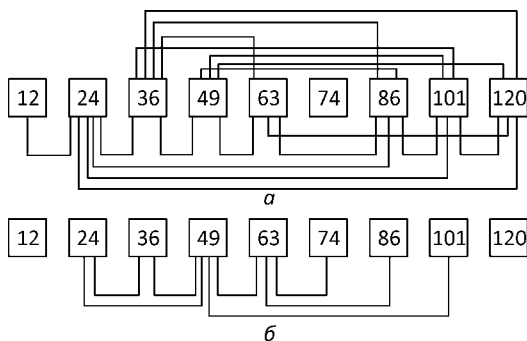


Рис. 2.39. Сходство состава зооперифитона при увеличивающейся экспозиции экспериментальных субстратов в зоне естественных температур (а) и в зоне сброса подогретых вод (б). Цифрами обозначены сутки экспозиции

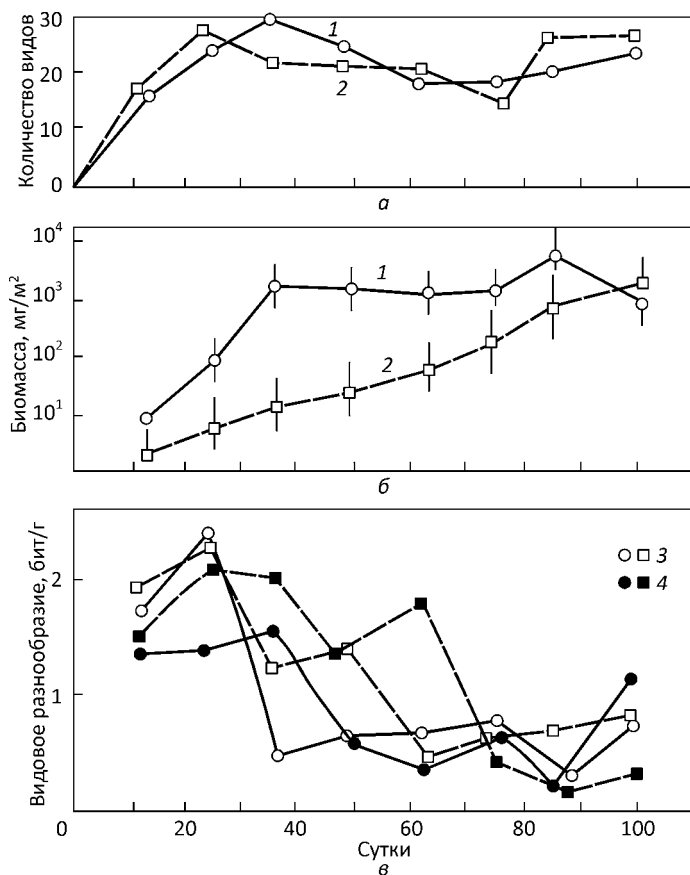


Рис. 2.40. Динамика количества НОТ (а), биомассы (б, мг/м²) и видового разнообразия (в, бит/г) зооперифитона в районе Трипольской ТЭС: 1 — на сбросе подогретых вод; 2 — в условиях естественных температур; 3 — глубина экспозиции 0,5 м; 4 — глубина экспозиции 2,5 м

Скорость колонизации в целом была невелика, однако хорошо прослеживается закономерность высокой скорости заселения субстратов от апреля до сентября на обеих станциях. В осенне-зимний период интенсивность заселения субстратов новыми видами существенно снижалась. Было установлено, что даже при малых экспозициях в двух зонах формируются различные сообщества. В теплое время года, когда существовали не только различия в температуре между двумя станциями, но и в районе сброса температура была около 30 °С, здесь по биомассе в 5 экспозициях из 9 доминировали мшанки *Plumatella emarginata*, в трех — личинки ручейников *Ecnomus tenellus*, *Neureclipsis bimaculata*. В зоне естественных температур при этих же экспозициях доминировали личинки хирономид, гидры, дрейссены, олигохеты. В холодное время года различия в составе перифитона были минимальными, доминировали олигохеты р. *Nais*.

При длительной экспозиции (в летний период она составляла более 120 суток), при контроле состава и последовательном отборе проб было установлено, что в зоне естественных температур, начиная с 24 сут экспозиции, состав сообществ изменялся мало (см. рис. 2.39), отмечена близость состава по коэффициенту сходства Серенсена даже с сообществом 120-суточной экспозиции. В то же время, в зоне подогрева сообщества по своему составу были более динамичными и только близко соседствующие во времени сообщества имели сходный состав.

При этом, динамика количества НОТ при длительной экспозиции в двух зонах была достаточно сходной (рис. 2.40, а). Уже на 20-е сутки количество НОТ было 22—26 и далее оно колебалось около этого количества. В условиях естественных температур сообщества были несколько менее динамичными по составу, а в зоне подогрева, наоборот, для поддержания довольно постоянного уровня таксономического богатства должны были появляться все новые виды (или «возвращаться» обитавшие здесь ранее).

На обеих станциях быстро нарастали показатели численности. На 12 сут экспозиции показатели численности на двух станциях были около 50 тыс. экз/м², далее она существенно не изменялась. На 75-е сутки экспозиции в летний период на ст. 2 была отмечена наибольшая численность — 310 тыс. экз/м², на ст. 1 численность была гораздо ниже — 40 тыс. экз/м².

Существенными были различия в показателях и характере динамики биомассы в разных зонах (см. рис. 2.40, б). Она определялась составом и характером роста доминирующих форм дрейссены в зоне естественных температур и мшанки — в зоне подогрева. Уже на 24-е сутки экспозиции биомасса на ст. 2 была значительно выше, чем на ст. 1 — 10,3 г/м² против 0,8 г/м². Далее различие еще больше увеличивались. На 36-е сутки биомасса на ст. 2 была до 230 г/м², а на ст. 1 — всего 2,1 г/м². Далее эти различия постепенно уменьшались, хотя на 86-е сутки экспозиции на ст. 2 был достигнут пик биомассы — до 1171,0 г/м², в то время как на ст. 1, на водозаборе биомасса достигала только 230 г/м². Далее к 100-суточной экспозиции биомасса на обеих станциях установилась на уровне около 300 г/м². Различия в динамике биомассы определялись характером роста доминирующих видов. На

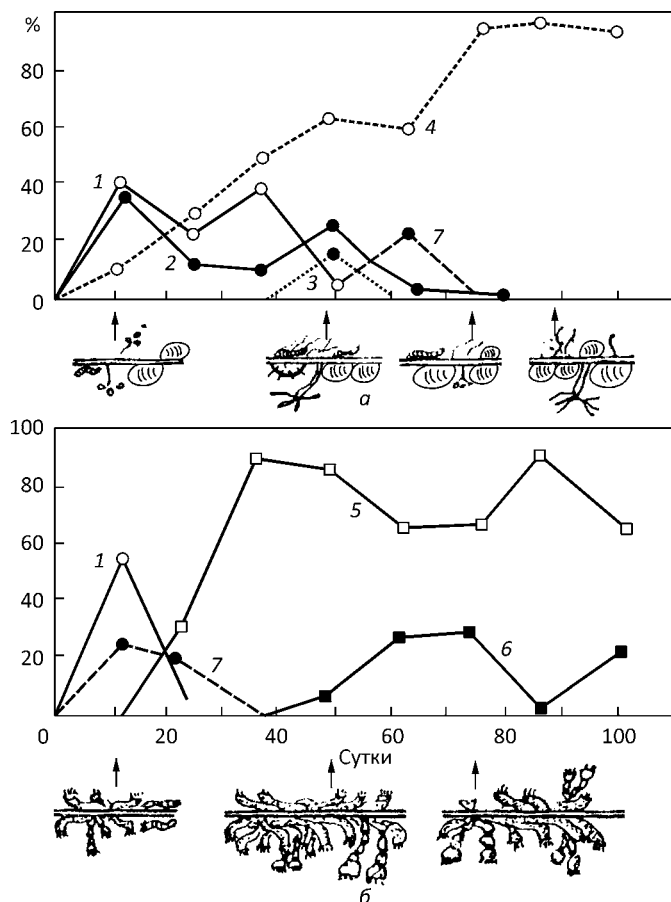


Рис. 2.41. Изменения относительной биомассы (%) беспозвоночных перифитона в районе водозабора ТрТЭС (а) и сброса подогретых вод (б). Схемы пространственной структуры сообществ (стрелками отмечены периоды экспозиции): 1 — Chironomidae; 2 — Oligochaeta; 3 — Hydra; 4 — Dreissena; 5 — Plumatella emarginata; 6 — Urnatella gracilis; 7 — прочие (по: Протасов, 1994)

ст. 1 динамика биомассы в конечном счете зависела от роста дрейссены, на ст. 2 — колоний мшанки.

Можно выделить две стадии формирования сообществ. На первой, которая в данном эксперименте длилась до 30—40 суток, достаточно равномерно были представлены несколько видов, несколько ценопопуляций сообщества. Это были в основном, личинки хирономид разных видов, олигохеты, то есть в сообществе преобладали формы плантона или подвижные формы. Этому периоду соответствует структура сообществ с наибольшим разнообразием.

разием (см. рис. 2.40, в). Далее становится все более заметной роль доминирующих видов — дрейссены в зоне естественных температур и мшанки в зоне подогрева (рис. 2.41). Разнообразие устойчиво снижалось по мере увеличения экспозиции, при этом усложнялась пространственная структура сообществ. Таким образом, сходство структуры, а именно — формирование сообществ консортивного типа с хорошо выраженным доминантом-эдификатором базировалось на совершенно различных по составу доминирующих группах организмов.

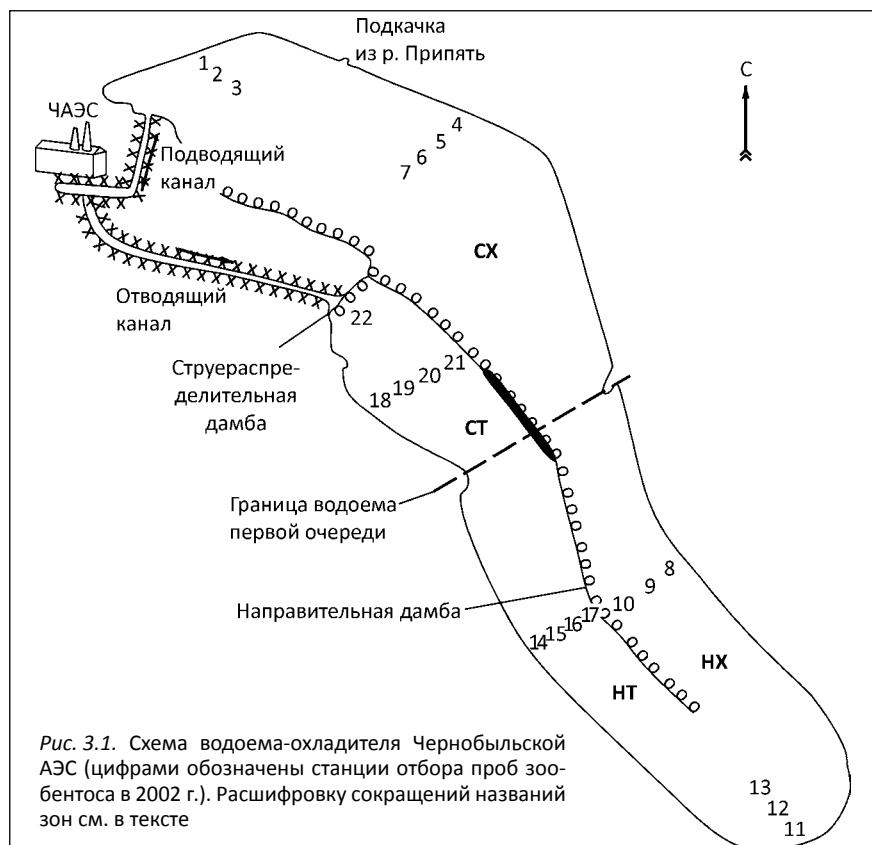
Кроме исследования динамики сообществ, было проведено изучение характера формирования перифитона на субстратах разного качества, из разных материалов. Было установлено, что биомасса беспозвоночных перифитона на нержавеющей стали на ст. 2 была в 214 раз, а на ст. 1 — в 90 раз выше, чем на меди.

Впоследствии при исследовании сообществ перифитона в водоемах-охладителях, других техно-экосистемах, было показано, что закономерности, установленные в районе ТрТЭС, во многом имеют общий характер для других техно-экосистем (Гидробиология..., 1991; Протасов, 1994).

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ВОДОЕМА- ОХЛАДИТЕЛЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Водоем-охладитель *Чернобыльской АЭС* (ЧАЭС) искусственно создан в результате обвалования участка правобережной поймы р. Припять, где находились старое речное русло, несколько мелких озер и песчаный карьер и заполнен речной водой. Береговая дамба, окружающая почти весь водоем, построена из песка, ее высота в среднем составляет 5,7 м, больше трети берега укреплено каменной наброской. Зеркало водоема находится на 6—7 м выше уровня р. Припять, в результате чего происходит фильтрация воды через дамбу.

Водоем сооружался в два этапа: вначале его площадь составляла 12,7 км² при объеме 59,2 млн. м³. После пяти лет существования первой очереди, в 1982 г. площадь охладителя была увеличена в 1,7, а объем — в 2,5 раза, его площадь составила 21,7 км², объем — 149 млн. м³ (Кафтанникова и др., 1987). В настоящее время ширина водоема составляет 2,0 км, средняя глубина — 6,6 м, максимальная — более 18 м. По центру водоема сооружена направительная дамба (НД). В период функционирования АЭС (второй очереди) общая длина пути водных масс от выхода из отводящего канала к водозабору составляла 18,4 км. Дамба делила водоем на «холодную» (северо-восточную) и «теплую» (юго-западную) части. В соответствии с этапами строительства и эксплуатации, в охладителе были выделены следующие зоны: «старая теплая» (СТ) — прилегающая к отводящему



каналу, далее по ходу циркуляционного потока — «новая теплая» (НТ), «новая холодная» (НХ) и «старая холодная» (СХ) зоны. В конце отводящего канала переливная струераспределительная дамба (СРД) служила для формирования растекающегося поверхностного потока теплой воды (рис. 3.1).

На протяжении 1978—1981 гг. на ЧАЭС функционировало два блока, при этом расход воды на охлаждение составлял до $200 \text{ м}^3/\text{с}$, в 1982—1984 гг. были введены еще два энергоблока. После аварии на 4 энергоблоке в 1986 г. было проведено последовательное выведение из эксплуатации 2 (в 1991 г.) и 1 (в 1996 г.) энергоблоков. После прекращения работы станции (остановки 3-го блока) в декабре 2000 г. в охладитель продолжают подкачивать воду для компенсации потерь на фильтрацию ($120 \text{ млн. м}^3/\text{год}$) и испарение ($45 \text{ млн. м}^3/\text{год}$) (Модельні групи..., 2002).

Вода в охладителе умеренно жесткая, концентрация ионов кальция составляла $46,1\text{—}58,0 \text{ мг/дм}^3$, рН колебалось от 7,4 до 8,5 (Кафтанникова и др., 1987). В период 1995—2000 гг. концентрация ионов кальция вырос-

ла в 1,7 раза. Химический состав воды зон с разным подогревом несколько отличался: концентрация ионов аммония была выше в «холодной», чем в «теплой» (соответственно 0,66 и 0,57 мг/дм³), фосфатов — наоборот (соответственно 0,068 и 0,177 мг/дм³).

В период работы ЧАЭС динамика водных масс в охладителе определялась режимом работы и гидрометеорологическими условиями. Средняя для водоема скорость стокового течения составляла 2,6 см/с и водные массы через водоем (от канала к каналу) двигались немногим более 8 суток. Ветер влиял лишь на верхний слой воды, снижая или увеличивая среднюю скорость, но не изменял общий характер течений. Скорости ветровых течений в верхнем слое воды (0—1 м) достигали 20—30 см/с (Гидробиология..., 1991).

В период работы ЧАЭС температура воды в водоеме постоянно подогревалась на 8—10 °С относительно естественной. В 1998—2000 гг., в связи с нестабильной работой ЧАЭС, температура в охладителе испытывала постоянные изменения. После 2000 г. температурный режим водоема не отличается от такого для естественных водоемов.

При гидробиологических исследованиях в охладителе (Кафтанникова та ін., 1982; Кафтанникова и др., 1987) выделяли несколько температурных зон — сильно подогреваемая (прилегающая к району сброса); умеренно подогреваемая (центральная часть) и зона наименьшего подогрева, где смешиваются воды, подкачиваемые из р. Припять.

Рельеф дна в охладителе неровный, с многочисленными углублениями, около 28 % приходится на глубины более 10 м. Донные отложения представлены песками, супесками и суглинками, в глубоких замкнутых котловинах преобладают глинистые илы (Гидробиология..., 1991).

Исследования **зообентоса** водоема-охладителя ЧАЭС в доаварийный период проводили в 1980—1984 гг.¹ Распределение организмов зообентоса в этот период было исследовано по всей акватории водоема с учетом локализации различных типов грунтов (Кафтанникова и др., 1987, Гидробиология..., 1991). В зообентосе было отмечено 13 групп беспозвоночных, количество таксонов (НОТ) колебалось в пределах 29—32. Наибольшим видовым разнообразием характеризовались олигохеты (15 НОТ), личинки хирономид (14), ракообразные (5) и моллюски (8 НОТ), из дрейссенид в охладителе обитала только *Dreissena polymorpha* (Гидробиология..., 1991). Коэффициент сходства видового состава в «теплой» и «холодной» зонах был достаточно высоким. В охладителе на всех грунтах развивались в основном олигохеты и личинки хирономид, встречались моллюски (*Dreissena* и *Pisidium*), и только на первичных грунтах развивались гаммариды и изоподы.

Среднегодовой уровень развития «мягкого» зообентоса в 1979—1981 гг. достигал 0,94 г/м², с учетом моллюсков — 249,12 г/м². При расширении водоема уровень развития «мягкого» зообентоса составлял 0,14—0,30 г/м² с тенденцией снижения от 1982 к 1984 г., основу биомассы в большинстве случаев составляли Chironomidae и Oligochaeta. Резко снизились показатели обилия моллюсков, особенно дрейссены. На илах зообентос был представ-

¹ Исследования проводились О.Г. Кафтанниковой и Н.Г. Паньковой.

лен в основном Oligochaeta и Chironomidae. Моллюски локально встречались в виде отдельных экземпляров или небольших друз дрейссены.

Показатели обилия донных животных водоема снижались с увеличением срока эксплуатации охладителя (Кафтанникова и др., 1987), а также в пространственном аспекте — от подводящего канала (зона наименьшего подогрева) к отводящему.

В центральной части биомасса возрастала в ранневесенний период и снижалась до минимума летом (температура у дна более 25,2—27,8 °C), а среднегодовые показатели обилия зообентоса были наименьшими.

В районе водозабора ЧАЭС наименьший подогрев определял наибольшие средние показатели численности и биомассы зообентоса, среднегодовая численность зообентоса составляла 2,35 тыс. экз/м², биомасса — 0,97 г/м².

В зоне сброса подогретых вод динамика биомассы зообентоса характеризовалась более высокими показателями в осенне-зимний период и минимальными — в летний, что объяснялось температурным режимом (в июне — июле 1980 г. у дна температура достигала 23,0—30,2 °C, зимой — 13—17 °C, осенью не выше 25 °C). В зоне подогрева среднегодовая численность была подобной относительно зоны водозабора, а биомасса — ниже на 30 %.

После длительного перерыва, связанного с аварией на ЧАЭС, исследования зообентоса водоема-охладителя ЧАЭС были проведены в период перед остановкой энергоблоков АЭС и в следующий вегетационный сезон после их остановки в 1999—2001 гг. (Лукашев, 2001; Лукашев, Северенчук, 2004). В этот период в зообентосе отмечен 61 НОТ беспозвоночных из 11 групп. Наибольшим видовым богатством характеризовались личинки хирономид — 23 НОТ, олигохеты — 12, моллюски — 10 и ракообразные — 7 НОТ. В доаварийный период в водоеме доминировала *D. polymorpha*, в 1990 г. в охладителе была отмечена *D. bugensis*, а после 2000 г. на большей части водоема дрейссена бугская стала доминировать (Лукашев, 2001, Протасов и др., 2003). После снятия термической нагрузки на водоем дрейссена распространилась и в бывшей «теплой» части охладителя, где ранее этот моллюск отсутствовал.

Наименьшая биомасса бентосных поселений дрейссены в августе 2000 г. отмечена в «старой» холодной (1668 г/м²), а наибольшая (10352 г/м²) — «старой» теплой части охладителя (Модельні групи..., 2002). Анализ распределения двух видов дрейссены по зонам водоема в 1999 г. показывает, что бугская встречалась в холодной части, а полиморфная как в теплой, так и в холодной, а доминировала — только в теплой.

В 2001 г. показатели обилия зообентоса снижались в направлении от водозабора к сбросу. Так, в начале мая 2001 г. на бывшем участке наименьшего подогрева численность «мягкого» зообентоса составляла 1133 экз/м², биомасса — 7,02 г/м², в зоне умеренного подогрева — 683 экз/м² и 4,78 г/м², соответственно, в зоне максимального подогрева — 530 экз/м² и 2,43 г/м².

Исследование зообентоса охладителя в июле и октябре 2002 г. проводили на 7 разрезах (трансектах), на 22 станциях в направлении от берега — на глубине 0,5—0,8 м (h1) (ст. 4, 14, 18), 2,5—3,5 м (h2) (ст. 1, 5, 8, 11, 15, 19),

3. Контурные группировки техно-экосистем атомных электростанций

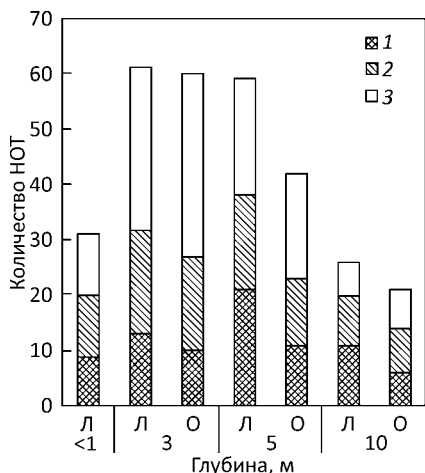


Рис. 3.2. Распределение количества НОТ зообентоса по глубинным горизонтам водоема-охладителя Чернобыльской АЭС, летний (Л) и осенний (О) периоды 2002 г.: 1 — Oligochaeta; 2 — Chironomidae; 3 — прочие

4,5—5,7 м (h3) (ст. 2, 6, 9, 12, 16, 20, 22) и 10 и более метров (h4) (ст. 3, 7, 10, 13, 17, 21) (см. рис. 3.1), кроме того, в районе подводящего (ПК) и отводящего (ОтК) каналов и на промежуточном участке между НХ и НТ (разрез на оголовки направительной дамбы (НД))¹.

Состав зообентоса водоема-охладителя ЧАЭС в этот период был достаточно богатым, всего отмечено

93 НОТ из 18 групп — летом и 79 НОТ из 17 групп — осенью. Наиболее богато представленными в таксономическом отношении как летом, так и осенью были олигохеты (29 и 18 НОТ) и личинки хирономид 26 и 25 НОТ, соответственно), отмечены также турбеллярии, нематоды, гидры, пиявки, остракоды, гаммариды, мизиды, корофииды, клещи, личинки поденок, жуков, мокрецов и ручейников, брюхоногие и двустворчатые моллюски (в том числе два вида дрейссены). Турбеллярии летом были найдены только на глубине 3 м в зонах СХ и НХ, представители сем. Enchytraeidae, *Chaetogammus warpachowskyi*, *Orthotrichia tetensis* — только в поясе 0,5—0,8 м (Протасов, Силаева, 2006).

На глубине 5 м летом не зарегистрированы личинки мокрецов, мизиды и турбеллярии, а на глубине 10 м — брюхоногие моллюски и дрейссена, личинки поденок и ручейников, гидры. *D. bugensis* зарегистрирована на всех трансектах на глубине до 5 м, *D. polymorpha* — в зонах СХ и НХ — только на глубине 3 м (за исключением трансекты 2 и 4), а в зонах СТ и НТ — только на глубине 5 м.

В бассейне р. Припять и в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС сравнительно недавно была найдена *Ferrissia fragilis*² (Semenchenko, Laenko, 2008), вид-вселенец американского происхождения, он встречается также в низовьях крупных рек северного Причерноморья и их лиманах (Сон, 2007).

Общее количество видов летом на глубине 1—3 м изменялось от 33 до 63, затем незначительно снижалось до 61 вида — на 5 м и достаточно сильно уменьшалось на глубине 10 м (26 НОТ). При этом, максимум видового богатства олигохет отмечен на глубине 5 м, а личинок хирономид — на глубине 3-х метров (рис. 3.2). Осенью тенденция снижения количества НОТ

¹ Пробы в ходе экспедиционных работ были отобраны А.А. Протасовым и Д.В. Лукашевым. Частичное определение беспозвоночных проведено Д.В. Лукашевым.

² Мы не исключаем, что этот вид присутствовал в водоеме и ранее и часть отмеченных моллюсков *Acroloxis lacustris* могли быть *Ferrissia* sp.

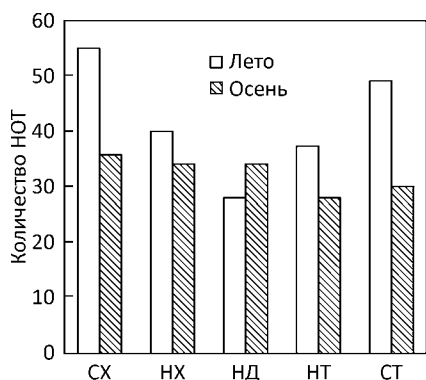


Рис. 3.3. Распределение количества НОТ зообентоса по зонам водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в летний и осенний периоды 2002 г.

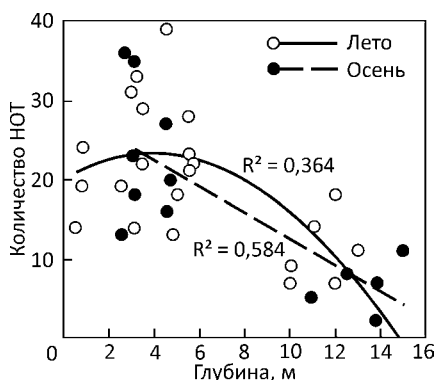


Рис. 3.4. Зависимость количества НОТ зообентоса от глубины в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС в летний (сплошная линия) и осенний (пунктир) периоды 2002 г.

по горизонтам сохранялась, количество НОТ на глубине 3 м было подобным, значительным был вклад в таксономическое богатство брюхоногих моллюсков (6 НОТ), ракообразных — гаммарид (5) и корофид (4) и личинок насекомых, кроме хирономид (7 НОТ).

Распределение таксономического богатства в каждом глубинном поясе по всему водоему летом имело свои особенности. На глубине 5 м от района ПК к СТ количество НОТ увеличивалось от 18 до 38, снижаясь затем до 13 НОТ у отводящего канала. На глубине 3 м зависимость оказалась обратной — в зонах СХ и НХ значения видового богатства были близки к 30 НОТ, а в СТ и НТ — они снижались до 14—22 НОТ. И на максимальной глубине (10 м), от зоны подводящего канала к зоне НХ отмечено увеличение богатства видов, а затем к зоне СТ — снижение.

По зонам количество таксонов летом уменьшалось от зоны СХ к НД, а затем увеличивалось — к зоне СТ. Осенью такая зависимость была менее выражена (рис. 3.3).

Таксономическое богатство зообентоса, как летом, так и осенью, зависело от глубины и зоны водоема (рис. 3.4). Летом таксономическое богатство изменялось по унимодальной зависимости: от глубины 0,5—0,8 м количество НОТ росло к глубинам 3—5 м, а затем достаточно сильно снижалось к глубине 10 м. Поскольку осенью исследования на малых глубинах не проводили, вероятно, зависимость также имела куполообразный вид.

Таксономическое разнообразие в среднем составляло $2,4 \pm 0,1$ бит/таксон, наиболее высоким было на глубине 3 м практически на всех станциях, причем с некоторым снижением значения индекса от водозабора к отводящему каналу. На глубине 5 м индекс Шеннона был несколько ниже — 2,1—2,8 бит/таксон, отмечена тенденция некоторого увеличения индекса от водо-

забора к отводящему каналу, количество групп здесь было близким к такому на глубине 3 м. Глубины 3 и 5 м характеризовались наличием гидр и брюхоногих моллюсков, на других глубинах эти группы зарегистрированы не были. Самым низким индекс Шеннона был на глубине 10 м — $1,5\text{--}2,0$ бит/таксон, количество групп на этой глубине было самым низким — 4—6.

Средняя численность зообентоса летом по глубинным горизонтам охладителя ЧАЭС изменялась следующим образом: на глубине 0,8—1 м она составляла 8880 ± 4240 экз/м², на глубине 3 м — увеличивалась до 38126 ± 7929 , а затем последовательно снижалась до 14673 ± 6598 (на 5 м) и до 4000 ± 740 экз/м² (на 10 м). На глубине 3 м по ходу прежнего подогрего потока происходила смена доминантов по численности: в «теплой» зоне водоема доминировали остракоды и нематоды, в «холодной» — корофииды и дрейссена. На глубине 5 м в зонах НХ и НТ также доминировала дрейссена, а в НТ и СТ — остракоды, тубифициды, корофииды и личинки хирономид в разных комбинациях. На глубине 10 м численность зообентоса определяли тубифициды.

В целом на глубине 3 м численность снижалась от зоны СХ к зоне НТ, а затем увеличивалась в зоне СТ. На глубине 5 м численность возрастала от подводящего канала к зоне НХ и от зоны НТ к СТ, снижаясь в районе НД (рис. 3.5).

Средняя биомасса для горизонтов 0,5—0,8 м и 10 м была очень близкой — соответственно $2,37 \pm 0,74$ г/м² и $2,28 \pm 0,49$ г/м², в первом случае доминировали личинки хирономид нескольких видов, во втором — *C. plumosus*.

На двух других глубинах (соответственно 3 и 5 м) в среднем биомасса также мало отличалась: $1898,11 \pm 919,07$ г/м² и $1132,02 \pm 716,02$ г/м². А по глубине и по зонам общая биомасса изменялась симметрично относительно распределительной дамбы. На глубине 3 м в «холодной» зоне охладителя средняя биомасса зообентоса составила $3792,85 \pm 795,80$ г/м², а в других зонах — всего $3,36 \pm 0,62$ г/м². При этом в «теплой» зоне доминировали личинки хирономид, в «холодной» — дрейссена.

На глубине 5 м наоборот, в «теплой» зоне биомасса была значительно больше, чем на других трансектах — $2634,35 \pm 1270,40$ г/м² (см. рис. 3.5). Наличие дрейссены определяло уровень биомассы, на станциях где моллюск отсутствовал доминировали тубифициды, остракоды и корофииды.

Высокую биомассу зообентоса на глубине 3 и 5 м определяли моллюски, в основном — *Dreissena bugensis*. Такое распределение биомассы зообентоса является еще отображением особенностей распределения дрейссены в условиях функционирующего водоема-охладителя, то есть наличия подогрева. В период вселения и распространения дрейссены бугской по водоему, она избегала зоны наибольшего подогрева (Модельні групи..., 2002).

Преобладание *D. bugensis* над *D. polymorpha* по количественным показателям было очень значительным. Последняя встречалась на 44 % станций, всегда вместе с *D. bugensis*, причем ее доля в численности двух видов составляла лишь от 2,0 до 25,5 %. Преобладание *D. bugensis* по биомассе составляло до 99 %.

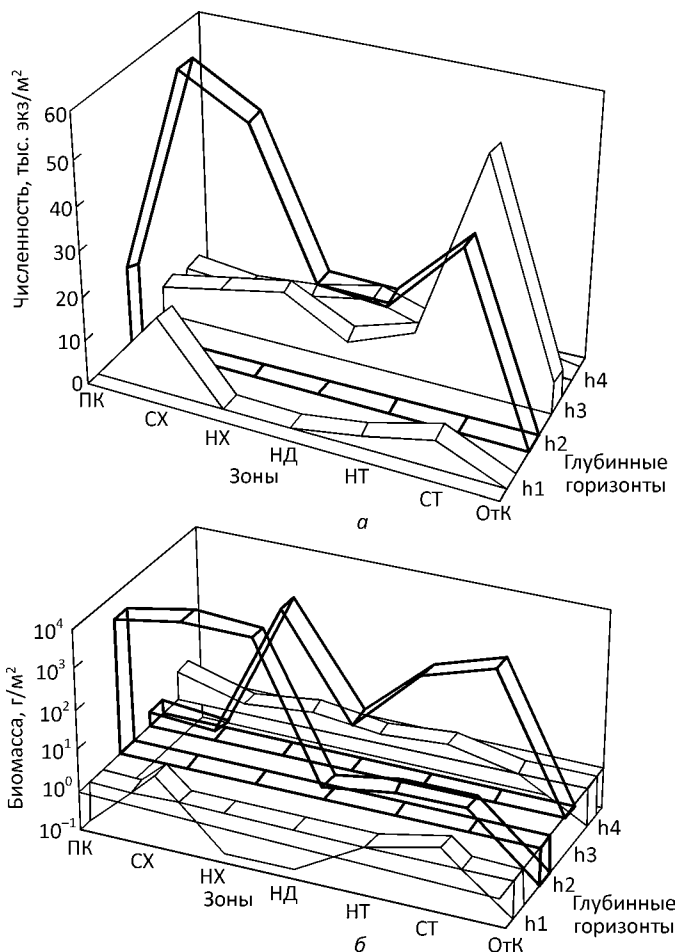


Рис. 3.5. Распределение численности (а) и биомассы (б) зообентоса по зонам и глубинным горизонтам водоема-охладителя Чернобыльской АЭС, летний период 2002 г.

Плотность поселений дрейсены, а следовательно ее биомасса, в известной мере влияет на количественные характеристики видов-консортов (Протасов, 2006). На исследованных станциях увеличение биомассы дрейсены (максимально до 5 кг/м^2) определило рост численности консортов, коэффициент положительной корреляции между этими показателями составил 0,59.

Биомасса «мягкого» зообентоса была достаточно сходной на всех глубинах (около $2\text{--}4 \text{ г/м}^2$), лишь на глубине 3 м была выше на порядок — $11,6 \pm 6,16 \text{ г/м}^2$, за счет Corophiidae и Gammaridae.

Диапазон колебаний показателей разнообразия по численности на отдельных станциях был от 1,450 до 3,817 бит/экз., выравненность от 0,450 до 0,830 (в среднем — 0,643). Диапазон показателей разнообразия по биомассе был очень большим — от 0,007 до 3,523 бит/г, выравненность по биомассе была от 0,020 до 0,790 (в среднем 0,471). Наличие дрейссены на глубинах 3—5 м определяло высокие показатели разнообразия по численности и низкие по биомассе. Для показателя видового разнообразия по численности была характерна тенденция снижения от горизонтов 3 и 5 м к глубине 10 м. Поле точек значений показателя разнообразия по биомассе имело характерный вид со снижением от малых глубин к глубине 5 м, а затем с увеличением — на больших глубинах. Кроме того, на глубине 3 м четким было снижение показателя разнообразия по численности от «холодной» к «теплой» зоне и возрастание разнообразия по биомассе в этих зонах.

Осенью средние значения численности зообентоса на глубине 3 м составляли 48115 ± 16987 экз/м², от 14,1 до 26,4 % общей численности составляли Ostracoda, Corophiidae, Dreissenidae, Chironomidae. На глубине 5 м средняя численность была ниже более чем в 2 раза (20222 ± 9945 экз/м²) при доминировании Dreissenidae (69,8 %). На наибольших глубинах средняя численность снижалась до 1524 ± 464 экз/м² при доминировании олигохет (44,9 %) и личинок хирономид (34,7 %). Таким образом, порядок величин численности зообентоса и распределение по глубинным поясам был сходным с таковыми летнего периода.

На глубине 3 м средняя биомасса составляла 273,9 г/м² при доминировании *D. bugensis*, отмечено уменьшение биомассы от зоны СХ к зоне СТ — от 1333 до 1,03 г/м², т. е. биомасса в этом глубинном горизонте снизилась относительно лета достаточно значительно.

В глубинном поясе h3 (глубина 5 м) средняя биомасса зообентоса сохранилась достаточно высокой — 1977,8 г/м² и того же порядка, что и летом. А на глубине 10 м средняя биомасса была минимальной относительно других горизонтов — 18,6 г/м², однако была больше, чем летом. Это объясняется обнаружением здесь *D. bugensis* (14,1 г/м², 75 % общей биомассы). Как и летом, по показателям обилия двух видов дрейссенид доминировала *D. bugensis*.

По акватории водоема на глубине 3 и 5 м биомасса зообентоса четко снижалась от зоны СХ к зоне СТ. Для глубинного горизонта 10 м такую тенденцию выявить не удалось.

Значения индекса Шеннона (по биомассе) по станциям колебались от 0,134 до 3,417 бит/г.

Уровень сходства состава зообентоса по Серенсену, превышающий 0,50, летом имели около 15 % сравниваемых пар. При этом значительным сходством (>0,60) обладали всего семь пар группировок зообентоса на станциях, т. е. состав зообентоса в отдельных местообитаниях отличался значительным своеобразием. По сходству состава выделялись станции малых глубин и глубины 3 м в зонах СХ и НХ, а также глубины 5 м в зонах НТ и СТ. Сходство станций малых глубин и глубины 3 м, обнаруженное в зонах СТ и НТ, отсутствует в зонах СХ и НХ. Это же отмечается и при оценке сходства по Смирнову.

Сходство между станциями на глубине 3 м в зонах СХ, НХ и НТ, СТ связано с доминированием дрейссены и сходством состава зообентоса здесь в целом. Это позволяет выделить несколько сообществ, которые различаются по своим параметрам довольно существенно (табл. 3.1). Расположение сообществ **C. mancus + S. histrio + L. naticoides + D. bugensis + Ostracoda (I); D. bugensis + Corophiidae + Ostracoda (II) и D. bugensis + Tubificidae + Ostracoda + Nematoda (IV)** практически по всему периметру водоема свидетельствует о том, что последствия подогрева, который определял зональность на участках, мало сказывается на распределении организмов в целом.

Количество таксономических групп было максимальным в сообществе I. Соседствующие по глубине сообщества I и II имели 11 общих групп, но только в сообществе II присутствовали Turbellaria, Ephemeroptera и Hydrozoa, а в сообществе I — Mysidacea, личинки Coleoptera и Diptera (кроме Chironomidae) и Hydracarina. Наибольшим количеством видов представлены Oligochaeta и Chironomidae. Довольно стабильным было среднее количество видов в таксономической группе — от 3,0 до 4,8. Оценка таксономического разнообразия, рассчитанного по индексу Шеннона, показала, что в сообществах I и II оно было выше и зависело от количества таксономических групп, поскольку выравнимость была близкой — от 0,75 до 0,81. Это означает, что снижение количества таксономических групп происходило параллельно со снижением видового богатства в них.

Обращает на себя внимание значительное (на 3 порядка) отличие биомассы в сообществе II от остальных. Высокая биомасса здесь определяется присутствием моллюсков *D. bugensis* (3141 г/м²), *D. polymorpha* (39 г/м²), а также молоди дрейссены (18 г/м²). В зонах СТ и НТ, испытывавших влияние подогрева, сообщество II локализовано на больших глубинах, что связано, вероятнее всего, с термическим режимом в предыдущие периоды существования водоема. Поселения дрейссены создают благоприятные условия для других организмов бентоса. Так, в сообществе II биомасса прочих организмов (без двусторчатых моллюсков) была 13,9 г/м², что на порядок выше, чем в других группировках, где дрейссена либо отсутствовала, либо не была в числе доминантов. Это же можно сказать и о численности, которая без двусторчатых моллюсков достигала 25540 экз/м² в сообществе II, что на порядок выше, чем в сообществах IV и V.

В промежуточной зоне (между зонами НТ и НХ) локализовано сообщество IV, где также доминировала *D. bugensis*. Однако биомасса ее была всего 14,1 г/м², отсутствовали гаммариды и корофииды, в целом видовое богатство было небольшим. Сложно утверждать, что эта группировка, занимающая островное положение в группировке II является устойчивым образованием, однако особенности ее структуры указывают на определенную специфику условий в промежуточной зоне.

На минимальных и максимальных глубинах в структуре сообществ I и V при совершенно разных составах группировок отмечено значительное сходство в структуре доминирования, показателях обилия (кроме численности).

Наибольшими суммарными тратами на обмен — 2,9 кДж/м² · ч характеризовалось сообщество II, в котором более 90 % общего потребления кислорода

Таблица 3.1. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса в водоеме ЧАЭС в летний период 2002 г.

№	Сообщества	Локализация, ст.	$N \pm m$	$B \pm m$	$R \pm m$	Разнообразие		Количество HOT
						H_N	H_B	
I	C. mancus + S. histrio + L. naticoides + D. bugensis + Ostracoda	4, 11, 14, 15, 18, 19	19600 ± 5715	2,87 ± 0,48	58,09 ± 9,39	2,762	4,046	52
II	D. bugensis + Corophiidae + Ostracoda	1, 5, 8, 9, 16, 20	35703 ± 10282	3213,60 ± 718,70	2904,94 ± 632,40	4,129	0,202	67
III	C. curvuspinnus + P. ferrugineus + Tubificidae + Ostracoda	2, 6	6933 ± 1289	2,02 ± 0,29	37,62 ± 7,23	3,460	3,723	31
IV	D. bugensis + Tubificidae + Ostracoda + Nematoda	12	4556	15,53	39,28	3,394	1,007	24
V	C. plumosus + Tubificidae	3, 7, 10, 13, 17, 21, 22	4519 ± 812	2,17 ± 0,43	29,64 ± 4,57	2,714	2,710	28

Примечание. Здесь и в табл. 3.2, 3.7: N, экз/м², B, г/м², R, Дж/м² · ч, H_N, бит/экз., H_B, бит/г.

приходилось на долю фильтраторов. В сообществе IV общий уровень трат на обмен был на два порядка ниже и на долю фильтраторов и собирателей приходилось по 45 % общего потребления кислорода. В сообществе III доля собирателей становится еще больше — 79 %, кроме того, 19 % общего потребления кислорода занимали хищники. А в сообществах I и V подавляющее доминирование (соответственно 88,6 и 90,5 %) было характерно для собирателей.

При сравнении ранжированного распределения обилия (рис. 3.6) в сообществе II, при значительном доминировании дрейссены, до восьмого ранга сохранялись существенно большие показатели численности и биомассы, в то время как в других сообществах после третьего—четвертого они довольно резко снижались. Отличным от других было доминирующее ядро сообщества II, в котором второй—четвертый ранги занимали Corophiidae, Oligochaeta и Gammaridae. Во всех других сообществах в это ядро по численности входили Ostracoda, Chironomidae и Nematoda.

Для сообщества I характерна высокая выравненность, десять групп имели более 1 % общей биомассы. В то же время в сообществе II 99,5 % общей биомассы занимали дрейссениды, в основном *D. bugensis*. Сообщества в порядке снижения выравненности по численности можно расположить в следующий ряд: II, IV, III, I, V, по биомассе — I, III, V, IV, II.

Наименьшей вариабельностью обилия отличалось сообщество III вследствие его пространственной компактности и большей однородности показателей. Сообщества I и II, которые занимали достаточно протяженные биотопы, были очень вариабельны по численности, но гораздо менее — по деструкции. Однако, скорее всего, не размер биотопа, а биологическая неоднородность определяла степень вариабельности показателей обилия. Так, сообщество V, занимавшее самый большой по площади глубоководный биотоп, характеризовалось наименьшим диапазоном коэффициента вариации показателей обилия, которые в целом были относительно невелики.

Для сообществ установлена прямая зависимость между видовым и групповым разнообразием, хотя количество групп было сокращено за счет введения «прочих» — сборной группы, куда вошли таковые с малым обилием и редко встречающиеся. Коэффициент корреляции между видовым и групповым разнообразием составил 0,841 (по численности) и 0,739 (по биомассе).

Таким образом, списки низших определяемых таксонов (NOT) вполне корректно отражают видовую структуру. Кроме того, высокая корреляция отмечена и для значений видового и таксономического разнообразия ($r = 0,884$). Эта зависимость свидетельствует о том, что возрастание общего богатства видов происходит более или менее равномерно во всех группах (высших таксонах), либо появляются новые группы со своим богатством видов, которое опять же невелико.

Осенью, как и летом, достаточно хорошо выделялось сообщество зообентоса на глубине более 10 м. Оно имело небольшое количество видов, которые были представлены относительно небольшими показателями численности и биомассы (табл. 3.2).

Наибольшие показатели численности и биомассы отмечены в сообществах дрейссены, причем на глубине 3 м в сообществе VI отмечена максималь-

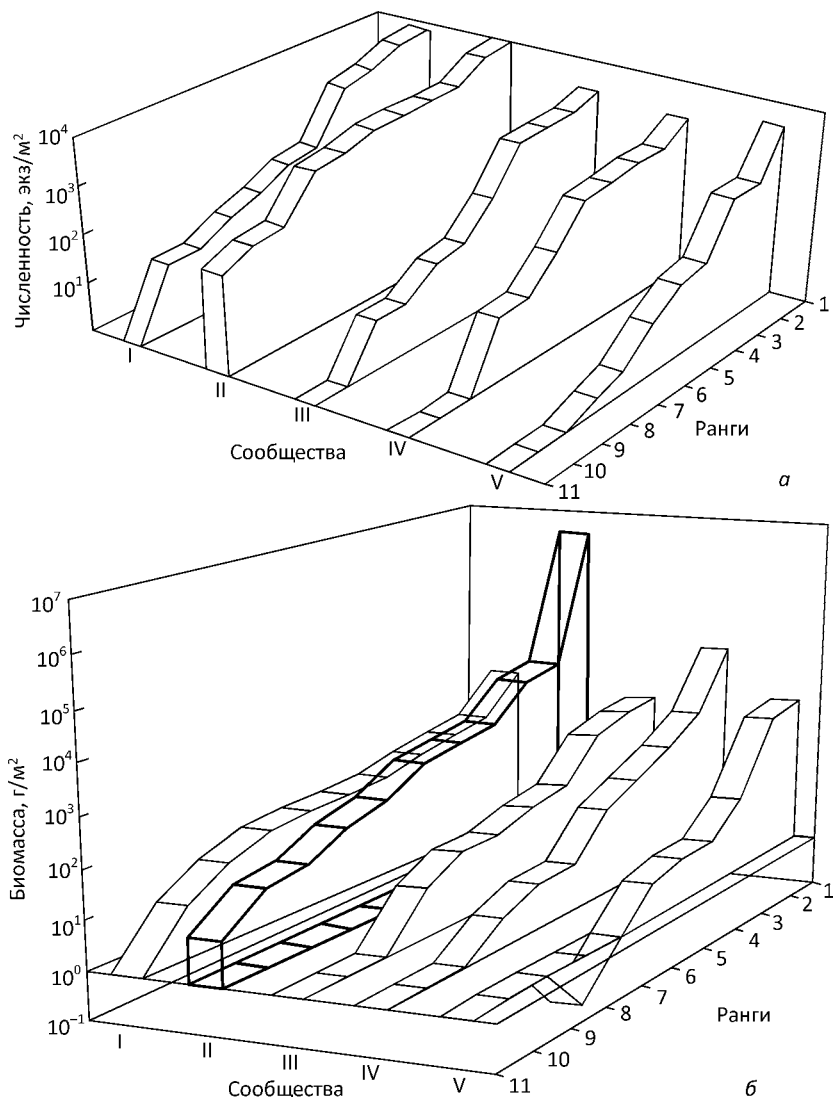


Рис. 3.6. Ранжированное распределение численности (а) и биомассы (б) групп зообентоса в пяти сообществах водоема-охладителя Чернобыльской АЭС, летний период 2002 г.

ная численность, а в сообществе VII на глубине 5 м — максимальная биомасса. Следует отметить, что сообщество VI, выделенное осенью, вероятно, является модификацией сообщества II, они характеризуются сходными биотопами, количеством видов и численностью, сообщество VI только характе-

Таблица 3.2. Структурные характеристики сообществ зообентоса в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС, осенний период 2002 г.

Сообщества		Локализация, ст.	$N \pm m$	$B \pm m$	Разнообразие		Количество НОТ
					H_N	H_B	
VI	<i>D. bugensis</i> + <i>Ostracoda</i> + <i>Corophiidae</i>	5, 8, 11, 15, 19	48115 ± 16987	273,90 ± 264,90	3,680	0,747	62
VII	<i>D. bugensis</i>	12, 20, 22	20222 ± 9945	1977,80 ± 1725,29	2,228	0,159	41
VIII	<i>D. bugensis</i> + <i>Tubificidae</i> sp. + <i>C. plumosus</i>	7, 10, 13, 17, 21	1524 ± 464	18,59 ± 16,85	3,304	1,177	21

ризуется меньшей биомассой. Уменьшение показателей видового разнообразия по численности связано как с уменьшением видового богатства, так и с доминированием дрейссены. Сообщество на глубине 10 м характеризовалась наименьшими показателями обилия и полидоминантной структурой по численности — тубифициды составляли 22 % общей численности, нематоды и *Chironomus plumosus* — по 16 %.

В период исследований (2002 г.) в сезонном аспекте таксономический состав зообентоса изменился мало — общее количество НОТ было сходным, максимальным количеством НОТ были представлены те же группы — олигохеты и личинки хирономид. Количество НОТ в оба сезона зависело от глубины и зоны охладителя — наибольшим богатством характеризовались глубины 3 и 5 м, наименьшим — 10 м, т. е. зона с глубинами 3—5 м может рассматриваться как наиболее благоприятная для развития зообентоса в водоеме, кроме того биотический фактор (наличие дрейссены) также положительно отразился на поддержании высокого таксономического богатства.

В распределении численности по протяжности горизонтов одной глубины прослеживается тенденция роста ее на полюсах прежнего термоградиента.

Осенью отмечено уменьшение средней биомассы на глубинном горизонте 3 м, уровень этого показателя на глубине 5 м остался на уровне летнего, биомасса на глубине 10 м возросла за счет обитания здесь дрейссены, вероятно временного.

Общие по водоему показатели обилия осенью отличались от таких в летний период. Как и в летний период, наибольшие показатели численности и биомассы отмечены в сообществе дрейссены. Если летом численность в сообществе *Dreissena bugensis* была около 36 тыс. экз/м², то осенью немного уменьшилась и к тому же стала очень неоднородной.

Уменьшение показателей видового разнообразия по численности связано как с уменьшением видового богатства (летом в этом сообществе было отмечено 67 видов и форм, осенью — 42), так и с ростом доминирования дрейссены.

Сообщества с доминированием *D. bugensis*, ракообразных, личинок хирономид, гидр, брюхоногих моллюсков летом занимали зону литорали,

имели большое видовое богатство, высокие показатели обилия. Их отличало разнообразие структуры доминирования, пространственного распределения показателей обилия. Глубинную зону занимала достаточно гомогенная по структуре группировка с доминированием *C. plumosus* с небольшим видовым богатством и количественными показателями.

Практически с такой же локализацией как и летом — осенью выделено сообщество на глубинах более 10 м. Но, если летом на больших глубинах полностью доминировали личинки *C. plumosus*, то осенью его численность составляла всего 16 % от общей. Показатели численности зообентоса на больших глубинах несколько уменьшились, но биомасса значительно возросла — от 2,2 до 18,6 г/м². На глубине 3 м осенью выделены сообщества зообентоса с доминированием по численности остракод, личинок хирономид и дрейссены. Его общая численность была близкой к численности сообщества с доминированием остракод летом — 18,1 и 19,6 тыс. экз/м². Таким образом, в осенний период в целом сохранилась структура сообществ, подобная к летнему периоду.

В многолетнем аспекте биомасса дрейссены снизилась относительно 1998—2001 гг. и в среднем по ВО в 2002 г. составляла лишь 1,6 кг/м². Количественные показатели «мягкого» зообентоса выросли относительно этого же периода: пределы колебаний численности составили 2024—56200 экз/м², биомасса — 0,90—39,12 г/м² (в среднем 5,35 г/м²).

В 2002 г. количество НОТ зообентоса увеличилось в три раза относительно доаварийного периода, а биомасса дрейссены снизилась в 6—8 раз. Количественные показатели «мягкого» зообентоса выросли относительно доаварийного периода и оставались относительно стабильными на протяжении 1999—2002 гг. Таким образом, развитие зообентоса ЧАЭС прошло несколько периодов — эксплуатация ВО первой и второй очереди в доаварийный период, нестабильная эксплуатация в послеаварийный и период после выведения АЭС из эксплуатации. За эти периоды отмечены некоторые поступательные изменения обилия, можно констатировать увеличение богатства зообентоса и на период исследований (в 2002 г.) оно было максимальным.

* * *

Распределение организмов *зооперифитона* в водоеме-охладителе ЧАЭС в доаварийный период было подробно исследовано на всем протяжении берега и дамб, где имелись твердые субстраты: от подводного канала, каменной наброски укрепления берегов и направительной дамбы, до струераспределительной дамбы и подводного канала (Кафтанникова та ін., 1982; Протасов и др., 1983а; 1983б; Афанасьев, Протасов, 1987; Protasov, Afanasyev, 1986) ¹.

Следует отметить, что сама конструкция водоема-охладителя очень благоприятна для исследования пространственной структуры сообществ перифитона. Если в исследованиях в районе Трипольской ТЭС, которые предшест-

¹ В исследованиях принимали участие А.А. Протасов, К.Д. Стародуб, С.А. Афанасьев, А.Е. Слепнев, А.В. Коломиец, А.Ю. Янакаев, О.О. Синицина.

вовали началу изучения перифитона в ВО ЧАЭС, мы имели дело только с крайними точками — район водозабора и район сброса подогретых вод, то здесь можно исследовать сообщества перифитона на всем протяжении от сброса к водозабору. Таким образом, присутствует непрерывный техногенный биотоп, охватывающий весь термоградиент и включающий как лотические, так и лентические элементы.

За период с июля 1979 по март 1986 гг. были выполнены исследования на более чем 130 трансектах, проведен учет макроформ, определение поясов и основных группировок перифитона на основании наблюдений и отборов проб с использованием водолазного снаряжения.

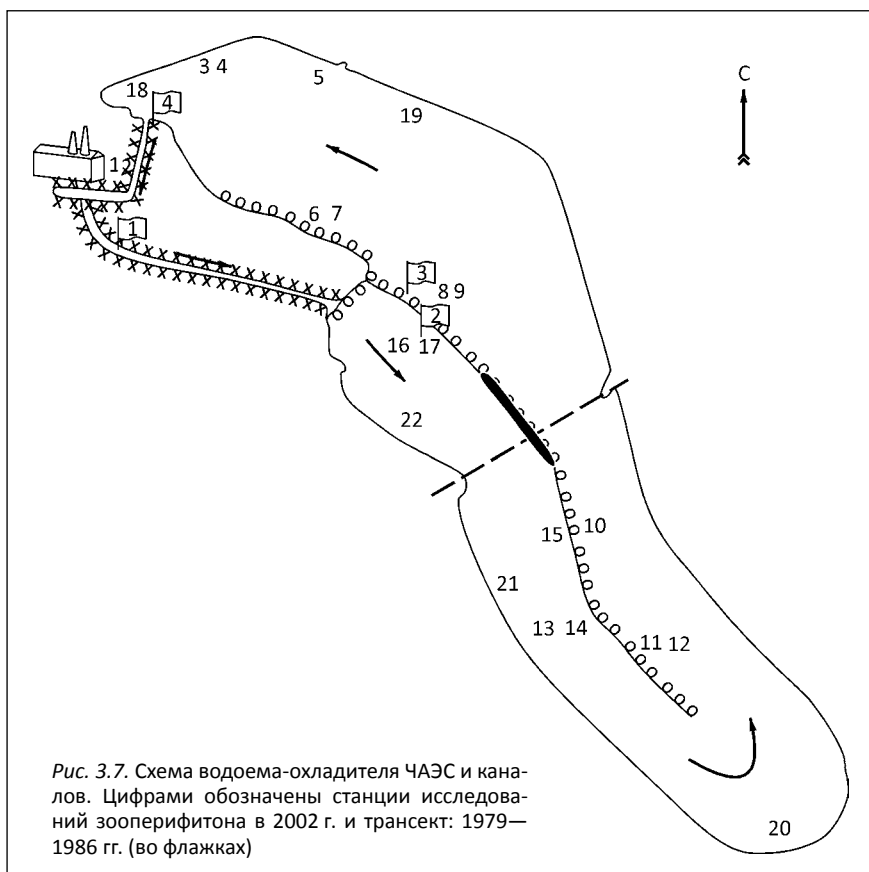
Достаточно подробное исследование различных биотопов позволило выделить типичные участки техно-экосистемы. Это — отводящий канал, переливная струераспределительная дамба, «теплый» откос направительной дамбы, омываемый водами после переливной плотины, «холодный» откос направительной дамбы на противоположной ее стороне и подводящий канал в средней его части (рис. 3.7).

Основными субстратами для организмов перифитона в период исследований до аварии были каменная отсыпка укрепления дамб и берега, бетонная облицовка каналов, в период исследований после аварии, кроме указанных — еще и высшие водные растения (тростник).

Каменная наброска в водоеме-охладителе ЧАЭС (струераспределительная (переливная) дамба, направительная дамба, укрепление берега между НД и ПК представляла собой сложный биотоп для организмов перифитона (Протасов, 1994). При развитой поверхности субстратов под 1 м² проективной поверхности дамбы было до 10 м² заселенных субстратов. Если не рассматривать заселенность внутренних слоев камней, то для поверхностного слоя можно принять этот коэффициент равным 2,5—3,0¹. Бетонная облицовка представляла собой ровную поверхность с незначительными углублениями между плитами.

Визуальные оценки на трансектах, во всех термических зонах и разных глубинах показали, что может быть выделено несколько характерных микроландшафтно-биотических группировок. Их было выделено 72 на 23 трансектах в летний период 1980 г., 42 на 16 трансектах в 1981 г. (Protasov, Afanasyev, 1986). Каждая из них — дрейссеновая, мшаночная, зеленых и синезеленых нитчатых водорослей, и без визуально определяемого маркера, имела свой диапазон условий. Дрейссеновые группировки были локализованы в диапазоне летних температур от 22 до 27 °С и во всем диапазоне течений — от 0,05 до 0,5 м/с, во всем диапазоне глубин — от поверхности до 6 м. Но отсутствовали на малых глубинах в фотической зоне и, наоборот, обильны были в затененных местообитаниях (на боковых и нижних сторонах камней). Группировки мшанки были отмечены в диапазоне температур 30—37 °С в

¹ Исследования на направительной дамбе в водоеме Криворожской ТЭС (Протасов, Синицына, 1996) показали, что на трансекте длиной 9,5 м и шириной 1 м в первом ярусе камней площадь поверхности была 23,7 м², второго — 17 м², третьего — 5,3 м².



зонах с минимальной освещенностью, не были отмечены на глубине менее 0,5 м. Биотопы в диапазоне температур 29—37 °С были населены группировками синезеленых водорослей, которые распределялись до глубины 2 м от поверхности. Группировки зеленых нитчаток были локализованы в диапазоне температур 23—26 °С и до глубины 1,5 м. Таким образом, уже данные общих визуальных наблюдений могли дать возможность составить представление о макроструктуре основных группировок перифитона в техно-экосистеме ЧАЭС.

Предварительные исследования в 1979 и затем в 1980 г. в летний период на трансектах в отводящем и подводящем каналах показали, что в первом, начиная с глубины 0,8—1,0 м и до дна формируются сообщества с доминированием мшанки *Plumatella emarginata*. Здесь, при температуре выше 30 °С верхний пояс формировался сообществом нитчатых синезеленых водорослей.

В то же время в подводящем канале, где температура в летний период не поднималась выше 30 °С, полностью доминировало сообщество дрейссены. Пояс нитчатых зеленых водорослей, в основном кладофоры, располагался до глубины около 1 м, но дрейссена в виде отдельных особей, небольших друз заселяла бетонный субстрат уже с глубины 0,1 м. На глубине 1,5 м она формировала поселения в виде агрегатов друз слоем до 5 см. Дальнейшие исследования позволили установить некоторые закономерности сезонной динамики перифитона на всей протяженности биотопов перифитона от сброса подогретых вод до водозабора (рис. 3.8).

Следует отметить, что массивные поселения дрейссены, представленные агрегатами друз в подводящем канале имели многолетний характер. Более того, полностью заселив бетонный субстрат в канале, поселения дрейссены начали продвигаться вглубь водоема из подводящего канала и в бентали (грунт — уплотненный слабо заиленный песок). Так, подводные наблюдения в апреле 1984 г. показали, что такие поселения распространились на расстоянии 100—200 м вглубь водоема из канала. В самом подводящем канале в течение нескольких лет сохранялась достаточно стабильная структура поселений дрейссены (Афанасьев, Протасов, 1987; Гидробиология..., 1991).

В зимний период (съемки 1981 и 1986 гг.) дрейссена отмечалась с глубины в несколько десятков см, а некоторые особи почти от уреза воды. Здесь ее развитие лимитировалось режимом уровня воды, колебания которого, однако, не были значительными. Уже на глубине 1 м были отмечены друзы. В целом поселения дрейссены в подводящем канале обладали большой стабильностью, однако в августе 1985 г. произошло существенное возращание температуры во всей системе, в подводящем канале оно превысило 30 °С. Это привело к массовому отмиранию дрейссены в подводящем канале. При подводных наблюдениях отмечался отрыв целых пластов поселений дрейссены от бетона и дрейфт биогенного материала под действием течения. В этом случае стабилизирующую роль сыграли колонии личинок ручейников *Hydropsiche ornatula*, которые своими ловчими сетями скрепили друзы дрейссены. Биомасса личинок ручейников была очень значительной — до 1000 г/м². В марте 1986 г. покрытие бетонных субстратов в подводящем канале было не более 50—60 %, также отмечались колонии ручейников. О количестве сносимого материала можно было судить при подводном наблюдении вблизи БНС: здесь скопились высокие, не менее 2 м «дюны» из ракуши, на поверхности которых потоком перемещались раковины и живые моллюски.

В отводящем канале (см. рис. 3.8) уже в первый период исследований (1979, 1980 гг.) была отмечена четкая тенденция к формированию сообществ с доминированием синезеленых нитчатых водорослей на малых глубинах и мшанки *P. emarginata* на откосах с глубины 1 м и до дна канала. Эта картина была характерна для летнего периода, однако в 1981 г. при температуре 26—27 °С эти сообщества сохранялись и в осенний период. Кроме того, в зоне влияния подогретых вод на направительной дамбе была отмечена молодь дрейссены, в то время как в летний период эта часть популяции здесь сильно сократилась. Было сделано предположение, что в холодное время

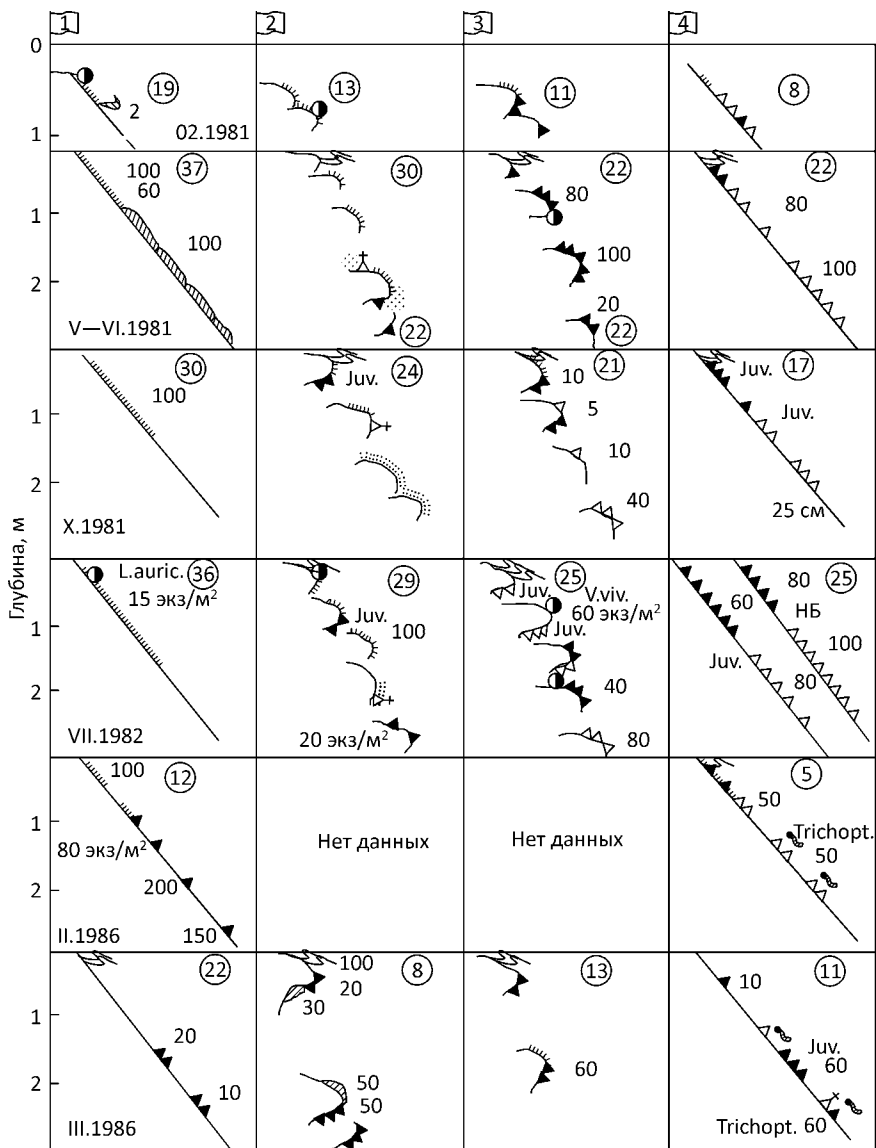
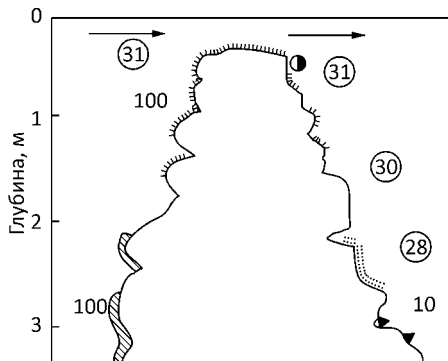


Рис. 3.8. Распределение макроформ перифитона на трансектах в отводящем и подводящем каналах, на откосах направительной дамбы в охлаждающей системе ЧАЭС в 1981, 1982 и 1986 гг.; НБ — напорный бассейн; обозначения см. рис. 2.2: V. viv. — *Viviparus viviparus*; L. auric. — *Lymnaea auricularia*; Trichopt. — *Hydropsiche ornata*

Рис. 3.9. Распределение макроформ перифитона на струераспределительной дамбе в летний период. Стрелками указано направление течения



года молодь дрейссены может найти в этом биотопе благоприятные условия для роста. Это предположение подтвердилось при исследовании весной 1982 г. В мае, при температуре в отводящем канале около 30 °С были отмечены крупные пятнистые поселения в виде щеток и друз дрейссены.

Размер моллюсков был более 10 мм, что дало возможность предположить, что моллюски были уже в репродуктивном состоянии. Однако, в июне, при температуре более 31 °С эта часть популяции дрейссены полностью элиминировала. Поселения молодёй дрейссены были отмечены в отводящем канале также в феврале 1986 г. На глубине около 1,5 м численность их достигала 80—100 экз./м², на 3 м глубине достигала 200 экз./м². В марте этого года поселения в виде щеток имели покрытие 10—20 % на глубине 1,5—2,5 м. Таким образом, для отводящего канала был характерен пульсирующий режим формирования ценоотической структуры, в отличие от подводящего канала, где структура была относительно стабильной.

Довольно сходная картина динамики сообществ наблюдалась на струераспределительной (переливной) дамбе. В холодное время года здесь (также как в отводящем канале) на откосе, обращенном к каналу, формировались небольшие поселения дрейссены. Однако летом, когда температура превышала 30 °С на этом откосе были отмечены уже колонии мшанок и синезеленные водоросли (рис. 3.9). На противоположном откосе водоросли, брюхоногие моллюски *Physa fontinalis* были отмечены только до глубины 1 м, а на глубине 3—4 м были отмечены поселения дрейссены.

На направительной дамбе также существовала более или менее сильно выраженная в зависимости от сезона дифференциация группировок перифитона. На откосе, более подверженном влиянию подогретых вод (условно — «теплый» откос) по данным 1979 г. массовое развитие поселений дрейссены в виде «щеток», друз, а в некоторых местах и агрегатов друз было отмечено во всех биотопах от нижнего бьефа струераспределительной дамбы до подводящего канала. В 1980 г. тенденции, которые были отмечены для отводящего канала — формирование термофильных сообществ — были отмечены и на «теплом» откосе струераспределительной дамбы. Далее эта дифференциация группировок на «теплом» и «холодном» откосах стала устойчивой (см. рис. 3.8).

На каменной наброске противоположного откоса и укрепления берега до подводящего канала макроструктура перифитона была более стабильной, здесь доминировали дрейссенные поселения.

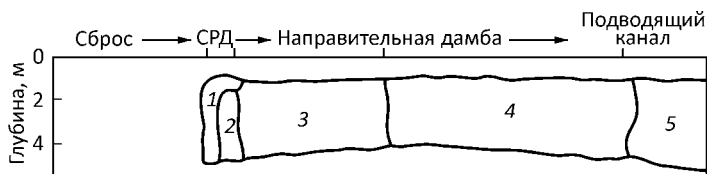


Рис. 3.10. Схема распределения сообществ перифитона, летний период 1979 г.: 1 — *Pristina aequiseta* (**Prs. aeq.**); 2 — *Dreissena polymorpha* + *Aeolosoma hemprichi* (**D. pol.** + **Ael. h.**); 3 — *Dreissena polymorpha* + *Pristina aequiseta* + *Dero obtusa* (**D. pol.** + **Prs. aeq.** + **Dr. ob.**); 4 — *Dreissena polymorpha* + *Nais communis* (**D. pol.** + **N. com.**); 5 — *Dreissena polymorpha* (**D. pol.**)

Таким образом, визуальные подводные обследования и оценки позволили установить наиболее общие закономерности формирования и динамики группировок перифитона. Следующим этапом было выявление состава и количественных показателей, на основании чего можно было выделить сообщества перифитона.

Всего в зооперифитоне техно-экосистемы ЧАЭС в доаварийный период было найдено более 120 НОТ из 12 групп гидробионтов. До вида не определяли Nematoda, Hydra, Arachnoidea. Некоторые виды беспозвоночных были встречены только в зоне влияния подогретых сбросов (*Aeolosoma hemprichi*, *Plumatella emarginata*, *Anissus albus*), другие — *Nais pseudobtusa*, *N. bretscheri*, *Dikerogammarus haemobaphes* — только в зоне минимальных температур. Была отмечена определенная динамика изменения таксономического богатства. Так, от 1979 к 1982 г. количество НОТ снизилось от 62 до 45, в 1981 г. было отмечено всего 36 НОТ. На фоне такого снижения богатства имела место выраженная тенденция к более равномерному, неполяризованному распределению видов в различных биотопах. Это происходило за счет элиминирования относительно стенотермных ценопопуляций или более широкого, в большем количестве биотопов, распространения организмов (Гидробиология..., 1991).

Определение распространения поясов по глубине и границ группировок по протяженности субстратов от отводящего канала к подводящему, отбор проб в летний период 1979—1981 гг., определение состава и количественных показателей позволило выделить 20 сообществ¹ перифитона (рис. 3.10; 3.12; 3.14). Сообщества названы по видам, численность и биомасса которых была более 50 %.

В 1979 г. выделение сообществ было проведено только в биотопах от струераспределительной дамбы до подводящего канала и на глубинах более 0,5 м. Было выделено 5 сообществ (см. рис. 3.10). В направлении пе-

¹ В ранее опубликованных работах (Protasov, Afanasyev, 1986; Протасов, 1994; 2011) речь шла о 14 сообществах, поскольку некоторые, существовавшие в одном биотопе несколько лет, мы рассматривали как их модификации, а не как самостоятельные ценоотические образования.

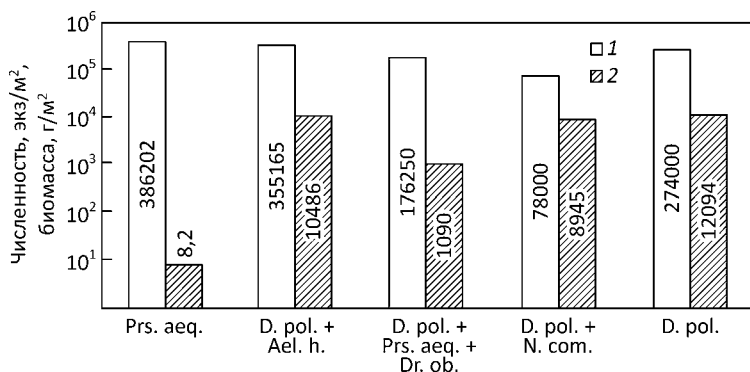


Рис. 3.11. Численность (1) и биомасса (2) беспозвоночных в сообществах перифитона в водоеме ЧАЭС, летний период 1979 г.

ремещения подогретых вод первым было отмечено сообщество **Pristina aequisetata**. Локализовано оно на верхнем бьефе СРД, на склоне, обращенном к отводящему каналу. Доминировала по биомассе *P. aequisetata* (56 % общей биомассы $8,2 \pm 3,5$ г/м²). Это были наименьшие показатели биомассы для всех сообществ, показатели же численности были, напротив наибольшими (рис. 3.11).

Сообщество 2 (**Dreissena polymorpha + Aeolosoma hemprichi**) было локализовано на противоположной стороне СРД, с глубины около 1,5 м. Как видно из рис. 3.9, здесь температура была ниже, чем в предыдущем биотопе. По биомассе доминировала дрейссена (99,8 %), а доминирование *Aeolosoma hemprichi* по численности было 34 %, при относительной численности дрейссены 20 %. Показатели биомассы были достаточно высокими — $10,5$ кг/м². Далее вдоль термического градиента в сообществах доминировала дрейссена, показатели численности были близки, а биомасса возрастала от $1,9$ до $12,1$ кг/м². Следует отметить усложнение пространственной структуры сообществ: если на каменной наброске преобладали поселения дрейссены в виде щеток, то в канале (сообщество **D. polymorpha**) формировались агрегаты друз.

В 1980 г. в летний период исследования, проведенные и в отводящем канале, позволили выделить здесь два сообщества, кроме того, были выделены сообщества в мелководной зоне по всему термоградиенту (рис. 3.12).

В целом ценотическая макроструктура перифитона в целом была неизменной, однако небольшое сообщество 2 (**D. pol. + Ael. h.**) «слилось» с сообществом 10 (**D. pol. + Nem. + A. amer.**). В зоне глубин до $0,5$ — $1,5$ м сообщества также как и на больших глубинах дифференцировались приблизительно в границах термических зон: отводящий канал, верхний бьеф — зона максимальных температур (**Prs. aeq. (Lyngb.)**), направляющая дамба, «теплый» склон (**D. pol. + N. prd. (Lyngb.)**), противоположный склон и северный участок берега, подводящий канал — зона минимальных температур (**D. pol. +**

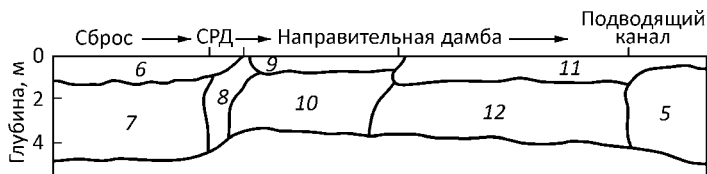


Рис. 3.12. Схема распределения сообществ перифитона, летний период 1980 г.: 5 — *D. pol.*; 6 — *Pristina aequiseta* (*Prs. aeq. (Lyngb.)*); 7 — *Plumatella emarginata* + *Pristina aequiseta* (*P. emrg. + Prs. aeq.*); 8 — *Pristina aequiseta* + *Acanthocyclops americanus* (*Prs. aeq. + A. amer.*); 9 — *Dreissena polymorpha* + *Nais pardalis* (*D. pol. + N. prd. (Lyngb.)*); 10 — *Dreissena polymorpha* + *Nematoda* + *Acanthocyclops americanus* (*D. pol. + Nem. + A. amer.*); 11 — *Dreissena polymorpha* + *Nais barbata* (*D. pol. + N. brb. (Cladoph.)*); 12 — *D. pol. + Prs. aeq.*

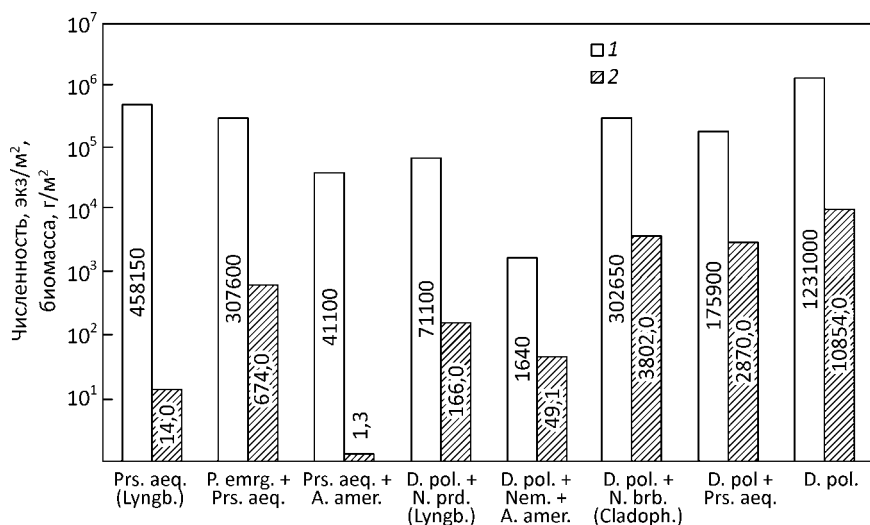


Рис. 3.13. Численность (1) и биомасса (2) беспозвоночных в сообществах перифитона в водоеме ЧАЭС, летний период 1980 г.

N. brb. (Cladoph.). В этих сообществах одним из важных ценозообразующих элементов выступали нитчатые водоросли: *Lyngbya* sp. и *Cladophora* sp. Глубже были локализованы сообщества с доминированием беспозвоночных.

Показатели обилия в сообществах изменялись в соответствие с определенной закономерностью (рис. 3.13). Так, при близости значений численности в двух сообществах в отводящем канале, биомасса беспозвоночных в сообществе *Prs. aeq. (Lyngb.)* была почти на 2 порядка ниже, чем в сообществе мшанки — 14,0 против 874,0 г/м². Совсем незначительная биомасса была характерна для сообщества 8 (*Pristina aequiseta* + *Acanthocyclops americanus*) — всего 1,3 г/м². Оно было локализовано на струераспределительной дамбе, в верхнем бьефе и на глубине до 0,5 м — в нижнем. Глубже

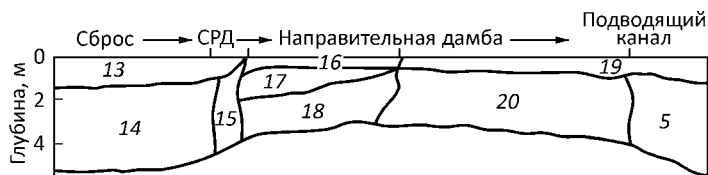


Рис. 3.14. Схема распределения сообществ перифитона, летний период 1981 г.: 5 — *D. pol.*; 13 — *P. emrg.* + *Prs. aeq.* (Lyngb.); 14 — *Plumatella emarginata* + *Chydorus sphaericus* (*P. emrg.* + *Ch. sphr.*); 15 — *Plumatella emarginata* + *Aelosoma hemprichi* + *Pristina aequisetata* (*P. emrg.* + *Ael. h.* + *Prs. aeq.*); 16 — *Nais barbata* + *Acanthocyclops americanus* (*N. brb.* + *A. amer.* (Lyngb.)); 17 — *Plumatella emarginata* + *Nais communis* + *Chydorus sphaericus* (*P. emrg.* + *N. com.* + *Ch. sphr.*); 18 — *D. pol.* + *A. amer.*; 19 — *Dreissena polymorpha* + *Cricotopus silvestris* (*D. pol.* + *Cr. slv.* (Cladoph.)); 20 — *D. pol.* + *A. amer.*

здесь и на направительной дамбе было локализовано сообщество с другим составом доминантов — *D. polymorpha* + *Nematoda* + *A. americanus*, с небольшими показателями численности и биомассы. Несколько парадоксальным выглядит более высокая биомасса в сообществе *D. polymorpha* + *N. pardalis* (Lyngb.), локализованном в фотической зоне, где маловероятно было существование постоянных поселений дрейссены. На противоположном откосе дамбы, где также были локализованы сообщества с доминированием дрейссены, показатели обилия были намного выше — от 2,9 до 10,8 кг/м².

В 1981 г. в летний период картина макроструктуры сообществ, их локализации существенно не изменилась (рис. 3.14), хотя несколько усложнилась, были выделены новые сообщества. Распределение сообществ было связано с двумя основными градиентами — освещенностью и температурой. На месте прежнего сообщества 10 (*D. pol.* + *Nem.* + *A. amer.*) было дифференцировано близкое к нему сообщество *D. pol.* + *A. amer.* и сообщество *Plumatella emarginata* + *Nais communis* + *Chydorus sphaericus*.

Необходимо отметить вполне выраженную тенденцию значительного снижения показателей обилия в средней части термоградиента (рис. 3.15), а именно в тех сообществах, которые были локализованы на «теплом» откосе направительной дамбы. Здесь практически исчезли сообщества с доминированием дрейссены. А в сообществе, где дрейссена и была доминантом, биомасса ее была всего 4,0 г/м², то есть здесь были встречены только одиночные особи, доминирование было формальным.

Кроме того, важно отметить, что на высокотемпературном полюсе термоградиента, в отводящем канале сообщества беспозвоночных имели некоторые показатели обилия выше, чем в зоне относительно низких температур. Так, если в 1980 г. численность выше 1 млн. экз/м² была отмечена в сообществе *D. polymorpha* в подводящем канале, основу этой численности составляла молодь дрейссены, что является вполне обычным явлением при массовом оседании велигеров, то в сообществе *P. aequisetata* именно эти олигохеты, чисто перифитонные организмы, достигали численности более 2 млн. экз/м², это могло происходить за

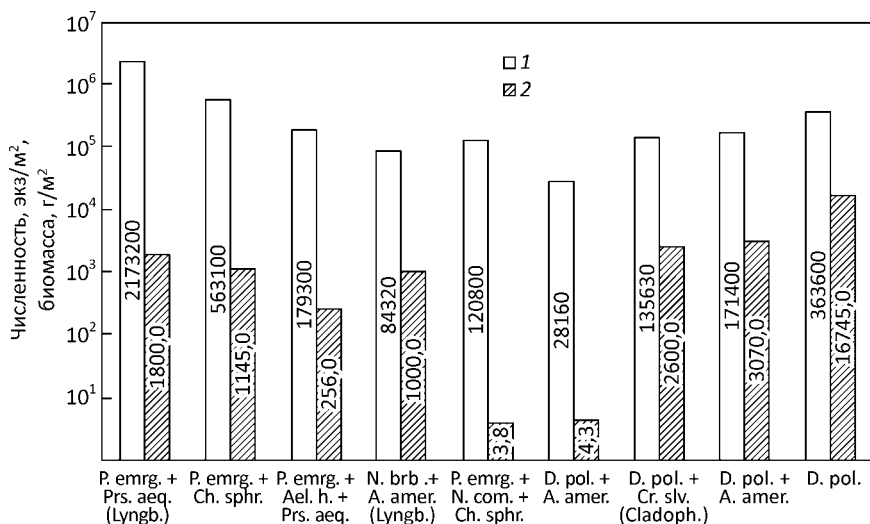


Рис. 3.15. Численность (1) и биомасса (2) беспозвоночных в сообществах перифитона техно-экосистемы ЧАЭС, летний период 1981 г.

счет их интенсивного размножения. Кроме того, следует отметить достаточно высокие показатели биомассы в термофильных сообществах — до $1,1 \text{ кг/м}^2$ за счет колоний мшанки. В сообществах дрейссены биомасса была до $16,7 \text{ кг/м}^2$.

На определенные изменения в ценотической структуре по годам исследования указывает также динамика богатства НОТ в сообществах (рис. 3.16). В 1979 г. наблюдалось хорошо выраженное возрастание количества НОТ от зон более высоких температур (СРД) к зоне подводящего канала: от 22 до 36. В 1981 г. на фоне некоторого обеднения сообществ была вполне выражена тенденция значительного снижения богатства именно в средней части термоградиента — 26—30 НОТ на полюсах термоградиента и 7—11 — в средней части. В 1981 г. при еще большем общем снижении таксономического богатства перифитона несколько восстановилась тенденция возрастания богатства в зоне минимальных температур.

Следует обратить внимание на то, что некоторые сообщества в течение периода исследования были постоянно локализованы практически в одних биотопах, в других биотопах одни сообщества сменялись другими (табл. 3.3).

Достаточно стабильными оставались сообщество 5, а также 2, 12 и 20. Особенно это касается показателей биомассы, ее средние значения были в 1979—1981 гг. (летний период) от $10,8$ до $16,7 \text{ кг/м}^2$ в сообществе дрейссены в подводящем канале и от $2,9$ до $8,9 \text{ кг/м}^2$ — в сообществах на откосах берегоукрепления и НД. Различия в биомассе определялись различиями в пространственной структуре сообществ, а именно в том, что в подводящем

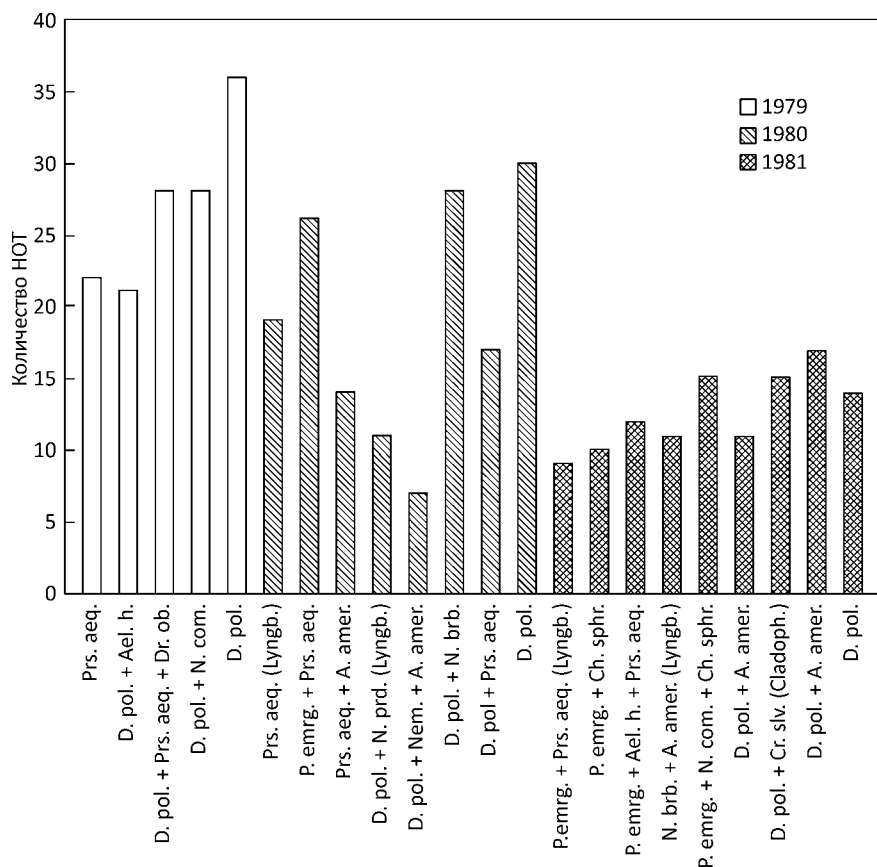


Рис. 3.16. Количество НОТ в сообществах перифитона техно-экосистемы ЧАЭС в 1979—1981 гг.

канале большая часть дрейссены была представлена поселениями типа агрегатов друз, что и определяло более высокую биомассу, а на каменной отсыпке она формировала поселения типа щеток (Протасов, Афанасьев, 1984). Эти сообщества существовали в течение всего года, не изменяя значительно свою структуру. На другом полюсе термоградиента, в отводящем канале сообщества мшанки также характеризовались достаточно высокой биомассой ($0,6\text{--}1,1\text{ кг/м}^2$), однако они были временными, существовали только в теплое время года, формируясь каждый год заново. Наиболее существенные изменения как в показателях обилия, так и в структуре наблюдались в средней части термоградиента — на «теплом» откосе НД и на СРД. Здесь показатели биомассы в течение трех лет изменялись от $3,8\text{ г/м}^2$ до $10,4\text{ кг/м}^2$.

Таблица 3.3. Показатели структуры сообществ перифитона техно-экосистемы ЧАЭС в 1979—1981 г.
(по Protasov, Afanashev, 1986, с дополнениями)

Сообщества	D. pol.			D. pol. + N. com.	D. pol + Prs. aeq.	D. pol. + A. amer.	D. pol. + Prs. aeq. + Dr. ob.	D. pol. + Ael. h.	D. pol. + Nem. + A. amer.	D. pol. + A. amer.	P. emrg. + N. com. + Ch. sphr.
№ сообщества	5			4	12	20	3	2	10	18	17
Годы	1979	1980	1981	1979	1980	1981	1979	1979	1980	1981	1981
Локализация	ПК	ПК	ПК	хб + сб	хб + сб	хб + сб	тб	нб	тб + нб	тб + нб	тб + нб
Количество НОТ	36	30	14	28	17	17	28	21	7	11	15
N, экз/м²	274000 ± 628	1231000 ± 91544	363600 ± 171260	78000 ± 17070	175900 ± 22350	171400 ± 60221	176250 ± 88120	355165 ± 46600	1640 ± 217	28160 ± 16900	120800 ± 86240
B, г/м²	12094,00 ± 3464,00	10854,00 ± 2896,00	16745,00 ± 3541,00	8945,00 ± 2342,00	2870,00 ± 26,00	3070,00 ± 934,00	1090,00 ± 320,00	10486,00 ± 1482,00	49,10 ± 20,00	4,30 ± 2,00	3,80 ± 1,20
H _N	1,100	0,580	2,420	1,850	0,310	2,060	2,020	1,700	2,300	2,000	3,210
H _B	0,040	0,030	0,040	0,001	0,010	0,010	0,005	0,004	0,003	0,600	2,210

Окончание табл. 3.3

Сообщества	Prs. aeq.	Prs. aeq. + A. amer.	P. emrg. + Ael. h. + Prs. eq.	P. emrg. + Prs. aeq.	P. emrg. + Ch. sphr.	D. pol. + N. brb. (Cladoph.)	D. pol. + Cr. slv. (Cladoph.)	D. pol. + N. prd. (Lyngh.)	N. brb. + A. amer. (Lyngh.)	Prs. aeq. (Lyngh.)	P. emrg. + Prs. aeq. (Lyngh.)
№ сообщества	1	8	15	7	14	11	19	9	16	6	13
Годы	1979	1980	1981	1980	1981	1980	1981	1980	1981	1980	1981
Локализация	вб	вб	вб	ОтК	ОтК + вб	хб + сб	хб + сб	тб	тб	ОтК	ОтК + вб
Количество НОТ	22	14	12	26	10	28	15	11	11	19	9
N, экз/м ²	386202 ± 162419	41100 ± 24000	179300 ± 46349	307600 ± 91282	563100 ± 170250	302650 ± 135144	135630 ± 17860	71100 ± 35000	84320 ± 28100	458150 ± 159800	2173200 ± 724000
B, г/м ²	8,2 ± 3,5	1,3 ± 0,7	256,0 ± 147,0	674,0 ± 282,0	1145,0 ± 224,0	3802,0 ± 419,0	40,0 ± 10,0	166,0 ± 30,0	21,0 ± 7,0	14,0 ± 5,0	669,0 ± 220,0
H _N	1,260	2,340	1,800	1,200	0,980	2,200	2,790	0,620	2,070	0,450	0,130
H _B	1,570	1,400	0,100	0,120	0,030	0,070	0,230	0,080	1,610	1,101	0,112
Биомасса нитчатых водорослей, г/м ²	—	—	—	—	—	—	2560,0 ± 800,0	352,7 ± 90,0	998,0 ± 293,0	286,0 ± 95,0	1130,0 ± 400,0

Примечания: ПК — подводный канал; хб — «холодный» берег НД; сб — берег между НД и ПК; тб — «теплый» берег; нб — нижний бьеф СРД; вб — верхний бьеф СРД; ОтК — отводящий канал.

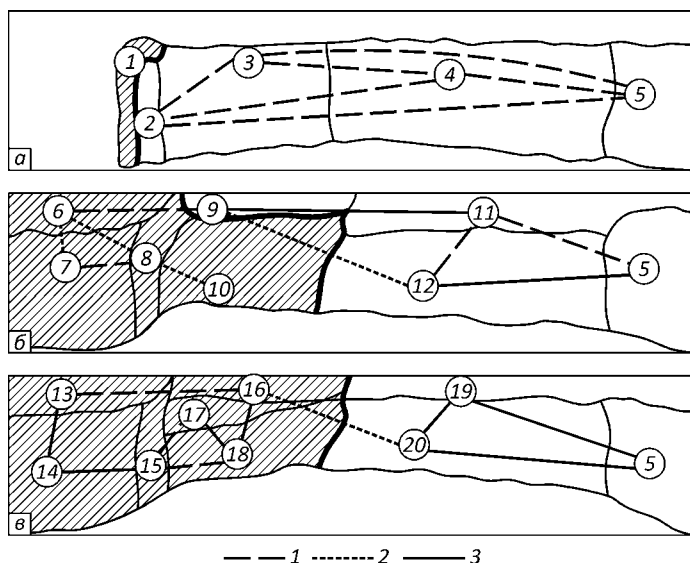


Рис. 3.17. Графы сходства между сообществами перифитона в техно-экосистеме ЧАЭС, годы: а — 1979; б — 1980; в — 1981; 1 — $t_{xy} < 5$, 2 — $t_{xy} = 5-10$, 3 — $t_{xy} > 10$. Жирной линией показана граница между комплексами сообществ перифитона

Хотя, как было отмечено выше, имела место определенная гомогенизация состава перифитона, можно говорить о существовании двух комплексов сообществ (рис. 3.17). При использовании метода таксономического анализа Е.С. Смирнова для определения сходства между сообществами (Песенко, 1982) применили следующий подход к переводу различных показателей в единую балльную систему (Protasov, Afanasyev, 1986):

Баллы	Богатство НОТ	$H_{N'}$, бит/экз.	H_B , бит/г
1	<10	0,1—1,0	0,01 и меньше
2	11—25	1,1—2,0	0,02 и больше
3	26 и больше	2,1 и больше	—

Для показателей численности и биомассы в матрицу расчетов брали значение десятичного логарифма. Было принято, что значения большего признака (большего количества баллов) соответствуют наличию и всех меньших значений.

Определение сходства состава сообществ показало, что существует два их комплекса, которые условно можно назвать «высокотемпературный» и «низкотемпературный» (см. рис. 3.17). Важно отметить, что граница между этими комплексами не была фиксированной, а зависела от погодно-климатических условий года и техногенных факторов. Так, в 1979 г. эта граница

проходила по струераспределительной дамбе, а в 1980 — «высокотемпературный» комплекс сообществ распространился до северо-восточного, «холодного» склона направительной дамбы. В летний период 1982 г. в условиях прохладного лета и расширения водоема, некоторого снижения тепловой загрузки, дрейссеновые поселения были отмечены даже в отводящем канале (Гидробиология..., 1991). Следует также отметить довольно значительное сходство характеристик сообществ со сходными доминантами, то есть комплексы сообществ были достаточно подобными по своей структуре от года к году (Protasov, Afanasyev, 1986).

Исследования структуры сообществ и определение их границ на основании данных как визуальных наблюдений, так и данных отбора проб, позволили определить разовый запас организмов перифитона во всей техно-экосистеме (табл. 3.4).

Поскольку в 1979 г. исследованием были охвачены не все участки, обратим внимание на распределение количества организмов 1980 и 1981 гг. Существенную долю в общем запасе имело сообщество с доминированием дрейссены в подводящем канале (69,8 % от общего), локализованное глубже, чем сообщество **D. pol. + N. brb. (Cladoph.)**. Запас беспозвоночных в последнем по средним оценкам составил 18,2 % от общего. Кроме того, здесь было до полутора тонн зеленых нитчатых водорослей. В сообществе **D. pol. + Prs. aeq.** на каменной наброске запас был всего около 8,6 % от общего запаса беспозвоночных перифитона. Таким образом, в зоне минимальных температур было сосредоточено до 96,6 % всей биомассы зооперифитона в техно-экосистеме. В 1981 г. это соотношение несколько изменилось в сторону увеличения доли запаса в отводящем канале в сообществах 13 и 14, которая достигла 5,8 %. Достаточно большая точность расчетов запаса была определенным образом подтверждена, когда для устранения биологических помех из подводящего канала было механически извлечено более 800 т дрейссены (Гидробиология..., 1991). Что касается нитчатых водорослей, то запас их во всем водоеме составлял от 21 до 71 т, причем большая часть запаса приходилась на отводящий канал. Учитывая высокую продукцию водорослей, можно предположить, что в течение вегетационного периода в техно-экосистеме находились сотни тонн нитчатых водорослей.

Функциональные характеристики сообществ перифитона ЧАЭС были исследованы достаточно подробно в период с 1979 по 1982 гг.¹ Как было уже показано выше (Гидробиология..., 1991), доминирующий комплекс по показателям численности, биомассы существенно различался в отдельных зонах водоема и каналах. Также и с точки зрения вклада в общий метаболизм были отмечены доминирующие организмы. Это были дрейссена, мшанка, олигохеты, личинки хирономид, брюхоногие моллюски, веслоногие ракообразные. Дрейссена и мшанки были постоянными (в летний период) доминантами на полюсах термоградиента (рис. 3.18). При этом следует обратить внимание на подавляющее их доминирование. На малых глубинах обычно сложно было выделить одного доминанта.

¹ Исследования выполняла О.О. Сеницына.

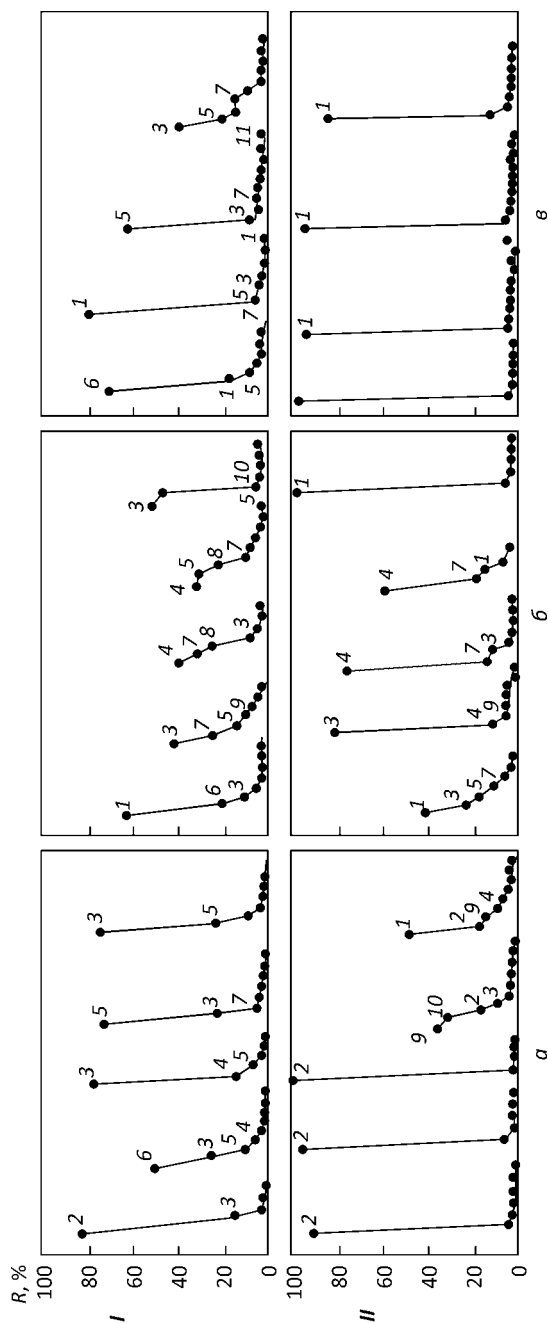
3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.4. Запас организмов перифитона в отдельных сообществах и в техно-экосистеме ЧАЭС (водоем-охладитель и каналы) в 1979—1981 гг.

Годы	Сообщества	Запас по средним оценкам, т	Запас по минимальным оценкам, т	Запас по максимальным оценкам, т	Запас нитчатых водорослей, т
1979	D. pol.	840,8	600,0	1182,4	—
	D. pol. + N. com.	210,2	155,2	761,9	—
	D. pol. + Prs. aeq. + Dr. ob.	8,7	6,2	37,0	—
	D. pol. + Ael. h.	34,7	29,8	57,4	—
	Prs. aeq.	0,02	0,01	0,11	—
	Bcero	1094,5	791,1	2038,9	—
1980	D. pol. + N. brb. (Cladoph.)	686,0	502,9	1045,0	—
	D. pol.	84,3	83,5	130,3	—
	D. pol. + Prs. aeq.	179,1	159,3	175,2	1,4
	D. pol. + N. prd. (Lyngb.)	0,7	0,5	1,3	3,0
	D. pol. + Nem. + A. amer.	1,0	0,6	1,9	—
	Prs. aeq. + A. amer.	0,004	0,002	0,017	—
	Prs. aeq. (Lyngb.)	0,1	0,1	0,3	17,1
	P. emrg. + Prs. aeq.	31,5	18,3	154,6	—
	Bcero	982,7	765,4	1508,6	21,5
1981	D. pol. + Cr. slv. (Cladoph.)	0,6	0,5	1,7	41,0
	D. pol.	964,5	760,6	1440,3	—
	D. pol. + A. amer.	55,3	38,4	129,7	—
	N. brb. + Ac. amer. (Lyngb.)	0,1	0,1	0,1	4,0
	P. emrg. + N. com. + Ch. sphr.	0,03	0,02	0,07	—
	D. pol. + A. amer.	0,1	0,0	0,1	—
	P. emrg. + Aelo. h. + Prs. aeq.	1,9	0,8	2,4	—
	P. emrg. + Prs. aeq. (Lyngb.)	15,7	10,5	18,9	26,4
	P. emrg. + Ch. sphr.	47,6	38,3	213,8	—
	Bcero	1085,8	849,2	1807,3	71,4

П р и м е ч а н и е: «—» — нитчатые водоросли отсутствовали.

Может быть выделено три основных типа рангового распределения: с хорошо выраженным доминантом (дрейссена, мшанки, олигохеты, личинки хирономид), с двумя содоминантами (олигохеты + дрейссена), без выраженного доминанта, с равномерным участием относительного вклада в общий метаболизм. Таким образом, существовало несколько характерных типов распределения потоков энергии в общих тратах на обмен. Различия в условиях, в первую очередь термических, обусловили и различия в уровне



3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.5. Показатели продукции зооперифитона (ГДж/сут) в сообществах различных зон техно–экосистемы ЧАЭС.

Годы	Дрейсеновые сообщества, ПК	Дрейсеновые сообщества, НД, «холодная»	Средняя зона термоградиента	Сообщества мшанок, ОтК	Всего
1979	5,43	1,32	0,39	15,12	22,26
1980	5,70	0,17	0,12	15,94	21,92
1981	7,73	1,72	0,22	26,88	36,54

метаболизма в сообществах с одним и тем же доминантом. Так в сообществах, где доминировала дрейсена, деструкция была от 0,046 до 3,57 кДж/м² · ч. Наибольшие показатели были характерны для сообщества *Dreissena polymorpha* подводющего канала. В среднем за период исследования 1977—1982 гг. значения деструкции были 10,4 кДж/м² · ч (продукция — 87,53 кДж/м² · сут). Для сообществ мшанки значения показателей деструкции, общих трат на обмен были от 0,53 до 18,68 кДж/м² · ч. Уровни энергетического обмена в сообществах перифитона без выраженного доминанта были значительно ниже — от 0,03 до 3,70 кДж/м² · ч.

Исследование структурных показателей и оконтуривание сообществ позволило определить интегральные характеристики метаболизма перифитона в техно–экосистеме ЧАЭС. В 1979—1981 гг. происходила дифференциация функциональных зон в сторону смещения метаболической активности перифитона к полюсам термоградиента. Общий уровень деструкции в сообществах дрейсены в подводющем канале возрос с 646 до 920 МДж/ч, увеличился и метаболизм в сообществах мшанки ¹ (рис. 3.19). При этом произошло снижение с 47 МДж/ч до 14 в 1980 г. и 25 МДж/ч в 1981 г. в сообществах средней части термоградиента.

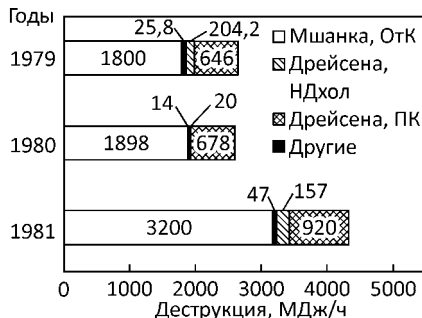
Расчет продукции зооперифитона показал, что она была наибольшей в сообществах мшанки (табл. 3.5).

Используя значения энергосодержания биомассы ² для различных сообществ (Гидробиология..., 1991), можно с некоторым приближением рассчитать суточную продукцию в единицах массы. Общая продукция всего зооперифитона составляла от 43,2 т/сут в 1980 г. до 68,9 т/сут — в 1981 г. Для сравнения — в водоеме Криворожской ТЭС в водозаборном отсеке (площадь дна составляла 51000 м², биомасса дрейсеновых сообществ была около 20 кг/м²) суточная продукция составляла около 30 т (Гидробиология..., 1991). В Конинских озерах (см. выше) общая продукция всего зообентоса озер со-

¹ Следует отметить, что в отводящем канале не только выше температура, что влияет на увеличение метаболизма, но и больше площадь твердых субстратов, поскольку канал на 1000 м длиннее подводющего.

² Принимали следующие значения: для сообществ дрейсены в ПК — 0,25 кДж/г, для дрейсеновых прочих — 0,4 кДж/г, для сообществ с доминированием олигохет, личинок насекомых — 1,2 кДж/г, для мшаночных — 0,8 кДж/г (см. выше раздел по Конинской ТЭС).

Рис. 3.19. Суммарные величины затрат на обмен сообществами перифитона в летний период и соотношение вкладов отдельных групп сообществ в водоеме и каналах



ставляет около 20 т/сут. Сообщества мшанки и дрейссены в ПК вносили в общую продукцию основной вклад: от 91,8 до 98,8 % общей продукции.

В техно-экосистеме ЧАЭС возникали достаточно серьезные эксплуатационные проблемы, в связи с биопомехами, которые вызывали гидробионты. Как показали исследования¹, одной из основных причин биологических помех был транспорт биогенного материала из подводящего канала. Кроме того, было установлено, что в напорных бассейнах в системе циркуляционного водоснабжения (см. рис. 3.8, 07.1982) также в массе развивается дрейссена, которая поступает при отрыве от субстрата в системы водоснабжения.

Многолетний контроль состояния обрастания откосов и дна подводящего канала показал, что в течение нескольких лет после начала эксплуатации откосы и дно были покрыты хорошо прикрепленными друзами дрейссены. В дальнейшем эта связь становилась все менее прочной, потому, что слой живых моллюсков подстилал слой отмерших. При увеличении скоростей течения после ввода в эксплуатацию третьего и четвертого энергоблоков дрейф биогенного материала значительно возрос.

Особенно существенные биопомехи возникли при отрыве больших масс дрейссены в летний период 1985 г. Удалось проследить эту динамику (рис. 3.20) в течение трех сезонов.

После вывода из эксплуатации энергоблоков ЧАЭС в 2000 г. термический и гидродинамический режимы водоема-охладителя значительно изменились и они стали близкими к характеристикам естественных водоемов данного региона (Лукашев, 2003). Довольно значительного развития достигли в прибрежье высшие водные растения (Дьяченко, Насвит, 2005), которые также представляют собой один из типов субстрата для развития организмов перифитона.

Исследования доаварийного периода показали, что в сообществах дрейссены, как правило, доминирование этого моллюска очень значительно. Поэтому показатели обилия дрейссены можно рассматривать как показатель обилия, в первую очередь, биомассы, всего сообщества. Динамика биомассы дрейссены на двух откосах направительной дамбы (Модельный групп..., 2002) показывает, что в целом ее значения после аварии в 1987—2000 гг. были достаточно высокими (табл. 3.6).

¹ Основной объем работ по исследованию биологических помех выполнен С.А. Афанасьевым.

Зоны	Биомасса дрейссены, кг/м ²	Масса створок, кг/м ²
1	2,2	23,5
2	6,9	0,5
3	19,3	9,4

a

1	8,8	16,0
2	15,5	22,0
3	6,5	1,0
4	2,3	14,0
5	15,0	9,5
6	16,4	0,7

б

1	0 (зона погибшей дрейссены)	25,0
2	0,14	2,2
3	0,4	2,2
4	3,2	12,5
5	14,0	3,0
6	0,9	38,5
7	5,9	4,7

в

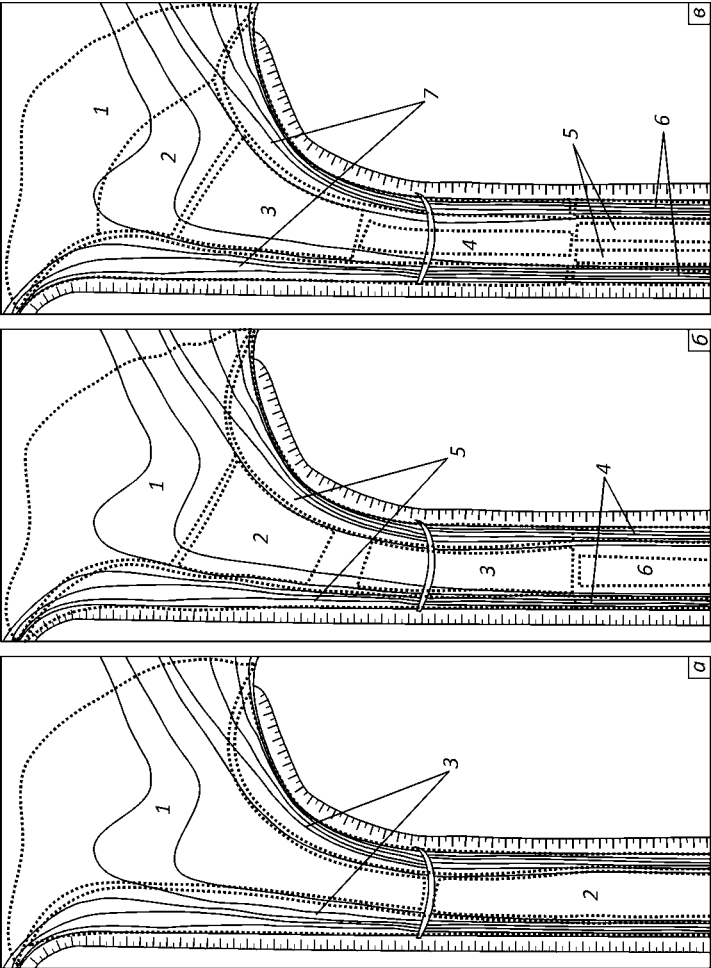


Рис. 3.20. Распределение биомассы дрейссенового сообщества в головной части подводящего канала ЧАЭС в весенний (а), летний (б), осенний (в) сезоны 1985 г. Пунктиром околнурены зоны с однородной биомассой.

С 1990 г. в перифитоне отмечен второй вид дрейссенид — *Dreissena bugensis* (Лукашев, 2001). Было установлено, что в зонах влияния подогретых сбросов доминировала *D. polymorpha*, однако, по мере приближения к зонам минимальных температур все более доминировала дрейссена бугская. После остановки станции с 2000 г. практически во всех биотопах доминировал этот вид. Оценка запаса дрейссены показала, что в 1996 г. площадь поселений моллюсков в перифитали водоема составляла около 0,4 км², биомасса моллюсков была 1800 т,

запас бентической части популяции был в 3,8 раз больше. Средняя биомасса дрейссены в этот период составляла 4,5 кг/м², а средняя биомасса по всем сообществам с доминированием *Dreissena* в период 1979—1982 гг. была 5,83 кг/м² (Протасов, 1994; Protasov, Afanasyev, 1986). Таким образом, значения были достаточно близкими. В 2000 г. площади субстратов, заселенных дрейссеной возросли до 1,2 км² и здесь находилось около 30 % дрейссены всего водоема, общий запас которой составил 48000 т (Лукашев, 2003).

В летний период 2002 г. во второй вегетационный сезон после остановки станции были обследованы основные биотопы организмов перифитона водоема-охладителя ЧАЭС: каменные укрепления дамбы и берегов (на глубине 0,5 и 2 м)¹, а также отобраны пробы эпифитона со стеблей тростника обыкновенного. Наблюдалась достаточно однородная картина в распределении сообществ зооперифитона на каменистых субстратах. Во всех биотопах от подводящего до отводящего канала на твердых субстратах отмечены поселения моллюсков р. *Dreissena*. Они были представлены несколькими пространственными типами: разрозненными одиночными поселениями моллюсков, плотными щетками и друзами.

Кроме дрейссенид (*D. polymorpha* и *D. bugensis*) было отмечено 84 вида и формы (НОТ) беспозвоночных из 20 групп гидробионтов. Так же как и в период эксплуатации АЭС и существования термического градиента были отмечены полипы пресноводной медузы *Craspedacusta sowerbii*, отмечена также *Urnatella gracilis* (Kamptozoa).

На тростнике богатство видов было значительно ниже, чем на других субстратах и не превышало 10 НОТ. Наибольшее количество видов и форм (35) отмечено в подводящем канале на бетоне. Там, где пробы были отобраны на двух глубинах, таксономическое богатство, как правило, увеличивалось от глубины 0,5 к 2 м. В целом, отмечена тенденция снижения видового богатства от зоны подводящего канала к бывшей зоне подогрева (рис. 3.21).

Таблица 3.6. Биомасса дрейссены (г/м²) на «теплом» и «холодном» откосах направительной дамбы в водоеме ЧАЭС в период с 1987 по 2000 гг. (Модельные группы..., 2002).

Годы	«Теплый» откос	«Холодный» откос
1987	2900	4750
1988	3400	—
1989	900	—
1991	2600	4480
1999	1100 ± 320	13313 ± 850
2000	2954 ± 443	12104 ± 698

¹ Отбор проб проведен Д.В. Лукашевым и А.А. Залиским.

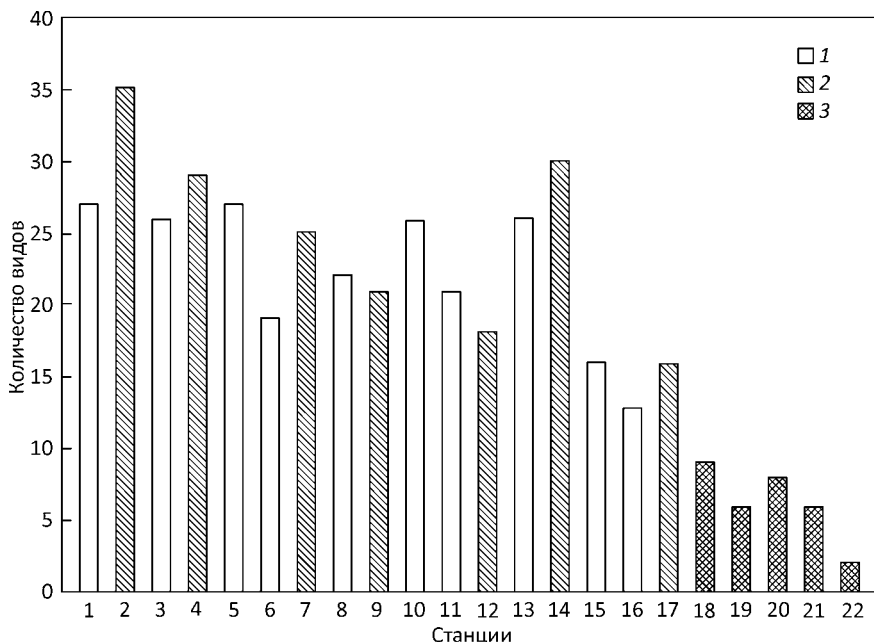


Рис. 3.21. Таксономическое богатство зооперифитона в водоеме-охладителе АЭС в летний период 2002 г.: 1 — на бетоне и камнях, глубина 0,5 м; 2 — там же, глубина 2,0 м; 3 — на тростнике

У показателей численности обнаруживается иная тенденция изменений: максимум численности был отмечен на направительной дамбе первой очереди (СТ). Значения численности в этом районе составляли 145,4 тыс. экз/м² (причем, более 60 % численности приходилось на дрейссену бугскую), в то время как на юго-западном склоне (зоны НТ, СТ) показатели были около 40—60 тыс. экз/м². Однако эта высокая численность (ст. 17), была исключением из общей закономерности, которая видна из рис. 3.22: подъем численности к ст. 6, а затем снижение. Численность зооперифитона на тростнике была очень малой. Нельзя выявить какой-либо тенденции, среднее по всему водоему численность составила 3250 ± 1760 экз/м².

Биомасса зооперифитона возрастала от подводящего канала к зоне СХ — от 2970 г/м² до 14433 г/м² (рис. 3.23). Во всех районах, где исследования были проведены на двух глубинах, биомасса закономерно возрастала с глубиной в 1,2—6,8 раза. Также как и по численности выделялась значительная биомасса ст. 17. Биомасса зооперифитона на тростнике была очень невысокой — от 0,14 (зона НТ) до 0,33 г/м² (СХ), и в зоне СТ была на порядок ниже — 0,01 г/м².

Определенная закономерность была отмечена и в изменении показателей разнообразия группировок перифитона на отдельных станциях. На-

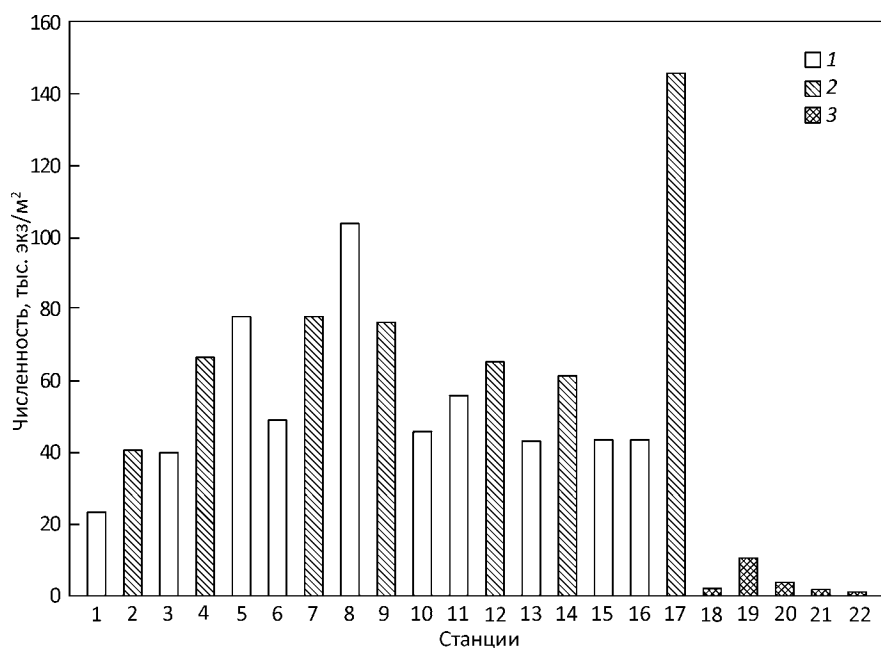


Рис. 3.22. Численность зооперифитона на отдельных станциях в водоеме-охладителе ЧАЭС в летний период 2002 г.: 1 — на бетоне и камнях, глубина 0,5 м; 2 — там же, глубина 2,0 м; 3 — на тростнике

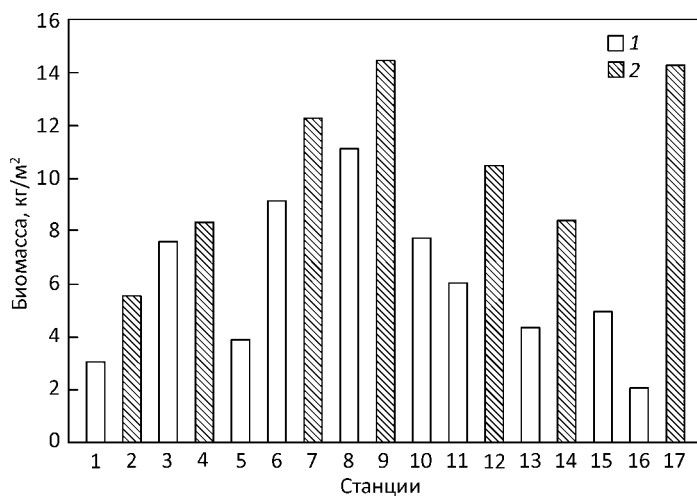


Рис. 3.23. Биомасса зооперифитона на отдельных станциях в водоеме-охладителе ЧАЭС в летний период 2002 г.: 1 — на бетоне и камнях, глубина 0,5 м; 2 — там же, глубина 2,0 м

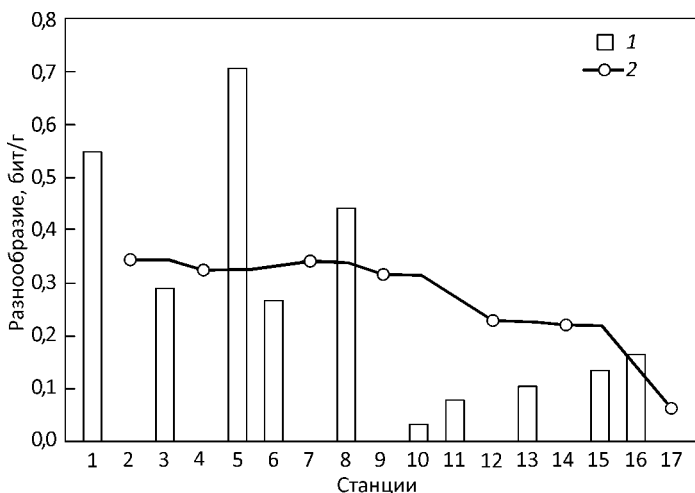


Рис. 3.24. Распределение показателей видового разнообразия зооперифитона по биомассе на отдельных станциях: 1 — глубина 0,5 м; 2 — глубина 2,0 м (группировки на тростнике не включены)

и большее разнообразие по численности отмечено в подводящем канале — 3,757 бит/экз., далее, при определенных колебаниях происходило общее снижение этого показателя по направлению от района подводящего канала к зоне СТ (2,432 бит/экз.). Следует отметить, что на всех трансектах от глубины 0,5 к 2,0 м происходило снижение разнообразия, что связано с таким же закономерным изменением выравненности. Большая часть ее показателей по численности была в пределах 0,5—0,7, снижаясь в этом небольшом диапазоне от глубин 0,5 к 2,0 м. Таким образом, снижение выравненности было определяющим в изменении разнообразия на одном разрезе, а тенденцию снижения разнообразия от зоны СХ к зоне СТ определяло видовое богатство.

Выравненность по биомассе была очень низкой на всех станциях (кроме зооперифитона на тростнике), что свидетельствует о высокой степени доминирования в сообществах. Существовал хорошо выраженный тренд снижения разнообразия по биомассе от района подводящего канала к СРД. Однако, следует отметить различающиеся тенденции на глубинах 0,5 и 2,0 м (рис. 3.24). Разнообразие от ПК до ст. 8 было относительно выше, чем на остальных станциях, причем существовала определенная тенденция возрастания разнообразия от зоны НХ (ст. 10) к зоне СТ. Для глубины 2 м было характерно постепенное снижение разнообразия по направлению от ПК к зоне СТ.

Показатели обилия группировок зооперифитона и показатели их структуры взаимосвязаны. С увеличением биомассы в группировках до величин около 5000 г/м² разнообразие по биомассе резко снижалось, далее возрастание биомассы не влияло на разнообразие, оно оставалось очень низким.

Таблица 3.7. Структурно-функциональные характеристики сообществ зооперифитона в водоеме-охладителе ЧАЭС в летний период 2002 г.

Сообщество	Локализация, станции	N ± m	B ± m	R ± m	Разнообразие		Количество НОТ
					H _N	H _B	
I D. bugensis + N. bretscheri + Gammaridae	1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 16	52550 ± 7253	5995,1 ± 909,0	5549,3 ± 765,5	3,397	0,307	63
II D. bugensis	2, 4, 7, 9, 12, 14, 17	76162 ± 12455	10545,1 ± 1260,1	10229,7 ± 3926,8	2,808	0,267	63
III C. silvestris + E. albipennis	18, 1, 9, 20, 21, 22	3246 ± 1762	0,208 ± 0,059	5,107 ± 1,639	1,489	2,975	19

В то же время разнообразие по численности возросло до значений биомассы около 7000 г/м², затем снижалось (Протасов, Силаева, 2005).

Организмы зооперифитона на тростнике были представлены почти только одними подвижными формами (кроме единичных особей *D. bugensis* и *Hydra* sp.). На всех станциях встречается *Cricotopus* gr. *silvestris*, который доминирует по численности (до 85 %) и биомассе (до 81 %). Никакой закономерности в распределении показателей обилия перифитона по акватории водоема на тростнике установить не удалось, только в зоне СТ показатели и численности и биомассы были на порядок ниже, чем на других. Таким образом, зооперифитон на тростнике может быть охарактеризован как бедный, неоднородный по составу с низкими значениями показателей обилия. Характер и степень доминирования изменялись, поэтому достаточно велик был диапазон показателей видового разнообразия — 0,918—2,186 бит/экз. и 0,828—2,926 бит/г.

На основании анализа распределения структурных показателей, обилия, сходства состава, списка доминантов в водоеме выделили три сообщества зооперифитона с различными характеристиками структуры и функции (табл. 3.7).

Очевидны существенные различия в структуре между сообществами с доминированием дрейссены, с одной стороны, и доминированием личинок хирономид — с другой. Для последнего характерны низкие показатели обилия и деструкции и небольшое количество видов, которые представлены по обилию в основном достаточно равномерно, поэтому высоки и показатели разнообразия. В сообществах дрейссены разнообразие по численности было значительным не только из-за достаточно большой выравненности, но и потому, что здесь высоко было видовое богатство. В табл. 3.7 представлены основные показатели сообществ, однако, следует обратить внимание на некоторые дополнительные (табл. 3.8). Легко видеть, что многие показатели сообществ I и II очень сходны, в отличие от сообщества III, в то же время есть и сходные показатели у всех трех сообществ.

Значительно различались не только количество НОТ, но и количество таксономических групп. Важным показателем структуры сообщества явля-

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.8. Дополнительные структурно-функциональные показатели сообществ зооперифитона техно-экосистемы ЧАЭС в июле 2002 г.

Показатели	Сообщества		
	I	II	III
Количество таксономических групп	18	17	8
Выравненность по численности	0,56	0,46	0,35
Выравненность по биомассе	0,05	0,04	0,70
Выравненность по деструкции	0,18	0,13	0,55
Вариабельность численности (CV), %	44,1	43,2	120,1
Вариабельность биомассы (CV), %	48,0	32,1	63,0
Средняя масса особи, г/экз.	0,114	0,138	0,00006
Доминирование по численности трофической группы, %	Собиратели, 62,0 %	Фильтраторы, 60,0 %	Собиратели, 93,0 %
Доминирование по биомассе трофической группы, %	Фильтраторы, 99,1 %	Фильтраторы, 99,5 %	Собиратели, 82,9 %
Доминирование по деструкции трофической группы, %	Фильтраторы, 87,5 %	Фильтраторы, 93,0 %	Собиратели, 90,2 %
Трофическое разнообразие, бит/трофическую группу	1,293	1,339	1,405
Трофическое разнообразие, бит/экз.	1,212	1,036	0,498

ется вариабельность показателей обилия, которую можно выразить через коэффициент вариации CV. Хотя он зависит от количества станций, а оно варьировало от 5 до 10, все же можно отметить, что сообщества I и II более однородны. На сходство сообществ I и II при значительном отличии сообщества III указывают относительные показатели. Средняя масса особи различалась на 4 порядка, однако это связано с большой массой раковин дрейссены, а вот средние показатели энергосодержания различались всего на 2 порядка. Средняя же деструкция относительно энергосодержания в сообществе III наоборот была почти в два раза выше.

Следует отметить, что первые два из сообществ относятся к типичным сообществам М-типа (Протасов, 1994; 2011), то есть их структура определяется жизнедеятельностью доминанта-эдификатора, в данном случае — *D. bugensis*. Сообщество перифитона на тростнике — сообщество Р-типа, хотя и имеет формально выраженного доминанта по численности и деструкции, однако он не определяет хорологической структуры всего сообщества.

Как видно из описания распределения зооперифитона в водоеме-охладителе в целом и отдельных сообществ основными таксономическими группами выступают дрейссена, гаммариды, корофииды, личинки хирономид, олигохеты. Дрейссене принадлежит особая роль как виду-эдификатору. В среднем по водоему и по численности и по биомассе из двух видов дрейссенид преобладает *D. bugensis*. Средняя биомасса *D. polymorpha* на глубине

0,5 и 2,0 м различалась недостоверно — $202,6 \pm 80,7$ и $333,9 \pm 89,9$ г/м², соответственно. Биомасса *D. bugensis* на глубине 0,5 м была в 1,8 раз достоверно ниже, чем на глубине 2,0 м ($5740,0 \pm 876,4$ и $10106,7 \pm 1226,6$ г/м², соответственно). Вариабельность биомассы у *D. polymorpha* была выше, значения CV по двум глубинам для этого вида составили 71,8—125,9 %, а для *D. bugensis* — 32,1—47,8 %. Таким образом, в целом по водоему популяция *D. polymorpha* в перифитоне была не только менее обильной, чем *D. bugensis*, но и весьма неоднородной по обилию.

Трофическая структура сообщества I определялась доминированием собирателей и фильтратов, сообщества II — полным доминированием последних, а сообщества III — первых. При этом трофическое разнообразие, рассчитанное по количеству видов в трофической группе, было довольно сходным. Это значит, что ни одна из трофических групп не была представлена исключительно большим количеством видов, т. е. все они имели сходную выравненность.

В предыдущий период существования водоема, до и после аварии, при работе АЭС, в пространственном распределении перифитона достаточно четко прослеживалась связь с термическим режимом. Как состав сообществ, так и распределение доминирующих видов были приурочены к определенным термическим зонам. В доаварийный период было отмечено большее количество видов — 122 вида и формы (Протасов, 1994), чем по данным исследований 2002 г. Следует, правда, отметить, что исследования в доаварийный период проводились в использовании легководолазной техники, в течении нескольких лет, в различные сезоны и на большем количестве станций. Тем не менее, пиявки ранее были постоянным компонентом перифитона (наиболее часто встречалась *Erpobdella octoculata*), особенно в сообществах дрейссены, а в период исследований летом 2002 г. они вообще не встречены или были очень малочисленны и не попали в пробы. По данным исследований 2002 г. значительно ниже стало видовое богатство олигохет (17 против 31), личинок насекомых (24 вида и формы против 31) и брюхоногих моллюсков (6 против 18), однако, с 3 до 5 возросло количество видов мшанок, отмечены Kamptozoa (*Urnatella gracilis*). В целом, можно сделать вывод, что условия подогрева и циркуляции при работе АЭС создавали более разнообразные условия для существования большего числа видов зооперифитона, что обусловило большее ценотическое разнообразие (20 сообществ в доаварийный период против 3 в период после остановки работы энергоблоков).

После прекращения влияния сбросных подогретых вод АЭС сообщества зооперифитона в водоеме-охладителе ЧАЭС стали более однородными по составу и показателям обилия. На твердых антропогенных субстратах (бетон, камень) практически во всем водоеме сформировались сообщества с доминированием *Dreissena*. В этих биотопах произошло либо замещение в ранее существовавших сообществах одного вида дрейссены другим (дрейссены полиморфной на дрейсену бугскую), либо распространение сообществ дрейссены в новые биотопы. С развитием пояса воздушно-водной растительности (тростник обыкновенный) на этом субстрате сформировалось сообщество эпифитона, которое обладало невысокими показателями обилия и бедным видовым составом.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ТАШЛЫКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА — ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЮЖНО- УКРАИНСКОЙ АЭС

Водоем-охладитель *Южно-Украинской* АЭС (ЮУАЭС) функционирует с 1982 г., создан на ручье (в балке) Ташлык в результате строительства плотины и наполнения в 1979—1980 гг. водой р. Южный Буг (рис. 3.25). При НПУ площадь водоема составляет 8,6 км², объем — 86,0 млн. м³, берега укреплены каменной наброской. Дополнительная подкачка воды осуществляется из р. Южный Буг и Александровского водохранилища, созданного на этой реке (Гидробиология..., 1991).

ЮУАЭС имеет обратную систему охлаждения, на станции функционирует три энергоблока мощностью по 1 млн. кВт, на охлаждение каждого требуется расход воды до 60 м³/с. В настоящее время ЮУАЭС входит в единый энергетический комплекс, объединяющий АЭС и Ташлыкскую ГАЭС.

Водоем-охладитель — каньонного типа, наибольшая глубина (до 46 м) наблюдается в районе плотины ближе к правому берегу, в центральной части водоема и в верховье преобладают глубины 13—15 м (Протасов и др., 1988).

На протяжении значительного промежутка времени (с 1980 до 1986 г.) гидрохимический класс вод охладителя изменялся от гидрокарбонатно-кальциевого до сульфатно- и хлоридно-натриевого, что было обусловлено поступлением ионов из грунтов минерализованного ручья Ташлик, значения общей минерализации в 1984—1986 гг. колебались в пределах 762—1266 мг/дм² (Гидробиология..., 1991), в целом вода ВО ЮУАЭС отличается достаточно высокой минерализацией — выше 1000 мг/дм³ (Шевченко и др., 2009).

Для водоема характерно выраженное изменение температуры с увеличением глубины, в отдельные годы регистрировалась температурная стратификация. В первый год работы АЭС (1984 г.) температура колебалась в пределах 20—23 °С (на сбросе — 25 °С), при подключении 2-го блока тепловая нагрузка увеличилась, температура возросла до 27—29 °С, а в условиях жаркого лета (1986, 1990 гг.) — до 30—35 (на сбросе — до 38 °С и выше).

В водоеме-охладителе выделяются зоны с разной степенью подогрева — верховье, центральная и глубинная приплотинная части, куда поступают подогретые сбросные воды ЮУАЭС. На центральных участках температура воды максимальна и может достигать 39—40 °С вблизи сброса, с удалением к верховью она снижается на 6—8 °С (Гидробиология..., 1991; Слепнев и др., 2007а).

Грунты в верхней части водоема были представлены черноземами с остатками высшей водной растительности, песчаные грунты занимают небольшие площади в районе сброса подогретых вод, в центральной части дно образовано заиленным гравием, а в приплотинной части — серыми илами с вкраплениями песка, глины и гравия.

Исследования зообентоса и перифитона на водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС регулярно проводились с самого начала строительства

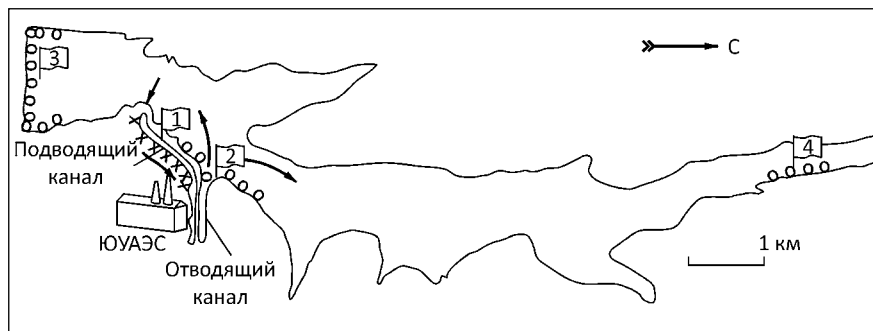


Рис. 3.25. Схема водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС

энергетического комплекса — с 1980 до 1992 г. Затем обследование было проведено летом 1997 г. и после некоторого перерыва исследования возобновились в 2003 г. На протяжении всего периода наблюдений пробы зообентоса отбирали на центральном участке, в районе сброса подогретых вод, в верховье и на приплотинных участках (Кафтанникова и др., 1980; Протасов и др., 1988; Гидробиология..., 1991).

В ручье Ташлык (до строительства ВО) **зообентос** был представлен — 14 таксономическими группами. В первый год функционирования ВО резкое изменение условий существования привело к значительному снижению богатства беспозвоночных — до 2 групп — олигохет и личинок одного вида хирономид (*Procladius ferrugineus*).

К 1983—1984 гг. в водоеме появились гидры, нематоды, корофииды и кумовые раки, личинки стрекоз, поденок, ручейников и мокрецов (верховье), повсеместно встречалась дрейссена (*Dreissena polymorpha*). В 1986 г. в зообентосе зарегистрировано 49 НОТ беспозвоночных из 15 групп, наиболее разнообразно он представлен в верховье (31 НОТ), при преобладании личинок хирономид (14), на остальной территории количество НОТ колебалось от 7 до 15 при доминировании олигохет (6—11 видов). После летнего повышения температуры 1986 г. видовой состав зообентоса резко сократился (7 НОТ — в 1988 г., до 11—13 — в 1990—1997 гг.); после полной элиминации (в 1988 г. не зарегистрирована) дрейссена начала появляться в составе бентоса локально в 1989—1992 гг. (рис. 3.26).

Летом 1997 г. зообентос ВО ЮУАЭС был крайне обеднен, всего зарегистрировано 15 НОТ из 6 групп, личинки хирономид и олигохеты представлены 5 НОТ, другие группы — одним таксоном, моллюски не зарегистрированы. Наиболее богат зообентос был в верховье водоема (9 НОТ из двух групп: личинки хирономид — 5 НОТ и олигохеты — 4 НОТ). В районе водозабора отмечено 5 НОТ беспозвоночных из 4 групп (гидры, *Cordilophora caspia*, ракушковые раки, корофииды и пиявки. В центральной части водоема зарегистрированы только олигохеты и ракушковые раки. На отдельных станциях количество таксонов колебалось от 1 до 6.

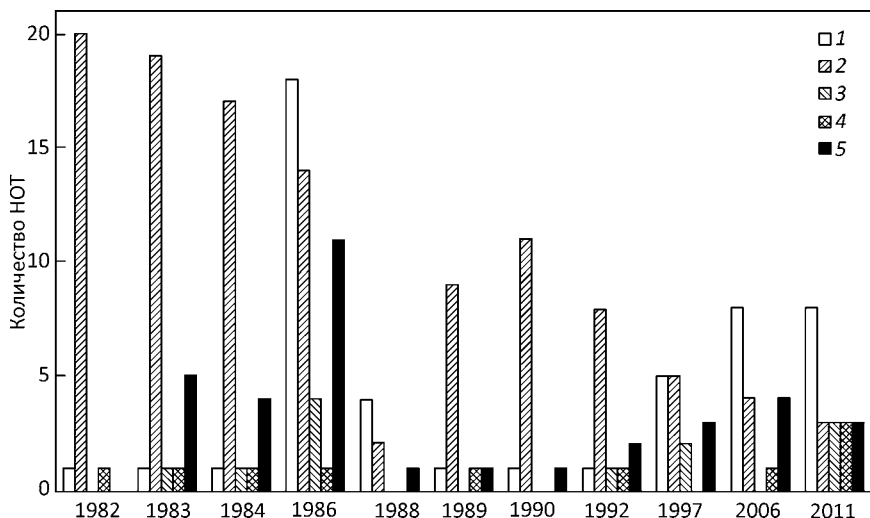


Рис. 3.26. Изменение количества таксонов зообентоса водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС по годам исследований: 1 — Oligochaeta; 2 — Chironomidae; 3 — Crustacea; 4 — Mollusca; 5 — прочие

В 2003 г. в зообентосе отмечено только 7 HOT беспозвоночных: один вид личинок хирономид и 6 HOT олигохет¹. В различные сезоны богатство зообентоса значительно различалось и максимальным (17 HOT) было в летний сезон 2006 г., а минимальным (3 HOT) — в осенний сезон 2005 г. Олигохеты были представлены таксонами двух семейств — Naididae (4 вида р. *Nais*, *Dero* sp., *Pristina bilobata*) и Tubificidae (*Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*). Во все сезоны 2003 г. был отмечен брюхоногий моллюск-вселенец *Melanoides tuberculata*. Личинки *Chironomus plumosus* встречались в водоеме только в осенний сезон 2005 г., а *Polypedilum nubeculosum*, *Cricotopus silvestris* и *Leptochironomus tener* — только летом 2006 г. (Слепнев и др., 20076).

В 2009 г. таксономическое богатство оставалось на уровне 2006 г. при преобладании личинок хирономид (6 HOT) и олигохет (5 HOT). Следует отметить общее увеличение количества таксонов беспозвоночных зообентоса в охладителе до 20 HOT осенью 2011 г. — были обнаружены равноногие раки *Jaera sarsi*, гаммариды *Dikerogammarus haemobaphes* (Слепнев, Силаева, в печати). Особи тропического моллюска *Melanoides tuberculata* (сем. Thiaridae, Gastropoda) в ВО ЮУАЭС найдены в ноябре 2005 г. на глубине 3—6 м на слабо заиленных песках и мелком щебне со створками отмершей дрейсены. Температура воды на этих участках составляла 25—27 °С (Ляшенко, Слепнев, 2006). Первые находки этого моллюска в ВО датированы 2002 г. (Grigorovich et al., 2002). В настоящее время можно констатировать, что этот

¹ Исследования выполнялись А.Е. Слепневым.

моллюск полностью натурализовался в водоеме-охладителе. На протяжении всего периода исследований (с 2006 по 2011 г.) моллюск постоянно встречается в зообентосе в средней и приплотинной части охладителя и доминирует по численности и биомассе, иногда достигая 99 % показателей обилия.

Показатели обилия в ВО в 1980 г. (до начала работы АЭС) на приплотинном участке составляли 90 экз/м² и 0,21 г/м², а в 1981 г. были значительно выше — 7900 и 1,40 соответственно. Наибольшими показателями обилия зообентоса в 1-й год работы АЭС характеризовались верховье (наименее прогреваемые участки) — 1,08 г/м² за счет развития личинок хирономид (95 % общей биомассы), в два раза ниже эти показатели были в районе сброса, где в основном развивались олигохеты (0,54 г/м², 75 % общей биомассы), на приплотинном участке биомасса составляла 0,69 г/м² за счет развития личинок хирономид (98 % общей).

В 1983—1984 гг. численность колебалась в пределах 1785—8013 экз/м², биомасса «мягкого» бентоса — 0,77—2,10 г/м², с учетом дрейссены — до 150,87 г/м². В верховье основную часть «мягкого» бентоса составляли хирономиды, на центральных участках — хирономиды и олигохеты. По биомассе доминировала дрейссена. В районе сброса в 1984—1985 гг. в массе развивались олигохеты (до 34929 экз/м²), а биомасса дрейссены достигала 339,82 г/м² (рис. 3.27).

Летом 1986 г. при крайне высоких температурах показатели обилия снижались (на мелководьях биомасса уменьшилась более чем в 1000 раз), только в верховье биомасса достигала 139,62 г/м².

К осени 1987 г. (летом станция практически не работала) показатели обилия оставались на невысоком уровне, хотя на некоторых участках на-

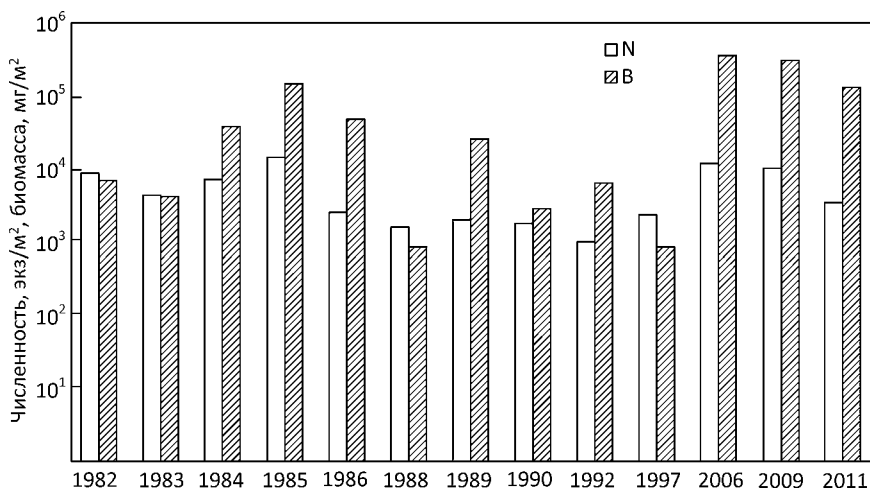


Рис. 3.27. Показатели обилия зообентоса водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС по годам исследований

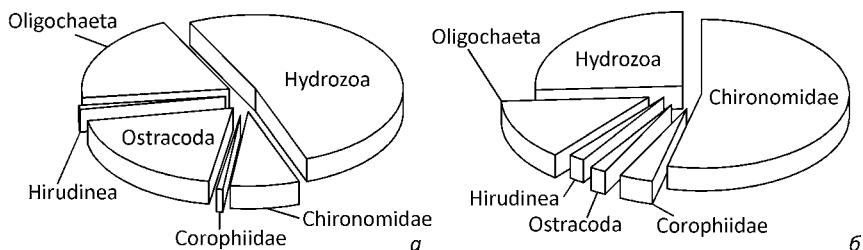


Рис. 3.28. Распределение численности (а) и биомассы (б) по группам зообентоса водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС, летний период 1997 г.

чался процесс восстановления бентофауны, в 1988 г. зообентос ВО был представлен только хирономидами и олигохетами, численность составляла 1160—2120 экз/м², биомасса — 0,60—1,39 г/м². В 1989—1992 гг. в верховье водоема дрейссена отмечена не была, зообентос здесь составляли хирономиды и тубифициды. На центральных участках по численности доминировали тубифициды, по биомассе — хирономиды, и только к 1992 г. здесь появилась дрейссена (1,14 г/м², 82 % общей биомассы), на сбросе дрейссена доминировала как по численности, так и по биомассе.

В 1997 г. показатели обилия были невысокими, особенно биомасса, и значительно колебались на разных участках водоема: численность — от 100 до 25600 экз/м², биомасса — от 0,01 до 4,37 г/м². В целом по водоему основу численности составляли гидры, олигохеты и ракушковые раки, биомассу — личинки хирономид (рис. 3.28).

Максимальная биомасса зообентоса была зарегистрирована в верховье водоема на заиленном гравии с растительными остатками, только здесь встречались личинки хирономид, по биомассе доминировал *S. plumosus* (64,1 % общей), по численности на этом участке преобладали олигохеты сем. Naididae (55,8 %). Максимальная численность зообентоса отмечена в районе водозабора на песках с ракушей дрейссены, по показателям обилия доминировали гидры (72,0 % по численности и 76,6 % по биомассе). В центральной части водоема на черных плотных илах (глубина 12 м) зарегистрированы лишь олигохеты и остракоды. В отводящем канале, в условиях максимальных температур (температура 35,9 °С), отмечены лишь гидры и олигохеты. Самые низкие показатели обилия зообентоса были отмечены в районе плотины — здесь найдены лишь олигохеты р. *Nais*.

Дальнейшие исследования зообентоса ВО показали, что в летний сезон 2006 г. показатели обилия в среднем по водоему составляли 12,18 тыс. экз/м² и 358,06 г/м², основу биомассы зообентоса, иногда более 99 %, составляли брюхоногие моллюски *M. tuberculata* по численности — *Limnodrilus hoffmeisteri* (Слепнев и др., 2007б).

Летом 2009 г., при температуре до 34,7 °С, на глубине 2 м количественные показатели моллюска *M. tuberculata* составляли 2,6 тыс. экз/м² и 276,0 г/м², а на 5 м — 7,7 тыс. экз/м² и 623,0 г/м². При этом доля моллюска в общей численности зообентоса составила на глубине 2 и 5 м соответствен-

но 65 и 86 %, а в биомассе достигала 99 %. Осенью 2009 г. количественные показатели моллюска оставались на высоком уровне — до 5,6 тыс. экз/м² и 550,0 г/м². В «мягком» зообентосе летом 2009 г. преобладали личинки хиромид (верховье ВО) — 9,6 тыс. экз/м² и 2,48 г/м² и олигохеты (центральные участки) — 1,0 тыс. экз/м² и 0,38 г/м². А осенью наибольшими показателями обилия характеризовалось только верховье — при доминировании олигохет (3,4 тыс. экз/м² и 8,35 г/м²) и турбеллярий (6,8 тыс. экз/м² и 3,20 г/м²).

В целом летний и особенно осенний сезоны 2011 г. характеризовались снижением обилия зообентоса. Летом 2011 г. количественные показатели составляли 0,9—5,8 тыс. экз/м² и от 0,32 до 250,10 г/м², при этом *M. tuberculata* преобладали как по численности, так и по биомассе. Осенью 2011 г. показатели обилия зообентоса составили 0,7—3,2 тыс. экз/м² и 1,33—61,07 г/м², биомассу определяли моллюски *M. tuberculata* (Слепнев, Силаева, в печати).

Таким образом, за период существования водоема-охладителя его экосистема изменялась в зависимости от степени техногенной нагрузки, в частности термической. На начальных этапах эксплуатации охладителя подогрев положительно повлиял на развитие зообентоса, особенно на некоторые виды олигохет и дрейссены. Летний перегрев водоема в 1986 г. привел к значительному угнетению донных группировок, донная часть популяции дрейссены практически полностью элиминировалась. Частичное ее восстановление произошло в 1989—1992 гг., однако в 1997 г., как и в настоящее время, дрейссена отсутствует на всей акватории водоема. По данным 1997 г. основную долю в показателях обилия зообентоса составляли олигохеты (ювенильные тубифициды и *Nais* sp.) и гидры.

По результатам современных исследований общее количество НОТ зообентоса изменилось незначительно по сравнению с 1997 г. В настоящее время повышенная температура создает условия для развития вида-вселенца — *M. tuberculata*. Показатели обилия «мягкого» бентоса в целом несколько возросли, а средние значения биомассы зообентоса по водоему достигли уровня, отмеченного в 1986 г.

* * *

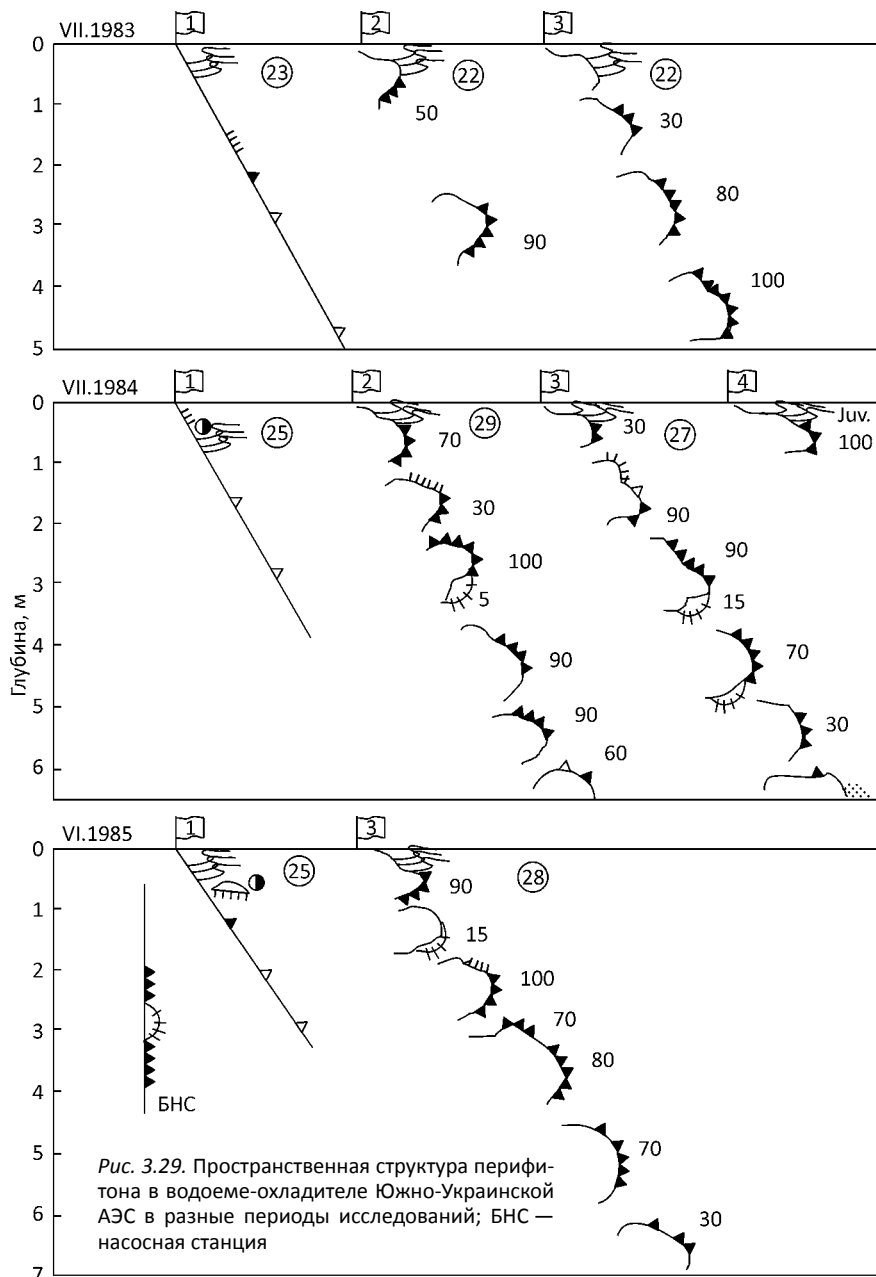
Конструктивные особенности систем охлаждения ЮУАЭС определяли своеобразие состава и структуры **перифитона**. В отводящий канал поступает вода из глубинных слоев (12—14 м) средней части охладителя, поэтому, в отличие от других техно-экосистем АЭС Украины, в канал попадают в основном придонные гидробионты с большой глубины. Так как водоем-охладитель отличается значительными глубинами в приплотинной части, каменные субстраты распространяются на плотине на глубину 7—10 и более метров. Таким образом, в данном водоеме было исследовано распространение перифитона на наибольших глубинах в водоемах-охладителях. Сбросные воды по короткому отводящему каналу длиной 600 м попадают в водоем и образуют в охладителе две циркуляции: подогретая вода достигает плотины и, в меньшей степени, верховья охладителя, в связи с чем температурный режим в этих биотопах существенно различается. Под-

питка водоема-охладителя производится по специальному трубопроводу из р. Южный Буг, население которой является биофондом формирования флоры и фауны охладителя, в том числе и контурных группировок (Гидробиология..., 1991; Протасов, 1994).

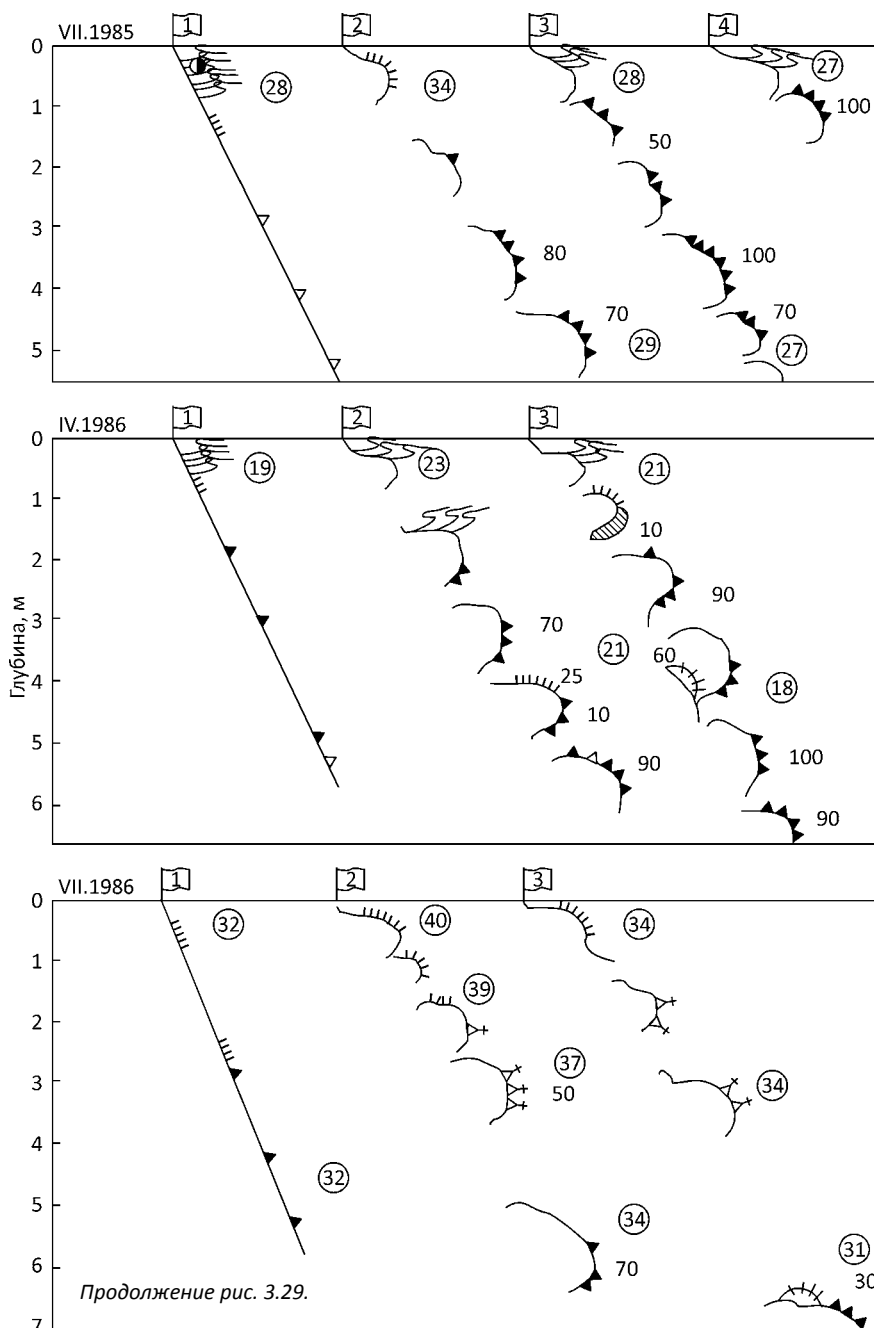
Периодические подводные обследования в нескольких биотопах проводили на 4 основных трансектах¹ — в подводящем канале, в районе выхода отводящего канала, на плотине и в верховье ВО (см. рис. 3.25). В летний период 1984 г. температура воды не превышала 30 °С, а в 1983 г. энергоблок не работал. К этому начальному периоду функционирования водоема-охладителя сформировалось сообщество перифитона с доминированием дрейссены (*D. polymorpha*) (рис. 3.29, а). Биотопические особенности — в частности, характер субстрата, играл существенную роль в формировании состава и структуры перифитона. В подводящем канале в течение всего периода исследований отмечался довольно постоянный облик сообществ перифитона. На малой глубине характерным было наличие пояса водоросли энтероморфы (*Enteromorpha intestinalis*), только при самых высоких температурах (июль 1986 г.) здесь были отмечены скопления синезеленых водорослей. Среди водорослей постоянно отмечались подвижные формы — брюхоногие моллюски, гаммариды. Сплошное покрытие поселениями дрейссены отмечено не было, до глубины 6 м встречались отдельные разреженные друзы моллюска. Центрами скопления («друзообразования») часто служили отдельные камешки. Однако, нельзя утверждать, что количество взрослых особей дрейссены всегда определялось небольшим количеством велигеров. Такое предположение можно было сделать исходя из того, что личинки могут попасть с током воды из глубинных слоев водоема, где, как правило, численность их невелика. Однако, на вертикальных бетонных поверхностях в районе БНС-1 на глубине 2 м было отмечено сплошное поселение дрейссены, а также колонии губки (1985 г.).

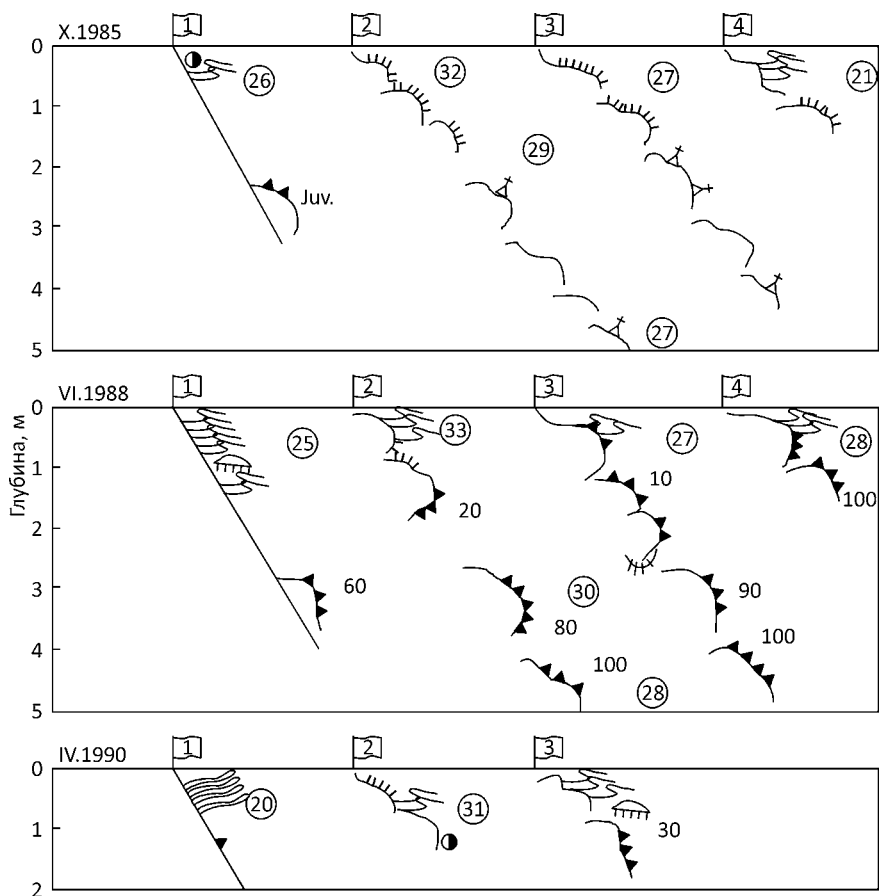
В начальный период на каменной наброске в районе сброса и на плотине явно преобладали сообщества с доминированием дрейссены. В период до начала эксплуатации водоема как охладителя (1983 г.) доминирование дрейссены в этом сообществе составляло до 60 % по численности и 93 % — по биомассе. В перифитоне было отмечено 20 НОТ из 9 групп — 5 видов олигохет, личинки хирономид, гаммариды, личинки ручейников, поденок, гидры, губки. Общая численность беспозвоночных составляла 20200 экз/м², биомасса — 1850 г/м². Разнообразие, рассчитанное по численности, в связи с достаточно высокой выравненностью было 2,229 бит/экз., разнообразие по биомассе наоборот, было низким — 0,396 бит/г. В целом можно считать, что в водоеме сформировалось достаточно типичное сообщество с доминированием дрейссены, характерное для водохранилищ. Это интересно в том плане, что сформировалось оно из организмов, поступающих из р. Южный Буг, однако такие организмы как брюхоногие моллюски — лунки (*Theodoxus fluviatilis*), фаготии (*Fagotia esperi*) типичные для реки, в охладителе отсутствовали.

¹ В исследованиях принимали участие А.А. Протасов, С.А. Афанасьев, А.Е. Слепнев, А.Ю. Янакаев, А.В. Коломиец.



3. Контурные группировки техно-экосистем атомных электростанций





Окончание рис. 3.29.

В 1984, 1985 и весной 1986 г. общая картина распределения и макро-структуры перифитона практически не изменилась (рис. 3.29). На плотине от уреза воды и до глубины 2 м верхние освещенные поверхности камней были покрыты зелеными нитчатыми водорослями при наибольшем их скоплении на глубине до 0,5 м. Среди нитчаток в большом количестве обитали личинки хирономид *Cricotopus silvestris*, *Paratanytarsus lauterborni*, олигохеты, личинки ручейников. В более глубоких горизонтах сообщество дрейссены было доминирующим во всех биотопах. Так, показатели обилия беспозвоночных на плотине и в районе сброса были сходными 64880 и 51650 экз/м² и 3850,0 и 4540,0 г/м², соответственно.

Ценотическая структура перифитона не была разнообразной. Можно было выделить несколько основных сообществ, локализация которых оп-

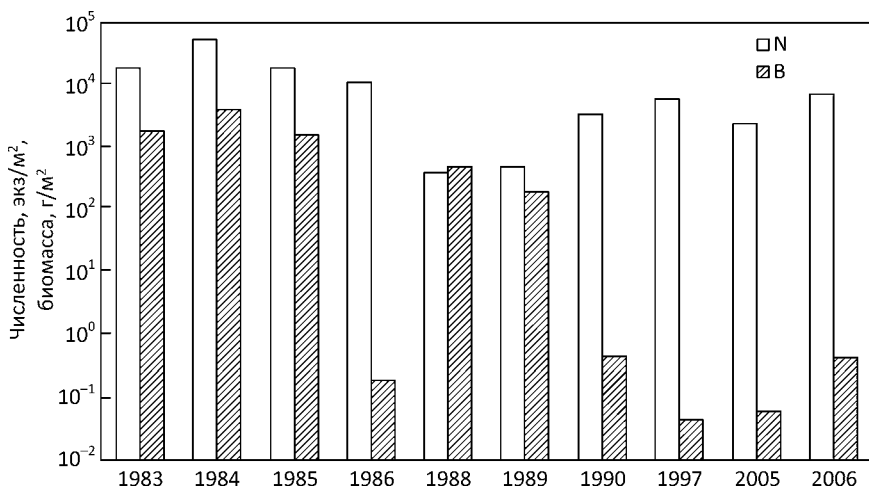


Рис. 3.30. Количественные показатели зооперифитона водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС в разные годы исследований

ределялась, в первую очередь, глубиной и освещенностью. Сообщество **D. polymorpha (Cladophora)** было локализовано на каменной наброске дамбы и укрепления берега, в нем было отмечено 19 НОТ беспозвоночных, численность составляла 22600 экз/м², а биомасса — 76,7 г/м². На глубине от 0,7 до 1,0 м в подводящем канале было локализовано сообщество с доминированием дрейссены. В нем отмечено было всего 9 НОТ, биомасса составляла лишь 59 г/м².

Основным сообществом, занимавшим большую часть биотопов было сообщество **D. polymorpha + Spongilla lacustris**. Средняя численность здесь была 58300 экз/м², биомасса — 4200,0 г/м². Колонии губки встречались постоянно среди поселений дрейссены, формируя общий габитус сообщества. Отмечено здесь 20 НОТ беспозвоночных. Показатели разнообразия по численности были достаточно высокими — 1,997 бит/экз., разнообразие по биомассе — в связи с низкой выравненностью было очень малым — 0,065 бит/г.

Можно сделать заключение, что в первый период существования техно-экосистемы ЮУАЭС при относительно невысокой степени воздействия техногенных факторов структура перифитона была достаточно однородной и стабильной. Эта структура сохранялась до начала летнего периода 1985 г.

В июле 1985 г. температура воды в районе сброса составляла 34 °С и структура перифитона стала приобретать черты, характерные для этих участков в других водоемах-охладителях (см. рис. 3.29). В районе сброса дрейссена отмечена не была до глубины 3 м и только на глубине 5 м ее поселения в виде щеток занимали до 80 % субстрата.

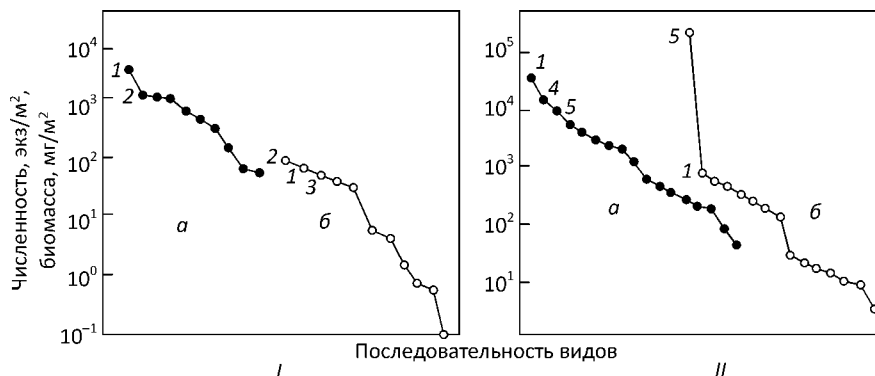


Рис. 3.31. Ранжированное распределение численности (I) и биомассы (II) в сообществах **Oligochaeta** (a) и **D. polymorpha + Aeolosoma hemprichi** (б) на плотине в водоеме ЮУАЭС, летний период 1986 г.: 1 — *Aeolosoma hemprichi*; 2 — *Aulophorus furcatus*; 3 — *Pristina aequisetata*; 4 — *Acanthocyclops americanus*; 5 — *Dreissena polymorpha*

В этот период можно было выделить несколько основных сообществ перифитона. В подводящем канале на глубине 0,5—0,7 м было локализовано сообщество **Paratanytarsus lauterborni (Enteromorpha intestinalis)**. Оно располагалось поясом по длине всего канала. Из животных здесь отмечены только подвижные формы — личинки хирономид, олигохеты, брюхоногие моллюски. На глубине более 1,5 м было локализовано сообщество дрейссены, габитус которого определяли довольно редкие островки друз дрейссены. Биомасса составляла всего 60 г/м², численность была также невысокой — 3,5 тыс. экз/м². Здесь было отмечено всего 9 НОТ беспозвоночных. Сообщество дрейссены, которое занимало каменистые субстраты на плотине, в глубоководной части отсыпки возле сброса, на отсыпке укрепления берегов, по показателям обилия отличалось от такового, отмеченного в 1984 г., биомасса была в два раза ниже — 1700 г/м², численность — около 20000 экз/м². Таким образом, сильное влияние подогретых сбросов на перифитон в водоеме было достаточно локально и распространялось на небольшие глубины.

В летний период 1986 г., как из-за жаркого лета, так и из-за аварии на ЧАЭС и необходимости работы ЮУАЭС на полную мощность, термический режим в охладителе был экстремальным. В условиях повышения температуры воды на сбросе до 40 °С и более в сообществах произошли катастрофические изменения — массовая гибель дрейссены до глубины 6—7 м, где при температуре 34 °С были отмечены лишь отдельные живые особи. Следует отметить, что и при этих экстремальных температурах, характерное для районов сброса подогретых вод в других охладителях сообщество синезеленой нитчатой водоросли лингбии существовало на малых глубинах в районе сброса. Биомасса синезеленых водорослей превышала 500 г/м² отмечено было 6 НОТ беспозвоночных — олигохеты, ракообразные. Характерные для

зон наибольших температур олигохеты *Pristina aequiseta* при температуре 40 °С были отмечены на малой глубине с небольшой численностью — около 800 экз/м², однако глубже при температуре 39 °С их численность возросла до 100 тыс. экз/м².

На плотине также произошло отмирание поселений дрейссены. Здесь на малых глубинах доминировали олигохеты *A. hemprichi*, *A. furcatus*, *P. aequiseta*. По численности в очень малой степени доминировала олигохета *A. hemprichi*, в целом для сообщества была характерна высокая выравненность (рис. 3.31, а). Общие показатели обилия были сравнимы с сообществом вблизи сброса — 11300 экз/м².

На глубине 5—8 м еще сохранялось сообщество **D. polymorpha + Aeolosoma hemprichi**, оно состояло из 18 НОТ. Доминирование дрейссены по биомассе было значительным, поэтому разнообразие было низким — 0,44 бит/г (рис. 3.31, б), однако здесь дрейссена уже не была эдификатором, а была как бы включена в термофильное сообщество пока еще заметным элементом. К осени 1986 г. сообщество дрейссены, столь обширное в предыдущие годы практически элиминировало.

Далее произошло определенное восстановление структуры сообществ. Летом 1988 г. общий габитус сообществ с преобладанием дрейссены был довольно сходен с ранее существовавшим. Температура воды в верхних слоях на сбросе достигала 33 °С, однако в глубинных горизонтах при температуре 30 °С и ниже покрытие субстрата дрейссеной достигало 80—100 % (см. рис. 3.29).

На плотине также происходило восстановление сообщества **D. polymorpha + S. lacustris**. Биомасса, однако, была ниже, чем в первом периоде формирования охладителя — 400 г/м². В 1989 и 1990 гг. также происходило определенное восстановление структуры сообществ перифитона. Однако в летний период при высокой температуре вновь произошло отмирание дрейссены до глубины 6—8 м. Численность сообщества составляла 3600 экз/м², а биомасса была очень невысокой — 0,45 г/м² при доминировании остракод по численности и биомассе. Отмечено было всего 6 НОТ беспозвоночных.

В летний период 1997 г. исследования показали, что зооперифитон в качественном отношении продолжал оставаться бедным. В подводящем канале было отмечено всего 3 НОТ, на сбросе подогретых вод — 5, в охладителе — 17 НОТ. В подводящем канале на бетоне отмечена *Cordilophora caspia*.

Показатели обилия зооперифитона были крайне низкими: в подводящем канале численность достигала 2700 экз/м², биомасса — 0,05 г/м². в районе сброса на глубине 2,5 м биомасса достигала 1,17 г/м² в основном за счет крупных тубифицид, однако в других микробиотопах (приустьевная зона, боковые стороны камней на глубине 0,5 м) она была всего от 0,03 до 0,15 г/м². На плотине при температуре воды 32 °С на верхних сторонах камней при 100 % покрытии синезелеными водорослями было отмечено всего 2 НОТ беспозвоночных, численность была 4500 экз/м², биомасса составляла 0,03 г/м². На глубине 2,5 м было отмечено 3 НОТ, биомасса составила 0,08 г/м², также низкими были показатели биомассы на глубине 6—7 м — 0,02 г/м² при доминировании остракод.

В верховье водоема-охладителя при температуре 28 °С биомасса на глубине 0,5 м составила 0,09 г/м² и глубже резко возрастала за счет поселений мшанки *Plumatella emarginata*. Ее биомасса на глубине 1,0—1,5 м на нижних сторонах камней достигала 112 г/м², по численности доминировали остракоды.

Таким образом, определенное восстановление сообществ перифитона, которое наблюдалось в некоторые периоды после техногенного воздействия, было нарушено. Этот процесс деградации структуры перифитона и формирование новой продолжился и в последующие годы.

Исследования, проведенные в 2005 г. (Воликов и др., 2006) показали, что состав перифитона продолжал оставаться бедным¹: было отмечено 17 НОТ (на отдельных станциях от 2 до 6). Олигохеты и личинки хирономид были представлены 5 видами. Показатели обилия были низкими — численность 9800 экз/м² (верховье водохранилища), максимальная биомасса отмечена в средней части ВО — до 1,85 г/м². На плотине значения биомассы были одними из наименьших — 0,26 г/м². Средняя биомасса по водоему составила 0,54 г/м².

В 2006 г. богатство перифитона несколько возросло — был отмечен 21 НОТ. Олигохеты были представлены 9 видами, личинки хирономид — 6. Из ракообразных были отмечены два вида гаммарид, корофииды, мизиды. Из гастропод — только один вид — *Melanoides tuberculata*. Значения показателей численности на отдельных станциях были от 3230 до 10760 экз/м² и от 0,05 до 8,14 г/м². Увеличение биомассы по сравнению с предыдущим годом было в основном за счет олигохет, личинок хирономид, а в средней части водохранилища за счет гастропод (Воликов и др., 2007).

Развитие перифитона в техно-экосистеме ЮУАЭС также как и бентоса имело несколько этапов. Сообщества зооперифитона еще до начала эксплуатации водохранилища в качестве охладителя, имели хорошо выраженного доминанта — дрейссену, развитие которой определяло как общий габитус, так и показатели обилия на большей части антропогенных субстратов. Значительное возрастание температуры воды привело к элиминации популяции дрейссены, некоторых других организмов (например, гастропод, гаммарид). Однако последующее снижение техногенной нагрузки способствовало временному восстановлению прежней структуры, хотя это и не было продолжительным. В настоящее время показатели богатства состава, обилия зооперифитона находятся на очень низком уровне.

¹ Следует учитывать, что исследования в 2005 и 2006 гг. проводили в осенний период, что могло оказать определенное влияние на небогатый состав сообществ. Кроме того, отбор проб проводили только на малой глубине без применения водозлазного снаряжения.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ТЕХНО– ЭКОСИСТЕМЫ РОВЕНСКОЙ АЭС И ФОНОВОГО ВОДОТОКА — р. СТЫРЬ

Ровенская АЭС (РАЭС) — единственная в Украине, в системе охлаждения которой отсутствует водоем-охладитель. Река Стырь, правый приток р. Припяти, является объектом водопользования РАЭС, в пределах 30-км зоны станции расположено 113 км реки.

В настоящее время на РАЭС функционирует 4 блока, система их охлаждения — оборотная с градирнями, от которых после охлаждения вода по открытому подводящему каналу направляется к блочным насосным станциям. По открытому отводящему каналу вода с блоков попадает на градирни для охлаждения (рис. 3.32, а). Пополнение воды проводится из р. Стырь — вода через канал поступает в илоотстойник водозабора, из которого насосами БНС подается на станцию. Ниже по течению р. Стырь расположена точка водовыпуска подогретой воды АЭС (рис. 3.32, б), общим расходом 0,2 м³/с, что составляет около 1,2 % среднего расхода воды в реке в межень. По проектным данным, температура сбросной воды из технических систем в самый жаркий летний период года может достигать 40—42 °С, температура в реке после ее смешивания на расстоянии 500 м от места сброса повышается на 2,7—3,0 °С.

Река Стырь имеет ложе шириной 30—40 м, с резким увеличением глубины от берега. На исследованном участке (30-км зона РАЭС) глубины в медали составляли 1,9—2,5 м (максимальная — до 6 м), на прибрежных участках (до 2 м от берега) — колебались в пределах 0,7—2,5 м.

Грунты медиали р. Стырь представлены песками, прибрежные участки — песками разной степени заиления, с включением глины и растительных остатков. Снижение скорости течения в илоотстойнике водозабора приводит к сильному заилению грунтов. Грунты открытого подводящего канала АЭС также представлены илами значительной толщины.

Температура придонной воды р. Стырь на исследованных станциях колебалась от 18,2 до 19,5 °С. На участке ниже сброса подогретых вод температура на мелководье правого берега, непосредственно в месте сброса достигала 34 °С, при последующем разведении снижалась до 26,2 °С, температура в медали и у левого берега здесь не отличалась от такой на других участках.

В период исследований (летний и осенний периоды 2000 г.) в химическом составе воды р. Стырь преобладали ионы гидрокарбонатов (295,9—311,1 мг/дм³) и кальция (86,2—92,2 мг/дм³), их концентрация не выходила за пределы многолетних данных. По общей жесткости воду реки можно отнести к умеренно жесткой (5,2—5,5 мг-экв/дм³). В воде реки максимальное содержание аммонийного азота (0,69 мг N/дм³) и нитратов (0,80 мг N/дм³) зафиксировано в районе сброса очистных сооружений г. Кузнецовска. Химический состав воды открытого подводящего канала РАЭС отличался от речной: величина общей жесткости превышала значение для речной воды в 2,7 раза, содержание сульфатов было выше в 3—4 раза (110,7 мг/дм³), хлоридов — в 2—2,5 раза (37,3 мг/дм³), зарегистрировано максимальное

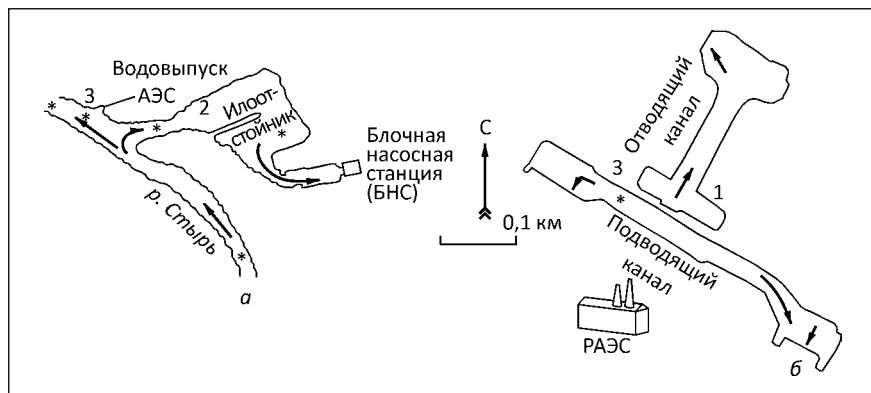


Рис. 3.32. Схема объектов водоснабжения Ровенской АЭС, где проводились гидробиологические исследования: а — участок р. Стырь с сооружениями илоотстойника водозабора и сброса подогретых вод РАЭС; б — открытые подводящий и отводящий каналы; * — точки отбора проб зообентоса

содержание минерального азота и фосфора (соответственно 2,05 мг N/дм³, 0,155 мг P/дм³) (Протасов и др., 2005).

Материал для исследований **зообентоса** в водных объектах зоны РАЭС отбирали в июне 2000 г. в р. Стырь выше и ниже сброса подогретой воды РАЭС на гидробиологических разрезах (рипаль, медиаль), и в технических водных объектах — илоотстойнике и его канале, подводящем канале от градин к блокам АЭС (Силаева, Протасов, 2005).

Зообентос р. Стырь и технических водных объектов РАЭС различался в количественном и качественном отношении — в реке отмечен 101 НОТ из 19 групп, в технических водных объектах — 20 НОТ из 7 групп. Наибольшим видовым богатством во всех водных объектах характеризовались личинки хирономид и олигохеты, в реке еще и личинки ручейников и поденок, отмечены также турбеллярии, нематоды, гидры, пиявки, остракоды, изоподы, личинки стрекоз, жуков и двукрылых, мокрецов, брюхоногие и двустворчатые моллюски, водные клещи (см. Приложение 1).

В группу таксонов со встречаемостью выше 50 % входило лишь два НОТ: *Propappus volki* и ювенильные тубифициды, количество НОТ на отдельных станциях колебалось от 1 (на участке сброса подогретой воды) до 35 (приузенные участки старицы).

Видовой состав зообентоса медиали р. Стырь был более беден (20 НОТ из 8 групп), чем рипали (44 НОТ с 13 групп), а на приузенных участках отмечено 63 НОТ с 18 групп, только здесь отмечены турбеллярии, 4 вида пиявок, *Stylaria lacustris*, *Nais communis*, *Eiseniella tetraedra*, *Pelosclex ferox*, *Rheotatytarsus execus*, *Glyptotendipes gripecoveni*, *Eukiefferiella hospita*, *Cloeon* sp., *Platyncnemis pennipes*, моллюски р. *Unio* и *Bithynia tentaculata*.

В условиях заиления в технических водных объектах видовой состав зообентоса несколько изменялся, появились представители р. *Limnodrilus*,

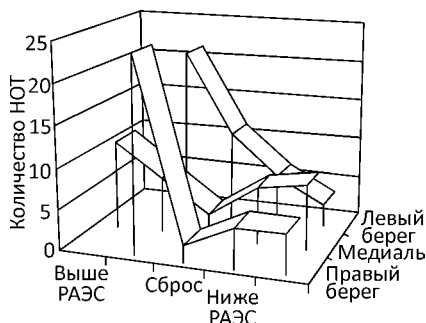


Рис. 3.33. Изменение количества НОТ зообентоса р. Стырь выше и ниже сброса подогретой воды Ровенской АЭС, летний период 2000 г.

р. *Chaoborus*; только здесь отмечен *Chironomus plumosus*, *Procladius ferrugineus* и *Leptochironomus tener*, количество таксонов на станциях было невысоким и колебалось от 8 до 11.

В открытом подводящем канале, в условиях повышенной температуры и заиления, зообентос насчитывал лишь 6 таксонов: 2 НОТ олигохет (*Limnodrilus* sp., *Dero* sp.), 3 — личинок хирономид (*C. plumosus*, *Polypedilum convictum*, *P. ferrugineus*) и личинки стрекоз.

Отмечено некоторое уменьшение количества НОТ от участков р. Стырь выше АЭС к тем, что расположены ниже энергостанции. Так, на верхних участках количество НОТ колебалось от 7 до 23, на станции ниже сброса подогретой воды — от 2 до 11, а на нижних — 3—8 НОТ (рис. 3.33).

В зоне влияния подогретой сбросной воды РАЭС (правый берег и медиа́ль) количество НОТ было наименьшим (соответственно 2 и 3 НОТ), а непосредственно в зоне действия сбросного потока зарегистрированы лишь ювенильные тубифициды.

Таксономическое разнообразие ($H_{\text{такс}}$) зообентоса р. Стырь и технических водоемов РАЭС колебалось от 0 (зарегистрирована лишь одна группа, участок возле сброса) до 3,28 бит/таксон (14 групп). $H_{\text{такс}}$ мало отличался в медиа́ли, рипали и на заиленных участках (соответственно 1,65 и 1,62 и 1,89 бит/таксон), и несколько увеличивался на приурезных участках — 2,14. В среднем таксономическое разнообразие было достаточно невысоким — $1,80 \pm 0,19$ бит/таксон. Выравненность была высокой — $0,89 \pm 0,01$, что свидетельствует о достаточно равномерном распределении количества НОТ в многочисленных группах.

На разрезе р. Стырь, ниже сброса подогретой воды, зообентос был представлен олигохетами, личинками хирономид и в незначительном количестве — Ostracoda и личинками Ephemeroptera. В медиа́ли отмечена максимальная численность относительно других станций этого же биотопа, а на правобережном участке (который испытывает наибольшее влияние повышенной температуры сбросных вод) — максимальную по сравнению с другими участками медиа́ли и рипали р. Стырь (11700 экз/м^2). Уровень биомассы на разрезе в медиа́ли и рипали был подобным с другими станциями (рис. 3.34). Доминантом как по численности, так и по биомассе в медиа́ли и на правобережном рипальном участке были олигохеты *Propappus volki*, доля этого вида в количественных показателях составляла 53,9—99,4 %. На приурезных участках в точке сброса подогретых вод, в условиях повышенной температуры (34°C) и турбулентности зообентос характеризовался невысокими количественными показателями — 1300 экз/м^2 и $0,46 \text{ г/м}^2$.

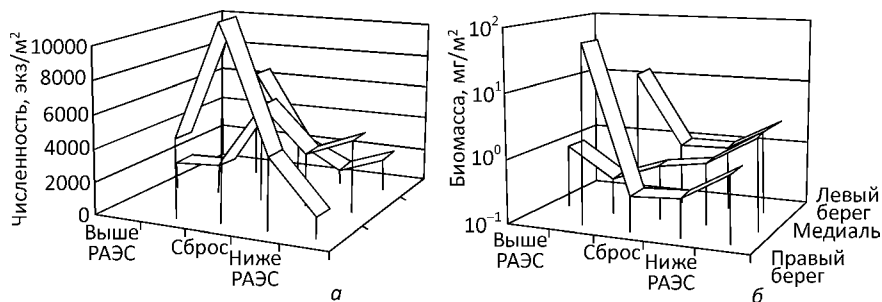


Рис. 3.34. Изменение численности (а) и биомассы (б) зообентоса р. Стирь выше и ниже сброса подогретой воды Ровенской АЭС, летний период 2000 г.

Количественные показатели зообентоса контрольных участков в меди-али и рипали были низкими и колебались в пределах 933—6600 экз/м² и 0,34—29,22 г/м² в «мягком» зообентосе, и до 61,24 г/м² — с учетом моллюсков. По численности доминировали *P. volki*, по биомассе — личинки ручейников, тубифициды *Tubitex newaensis* и двустворчатые моллюски сем. *Cycladidae*.

Численность и биомасса зообентоса приуездных зон контрольных участков колебались в значительных пределах, особенно биомасса, и в среднем были на порядок выше, чем в других биотопах (табл. 3.9). Численность изменялась в пределах 4500—42313 экз/м², биомасса — 3,70—2506,10 г/м². Максимальные значения количественных показателей отмечены выше РАЭС, 38,5 % численности составляли тубифициды, 20,2 % — *Asellus aquaticus* и 12,7 % — пиявки, а общую биомассу определяли моллюски: двустворчатые р. *Unio* — 58,2 % и брюхоногие — 40,4 % (в основном *Viviparus viviparus*).

Количественные показатели зообентоса в ковше илоотстойника были самыми низкими по сравнению с другими заиленными участками (канал илоотстойника, подводящий канал РАЭС) (2300 экз/м², 16,76 г/м²), моллюски здесь не зарегистрированы, а основу зообентоса составляли: по численности тубифициды, а по биомассе — *S. plumosus*. В канале илоотстойника значения количественных показателей возрастали по численности — на порядок, по биомассе «мягкого» зообентоса — втрое, относительно ковша (32800 экз/м², 97,64 г/м²), в канале брюхоногие моллюски *Lithoglyphus naticoides* составляли 45,1 % общей биомассы. Зообентос открытого подводящего канала РАЭС в условиях высокого заиления и повышенной температуры (26,3 °C) имел относительно невысокие значения количественных показателей (8800 экз/м², 3,66 г/м²), по численности здесь доминировали олигохеты *Dero* sp., по биомассе — личинки хирономид. Показатели обилия зообентоса заиленных биотопов технических водоемов были подобными таковым заиленных биотопов контрольных участков (5350 экз/м², 97,05 г/м² при доминировании тубифицид, *S. plumosus* и *V. viviparus*).

НОТ-разнообразие зообентоса (индекс Шеннона по численности) исследованного участка р. Стирь было в достаточно широком диапазоне — от

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.9. Количественные показатели зообентоса приуездных участков
р. Стырь в зоне Ровенской АЭС, июнь 2000 г.

Группы	Показатели	Выше РАЭС, км		Сброс РАЭС	Ниже РАЭС, км	
		18 *	14		5	15
Oligochaeta	N	16938	7900	1300	11200	3200
	B	6,34	11,84	0,46	5,80	2,18
Chironomidae	N	1125	200	—	4400	1000
	B	0,41	0,20	—	1,71	1,38
Другие личинки Insecta	N	1875	6900	—	1800	—
	B	6,40	2,05	—	1,52	—
Прочие	N	18125	500	—	200	100
	B	21,40	0,03	—	0,01	0,01
Mollusca	N	4250	3200	—	2800	200
	B	2471,51	65,90	—	23,70	0,14
Сумма	N	42313	18700	1300	20400	4500
	B	2506,05	80,02	0,46	32,74	3,71

* Представлены показатели обилия приуездных зон старицы, расположенной на участке выше РАЭС. N — численность, экз/м²; B — биомасса, г/м²

0,00 (один НОТ) до 3,62 бит/экз., отмечено снижение этого индекса от верхних участков к нижним.

Следует заметить, что в открытом подводящем канале РАЭС при низком разнообразии по численности (0,57) отмечено достаточно высокое (на исследованном участке) значение разнообразия по биомассе (1,94), что объясняется значительным доминированием по численности мелких форм олигохет *Dero* sp. (92 % общей) и значительной выравненностью по биомассе.

Таким образом, уровень развития зообентоса реки определялся типом биотопа: в медиали количественные показатели были ниже, чем на рипальных и приуездных участках. Влияние подогретых сбросных вод, объем которых достаточно незначителен, приводит к изменениям в показателях обилия зообентоса лишь на незначительном по размерам участке (50—100 м). Структура группировок здесь упрощена, на участке непосредственного влияния подогретых сбросных вод разнообразие имело нулевое значение, поскольку в зообентосе был представлен лишь один таксон.

Следовательно, можно сделать вывод, что влияние подогретых сбросных вод на количественные показатели зообентоса в лотических условиях является локальным. Следует подчеркнуть, что в данном случае речь идет о небольшом расходе сбросных вод из условно «замкнутой» системы

оборотного водоснабжения, который не идет ни в какое сравнение с расходном циркуляционных сбросных вод, которые попадают в водоемы-охладители!

В техническом водном объекте — открытом подводящем канале, зообентос имел средний уровень численности и биомассы, а структура доминирования по этим показателям отличалась от таковой остальных исследованных участков — отмечено высокое НОТ-разнообразие по биомассе и низкое по численности, поэтому для данного случая показатели разнообразия могут быть индикатором наличия техногенного влияния.

В осенний период 2000 г. зообентос исследовали в р. Стырь, а также в открытом подводящем канале АЭС. Температура воды в реке колебалась в пределах 10,8—11,2 °С, в зоне влияния сброса подогретых вод она составляла 12,8 °С.

Всего в зообентосе р. Стырь в осенний период отмечено 39 НОТ беспозвоночных из 15 групп. Как и летом, наиболее богато представлены личинки хирономид — 14 НОТ и олигохеты — 6; отмечено также по 3 НОТ личинок поденок и двустворчатых моллюсков, по 2 — брюхоногих моллюсков, личинок жуков и двукрылых, а также нематоды, ракушковые раки, личинки клопов, ручейников, мокрецов, мшанки и водные клещи.

Различия видового состава зообентоса в разных биотопах водоемов зоны РАЭС были такими же, как и летом: в медиали — был беднее (13), чем рипали (26 НОТ), а групповая представленность зообентоса медиали была в 3 раза меньше.

Показатели обилия зообентоса медиали р. Стырь, как и летом, были невысокими, отмечено их уменьшение от вышележащих от станции участков вниз по течению. В рипали показатели обилия, как и медиали, были невысокими: численность «мягкого» бентоса колебалась в пределах 816—1475 экз/м², биомасса — 0,33—5,83 г/м².

Уровень развития зообентоса на левом (не прогреваемом) и на правом берегах участка ниже сброса подогретой воды несколько отличался: в первом случае показатели обилия были минимальными (67 экз/м² и 0,01 г/м²) и здесь отмечен только *Propappus volki*; во втором — показатели численности и биомассы возрастали (1600 экз/м² и 8,7 г/м²) при доминировании личинок ручейников по этим показателям.

Развитие донных беспозвоночных на заиленных участках в осенний период было незначительным, численность и биомассу зообентоса в илоотстойнике составляли в основном ракушковые раки; а в подводящем канале РАЭС, в условиях подогрева, численность была аналогичной, но доминировали тубифициды, а биомасса была выше по сравнению с илоотстойником за счет развития личинок хирономид, в частности, *C. plumosus*.

Количественные показатели зообентоса осенью несколько снизились. В отличие от летнего периода, показатели обилия зообентоса на прогреваемых участках ниже сброса были выше, чем на участках с природными температурами. Значительное уменьшение численности и биомассы зообентоса в илоотстойнике, вероятно, связано с вылетом личинок *C. plumosus*, который доминировал здесь в летний период.

* * *

Исследование *перифитона*¹ в июне и октябре 2000 г. было проведено в р. Стырь на станциях выше и ниже РАЭС и в технических водных объектах РАЭС (открытые подводящий и отводящий каналы, илоотстойник водозабора и его канал) на глубине от уреза воды до 0,5 м.

В р. Стырь субстраты для развития перифитона представлены в основном древесиной, высшей водной растительностью, в меньшей степени бетонными поверхностями (опоры моста), в каналах АЭС — бетоном (облицовка берега), в илоотстойнике и его канале — металлом и щебнем (укрепление берега).

В открытом отводящем канале высокая температура воды (35 °С) способствовала развитию на малых глубинах макрофитоперифитона — синезеленых макроводорослей р. *Lyngbya*, типичного компонента фитоперифитона на участках максимального влияния подогретых сбросных вод (Гидробиология..., 1991).

Состав зооперифитона на обследованном участке р. Стырь был представлен 50 НОТ из 16 таксономических групп. Наиболее богато были представлены личинки хирономид (20 НОТ), поденок (8) и ручейников (7 НОТ). Наибольшее видовое богатство было отмечено на древесных субстратах (13—15 НОТ), на бетоне — было ниже в 2 раза. В районе сброса продувочных вод РАЭС было отмечено снижение видового богатства зооперифитона до 6 НОТ, что в 2—2,5 раза ниже по сравнению с участками реки выше и ниже сброса.

Численность организмов зооперифитона р. Стырь летом изменялась в диапазоне 688—34000 экз/м² и в районе сброса подогретых вод была почти в 20 раз ниже, чем средняя численность выше и ниже сброса. Диапазон изменения биомассы зооперифитона составлял 2,05—3359,85 г/м², минимальные значения были отмечены в районе сброса подогретых вод АЭС, максимальные определились развитием губки ниже РАЭС (древесина).

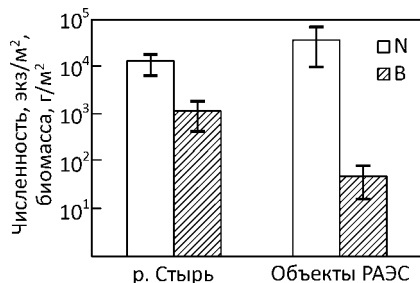
Осенью в составе зооперифитона р. Стырь было отмечено 36 НОТ, не отмечены были Hirudinea, Cladocera, Isopoda, Hydracarina, Bryozoa, Dreissenidae, сократилось богатство Ephemeroptera (с 8 до 2 НОТ), незначительно уменьшилось количество НОТ Chironomidae (с 20 до 18 НОТ). В районе сброса подогретой воды отмечено снижение видового богатства до 3—5 НОТ, что в 3,5 раза ниже по сравнению с участками реки выше и ниже сброса.

Осенью численность организмов зооперифитона на станциях изменялась в диапазоне 667—53000 экз/м². Наибольший уровень был отмечен на каменном субстрате непосредственно у сброса подогретой воды. Диапазон изменения биомассы зооперифитона составлял 0,03—345,5 г/м².

Зооперифитон в системе водоснабжения РАЭС был беднее, чем в р. Стырь и летом представлен 24 НОТ. Наибольшим богатством отличались личинки хирономид и олигохет — по 6 НОТ, брюхоногие моллюски представлены 3 НОТ. Наибольшее видовое богатство зооперифитона отмечено на щебеночном и металлическом субстратах илоотстойника. В каналах РАЭС на бетонном субстрате зооперифитон был представлен 2—7 НОТ.

¹ В исследованиях принимала участие О.О. Синицына.

Рис. 3.35. Показатели обилия зооперифитона в р. Стырь и в технических водных объектах РАЭС, лето 2000 г.



Численность зооперифитона на станциях системы водоснабжения РАЭС летом изменялась в диапазоне 4000—226667 экз/м². Наибольший уровень численности отмечен в отводящем канале при температуре 35 °С и в илоотстойнике при температуре 21 °С (144167 и 226667 экз/м², соответственно). Биомасса зооперифитона изменялась в диапазоне 0,1—179,8 г/м² (рис. 3.35). Наибольший уровень биомассы зооперифитона отмечен в илоотстойнике. По мере повышения температуры воды биомасса зооперифитона резко снизилась.

Осенью в зооперифитоне в системе водоснабжения было обнаружено 25 НОТ. Наибольшим богатством характеризовались личинки хиронимид (6 НОТ) и копеподы (4 НОТ). Наибольшее количество НОТ отмечено на древесном субстрате в илоотстойнике, наименьшее — в отводящем канале АЭС.

Осенью численность зооперифитона изменялась в пределах 7500—26707 экз/м². Наиболее низкие показатели численности были отмечены в илоотстойнике на щелке, а максимальные — на этой же станции на древесине и были обусловлены высокой численностью нематод и личинок хиронимид. На этой же станции был отмечен наибольший уровень биомассы зооперифитона, что связано с присутствием в составе таких макроформ как моллюски *Theodoxus fluviatilis*.

Таким образом, влияние сбросных продувочных вод АЭС на зооперифитон р. Стырь летом проявлялось в сокращении его качественного и количественного состава и снижении доли фильтраторов и собирателей и повышении доли хищников на участке реки ниже сброса (табл. 3.10).

Отмечены сезонные изменения состава и разнообразия некоторых групп зооперифитона: увеличение Chironomidae, Copepoda, снижение —

Таблица 3.10. Структурные показатели зооперифитона в р. Стырь и системе водоснабжения РАЭС, летний период 2000 г.

Показатели	Станции			
	Открытый отводящий канал	Илоотстойник	Ниже сброса	р. Стырь
Количество видов	2	10	6	12
Численность, экз/м ²	144167	10519	688	13522
Биомасса, г/м ²	0,05	76,9	2,10	1141,40
Деструкция, кДж/м ² · ч	0,008	0,402	0,030	3,710

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.11. Структурные показатели зооперифитона в р. Стырь и системе водоснабжения РАЭС, осенний период 2000 г.

Показатели	Станции				
	Открытый отводящий канал	Ило-отстойник	Сброс	Ниже сброса	р. Стырь
Количество видов	1	10	3	5	10
Численность, экз/м ²	19667	14736	53611	8000	4955
Биомасса, г/м ²	0,01	48,85	0,03	2,83	92,66
Деструкция, кДж/м ² · ч	0,001	0,118	0,002	0,023	0,210

Cladocera, Ephemeroptera, Trichoptera; в составе зооперифитона в октябре не были отмечены Hirudinea, Gammaridae, *Plumatella emarginata*; только в октябре были встречены, Ceratopogonidae, *P. repens*.

Средний уровень численности зооперифитона в октябре был в 1,8 раза, а биомассы — почти в 9 раз ниже, чем в июне, что связано как с изменением состава, так и с сокращением обилия макроформ зооперифитона.

Соотношение в составе зооперифитона животных различного трофического статуса от июня к октябрю практически не изменилось (детритофаги-собиратели преобладали — 63—70 %; доля хищников составляла 17—24 %, фильтраторов — 4,7—5,6 %, прочих — 5—7 %). Однако значительное снижение биомассы зооперифитона и сокращение обилия некоторых макроформ обусловило перераспределение доли в процессах деструкции животных различного трофического статуса. В июне доля фильтраторов и собирателей была сопоставима (46 и 48 %, соответственно). В октябре в процессах деструкции преобладающей была доля собирателей — 94 %. При этом средний уровень деструкции в зооперифитоне от июня к октябрю снизился почти в 11 раз.

Состав зооперифитона летом в отводящем канале при температуре 35 °С был почти в 6 раз беднее, чем на остальных обследованных станциях (среднее количество видов 2 против 11,5). Численность зооперифитона в подводящем канале была почти на порядок выше, биомасса на 4 порядка ниже, а деструкция на 2 порядка ниже, чем средний уровень обилия и функционирования зооперифитона на станциях, характеризующихся естественными температурами (река) и находящимися в зоне слабого влияния сброса подогретых вод АЭС.

Сравнение видового богатства, обилия и уровня деструкции зооперифитона по данным октября 2000 г. в отводящем канале РАЭС и станциях охлаждающей системы, испытывающих меньшую степень влияния подогрева, показало значительное обеднение его состава, снижение биомассы и уровня деструкции (как и в июне) (табл. 3.11). Более низкий уровень численности нематод в октябре (более, чем в 7 раз, по сравнению с июнем), возможно, объясняется динамикой биомассы водорослей р. *Lyngbya* (ее отмирание и снос осенью).

Тенденция изменений видового богатства, биомассы и деструкции зооперифитона в реке под влиянием сброса подогретой воды не зависела от сезона и была сходной как летом, так и осенью. Следует отметить, что увеличение численности зооперифитона на участке ниже сброса (более, чем на порядок) в октябре, по сравнению с июнем, было связано как с изменением состава (появлением нематод и олигохет, характеризующихся высоким обилием), так и с усилением развития представителей летнего состава зооперифитона (личинки ручейников и хирономид). Непосредственно у сброса численность зооперифитона была выше, чем в 30 м ниже сброса подогретой воды (почти в 7 раз) за счет на порядок большей численности нематод и почти в 2 раза большей численности олигохет.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЫ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Водоем-охладитель *Запорожской АЭС* (ЗАЭС) является одним из наиболее подверженных техногенному воздействию из всех водоемов-охладителей Украины: входит в техно-экосистему самой крупной в Европе АЭС, мощностью 6000 МВт. Его объем составляет 47,0 млн. м³, площадь зеркала 8,2 км², средней глубина — 5,0 м, максимальная — 13,6 м. От Каховского водохранилища ВО отделен песчаной намывной дамбой шириной 400 м (рис. 3.36). Подпитка производится за счет части сбросных циркуляционных вод Запорожской ТЭС (ЗаТЭС), которая использует прямоточную систему охлаждения. Особенностью системы охлаждения АЭС является то, что часть воды из отводящего канала поступает непосредственно в подводящий канал через брызгальные устройства, вода по каналу подпитки попадает в канал градирен, а затем в подводящий канал. Из системы оборотного водоснабжения ЗАЭС в водоем-охладитель поступает 21,6 млн. м³/сут подогретой воды, т. е. внутренний водообмен в техно-экосистеме ЗАЭС весьма значительный — объем воды, равный объему ВО, проходит через систему охлаждения АЭС более 10 раз/мес.

Водоем-охладитель Запорожской АЭС эксплуатируется в режиме практически постоянной продувки (9 мес.) с водовыпуском в Каховское водохранилище, в 2010 г. средний расход продувки составил 21,9 млн. м³/мес.

Техно-экосистема ЗАЭС с точки зрения ее гидробиологического режима исследована мало. Гидрохимический режим ВО формировался как за счет внутриводоемных процессов, так и за счет влияния источника подпитки — Каховского водохранилища (Калиниченко и др., 1998). В воде ВО до введения режима продувки (2003 г.) отмечалось повышенное содержание ионов хлора и сульфатов, минерализация достигала 600—632 мг/дм³. В первый период наших исследований (1995 г.) вода в ВО характеризовалась низкой прозрачностью — от 0,45 до 0,6 м, а в отводящем канале — 0,3 м, в заливе Каховского водохранилища — 1,25 м. В 2011 г. в охладителе (второй период исследований) минерализация была 400 мг/дм³ (при значении этого показателя в Каховском водохранилище 328 мг/дм³), что стало следствием

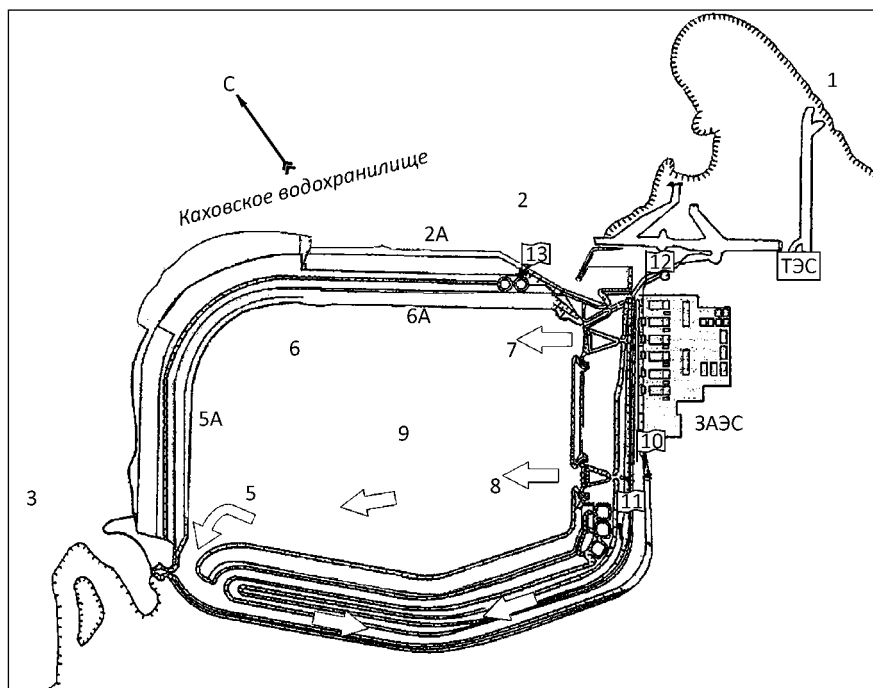


Рис. 3.36. Схема водоема-охладителя и системы охлаждения Запорожской АЭС с точками отбора проб зообентоса и зооперифитона

постоянной продувки, значительно (до 1,5 м по диску Секки) увеличилась прозрачность.

Основные грунты на дне охладителя — пески и заиленные пески, в средней части водоема — илы с остатками растений. Основными твердыми субстратами — биотопами обитания организмов перифитона являются крупно-щебеночная отсыпка, камни, бетонные поверхности сооружений, металлические — брызгальных устройств, а также стебли тростника, который распространялся (в первый период исследований) до глубины 0,6—0,7 м при ширине полосы до 10 и более метров.

Первые исследования гидробиологического режима ВО ЗАЭС были проведены в июле 1995 г., температура сбросной воды достигала 37 °С, в заливе Каховского водохранилища температура воды была 24,5 °С (Калининченко и др., 1998).

Зообентос охладителя ЗАЭС в 1995 г.¹ был достаточно беден и представлен 11 (летом) и 10 (осенью) широко распространенными в естественных водоемах таксонами (олигохеты, нематоды, ракушковые раки, личинки хирономид, двустворчатые моллюски).

¹ В исследованиях принимала участие Н.Г. Панькова.

Количественные показатели зообентоса летом на отдельных станциях колебались от 13 до 4640 экз/м² — по численности и от 0,004 г/м² до 399,97 г/м² — по биомассе, максимальную биомассу определяли моллюски-перловицы, отмеченные на прибрежных песчаных участках и в подводящем канале, дрейссена в охладителе отсутствовала. В биомассе «мягкого» бентоса доминировали личинки хирономид (59 %) и олигохеты (40 %).

Наиболее обедненным зообентос был в районе сброса, а зообентос подводящего канала по количественным показателям был одним из самых богатых в охладителе — биомасса «мягкого» бентоса составила 1,19 г/м², а общая (с моллюсками) — 399,79 г/м² (максимальная по всем станциям).

На глубоководных участках водохранилища на глинистых илах были встречены остракоды, нематоды, личинки хирономид (*Chironomus plumosus*) и олигохеты, причем средняя биомасса животных была минимальной по водоему, а численность максимальной (доминировали остракоды — 95,4 %).

Зообентос залива Каховского водохранилища также был крайне беден — 2 вида личинок хирономид и олигохеты. Численность донных беспозвоночных здесь превышала среднюю величину численности зообентоса охладителя в 8 раз (7200 экз/м²) и в 2 раза — максимальную по водоему биомассу.

Осенью численность зообентоса была низкой (от 60 до 640 экз/м²) при доминировании олигохет (76 % общей). Биомасса на отдельных станциях была от 0,05 до 58,00 г/м², наименьшая отмечена в районе сброса подогретой воды. Количественные показатели зообентоса участка Каховского водохранилища превышали средние численность и биомассу в ВО в 7 и 5 раз, соответственно (4500 экз/м², 8,13 г/м²).

Гидробиологические исследования водоема-охладителя ЗАЭС и прилегающей акватории Каховского водохранилища были проведены также в сентябре — октябре 2011 г.

Пробы отбирали по всей акватории ВО (ст. 5—9), в подводящем (ст. 10) и отводящем (ст. 11) каналах, канале подпитки (ст. 12, поступление сбросных вод ЗаТЭС) и отводящем канале от первой градири (ст. 13). Также проведено обследование участка Каховского водохранилища, прилегающего к ВО (ст. 1—3) (см. рис. 3.36) Температура воды в водоеме-охладителе в период исследований была в пределах 26,0—29,5 °С, в подводящем канале — 25,5 °С, а в отводящем — 31,6 °С. В Каховском водохранилище температура была значительно ниже — 15,0—15,5 °С. Вода в водоеме-охладителе ЗАЭС, как и в Каховском водохранилище, характеризовалась невысокой прозрачностью — 0,7—1,3 м.

По результатам обследования в сентябре — октябре 2011 г. зообентос техно-экосистемы ЗАЭС насчитывал 20 таксонов беспозвоночных из 7 групп, в состав входили обычные широко распространенные виды. Наибольшим количеством таксонов были представлены олигохеты — 8 НОТ (*Naididae* и *Tubificidae*) и личинки хирономид — 7 НОТ. Остальные группы (нематоды, гидры, пиявки, ракушковые раки и личинки ручейников) были представлены только одним таксоном.

Количество таксонов по отдельным станциям колебалось от 1 до 10, максимальным было в западном районе, где грунты отличаются от остальных в

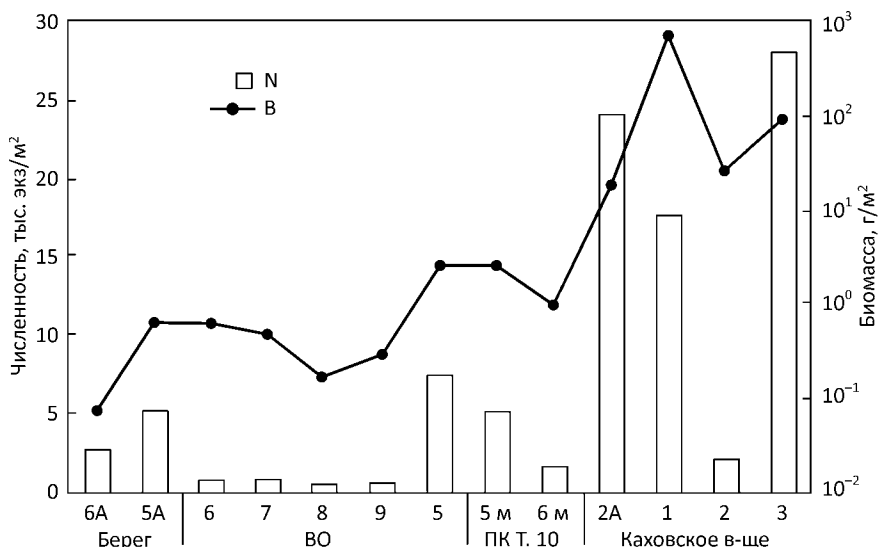


Рис. 3.37. Показатели обилия зообентоса водоема-охладителя ЗАЭС и участка Каховского водохранилища, осенний период 2011 г.

ВО и представлены слабо заиленной ракушей дрейссены, минимальное — в северном районе на заиленном песке. Прибрежные участки, отдаленные от участков сброса подогретой воды, более богаты в таксономическом отношении — 7 НОТ из 4 групп, чем расположенные ближе к сбросу — 2 НОТ из 2 групп. Таксономический состав зообентоса подводящего канала отличался присутствием здесь двух видов: олигохеты *Branchiura sowerbii* и личинок хирономид *Psectrocladius dilatatus*, которые не встречены на других станциях.

Распределение отдельных таксонов по районам было достаточно мозаичным. Наибольшей встречаемостью в ВО (67 %) характеризовались лишь ракушковые раки, тубифициды зарегистрированы на всех глубоководных станциях ВО (встречаемость 56 %), аналогичной встречаемостью характеризовались олигохеты р. *Dero* и личинки хирономид *Rheotanytarsus exiguus*. Остальные виды встречались на одной-двух станциях.

Количественные показатели зообентоса были низкими, особенно биомасса, что связано с отсутствием двустворчатых моллюсков. В глубоководной части ВО численность беспозвоночных колебалась от 450 до 7450 экз/м², биомасса — от 0,16 до 2,62 г/м² (рис. 3.37). Максимальные количественные показатели отмечены в западном районе перед каналом продувки (ст. 5), что связано, вероятно, не только наибольшим отдалением от сброса подогретых вод, но и типом грунта. Доминировали по акватории ВО олигохеты и личинки хирономид, в подводящем канале (глубина 5 и 6 м) доминанты отличались — по показателям обилия в преобладали личинки ручейников (рис. 3.38).

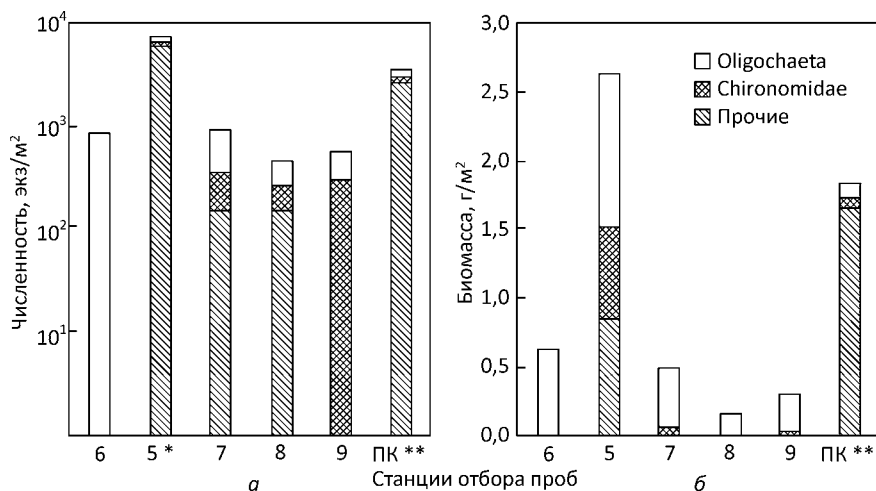


Рис. 3.38. Распределение численности (а) и биомассы (б) зообентоса по группам на отдельных станциях в водоеме-охладителе ЗАЭС, осенний период 2011 г. * — основной вклад принадлежал гидрам и пиявкам; ** — личинкам ручейников

В целом качественные и количественные характеристики зообентоса ВО ЗАЭС по сравнению с предыдущим периодом исследований (1995 г.) не изменились. По данным исследований 1995 г. максимальную биомассу зообентоса ВО определяли крупные двусторчатые моллюски, однако их местообитания достаточно локальны и их обнаружение на современном этапе требует дополнительных обследований.

В связи с тем, что акватория Каховского водохранилища испытывает воздействие сбросных вод ТЭС и продувочных вод ВО АЭС, вызывает интерес характер и развитие зообентоса в этих акваториях.

Таксономический состав зообентоса участка Каховского водохранилища, прилегающего к ВО, насчитывал 27 НОТ из 10 групп, что несколько больше, чем в ВО. Это объясняется обнаружением на значительной глубине (9—10 м) поселений дрейссены двух видов (*Dreissena bugensis*, *D. polymorpha*), в которых были встречены 7 НОТ, не обнаруженных на других станциях: многощетинковые (*Hypania invalida*) и малощетинковые (*Stylaria lacustris*) черви, представители отр. равноногих (*Jaera sarsi*) и разноногих ракообразных (из сем. Gammaridae и Corophiidae), и брюхоногие моллюски (*Theodoxus fluviatilis*). На сильно заиленных участках Каховского водохранилища видовой состав зообентоса был очень беден — обнаружены тубифициды, представители р. *Dero*, *Chironomus plumosus*, *Procladius ferrugineus* — типичные виды-пелофилы.

Количественные показатели зообентоса участка Каховского водохранилища были существенно выше и определялись типом донного биотопа. Участки, расположенные у выхода канала продувки ЗАЭС (ст. 3) (т. е. подвер-

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.12. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса в техно-экосистеме ЗАЭС и фоновом водоеме (Каховское водохранилище), осенний период 2011 г.

Сообщества	Станции	Количество НОТ	N, экз/м ²	B, г/м ²	H _N	H _B	Деструкция, кДж/м ² · ч	Продукция, кДж/м ² · сут
Dero sp. + C. plumosus + Hydra + Hirudinea	7, 5, 8, 9	14	2338 ± 1707	0,89 ± 0,58	2,634	2,433	0,01	0,10
Rh. execucus + C. mancus + Ostracoda	5A, 6A	8	4075 ± 1275	0,37 ± 0,29	1,955	2,098	0,01	0,07
E. tenellus	10	10	3450 ± 1750	1,82 ± 0,86	1,961	1,316	0,03	0,27
Tubificidae	6	1	850	0,62	0	0	0,20	0,07
C. plumosus + Tubificidae	2, 3	9	15150 ± 12950	57,70 ± 31,70	2,532	1,249	5,27	1,84
D. bugensis + Gammaridae	1	12	17700	692,98	2,690	0,610	11,14	3,90
L. arenicola + Enchytraeidae	2A	9	24063	18,21	2,474	2,021	2,55	0,89

женные влиянию подогрева) характеризовались значительно более высокими показателями обилия, чем в ВО.

Исходя из сходства таксономического состава зообентоса в ВО, в подводящем канале и на участке Каховского водохранилища, с учетом структуры доминирования и показателей обилия были выделены 7 сообществ (табл. 3.12). Они отличались невысокими показателями обилия и продуктивностью. Максимальными структурно-функциональными показателями по сравнению с сообществами, в которые не входили моллюски, характеризовалось сообщество **C. plumosus + Tubificidae** Каховского водохранилища.

Сообщество зообентоса, в котором присутствовала дрейссена (ст. 1), характеризовались максимальной биомассой (692,98 г/м² при численности 17700 экз/м²), ее здесь определяла *D. bugensis* (91,2 % общей биомассы), доля *D. polymorpha* была невысокой и составляла 4,7 % биомассы двух видов. Субдоминантами по биомассе были разноногие ракообразные: Gammaridae (13,78 г/м²) и Corophiidae (11,04 г/м²).

Таким образом, значительных изменений в структуре зообентоса ВО ЗАЭС на протяжении длительного периода эксплуатации не произошло, можно говорить о его относительно стабильном состоянии в условиях значительного техногенного воздействия.

Показатели обилия зообентоса участка Каховского водохранилища, прилегающего к ВО, в настоящее время, как и ранее, выше, чем в самом охладителе. Численность и биомасса зообентоса на участке сброса продувочных вод достаточно высокие, т. е. локальное воздействие подогретых вод, вероятно, положительно сказывается на уровне развития зообентоса на отдельном участке водохранилища.

* * *

Перифиталь в техно-экосистеме ЗАЭС представлена отдельными элементами гидросооружений, в первый период исследований и стеблями тростника.

В **зооперифитоне** ВО в 1995 г. на бетонных, каменистых и растительных субстратах было обнаружено 29 НОТ, несколько меньше — 26 в подводящем канале и всего 9 — в отводящем канале. Численность зооперифитона была в пределах 100—382258 экз/м², биомасса — 0,17—563,11 г/м². В 1995 г. были проведены исследования эпифитона на тростнике, которые, в частности, показали присутствие дрейссены полиморфной в подводящем канале (1974 экз/м², 8,18 г/м²) и в районе продувки. В настоящее время, в связи с существенным изменением характера зарослей высших водных растений, а именно, отсутствием растений, произрастающих непосредственно на мелководьях, количественное развитие эпифитона крайне незначительно.

В 2011 г. зооперифитон ВО и систем водоснабжения ЗАЭС также был беден: отмечено 23 НОТ беспозвоночных из 10 групп. Наиболее богато были представлены олигохеты (6 НОТ) и личинки хирономид (5 НОТ), двумя НОТ были представлены кишечнополостные (*Hydra* sp., *Cordilophora caspia*), разноногие раки, личинки жуков, ручейников и двукрылых, ракушковые раки и мшанки представлены одним НОТ. Обнаружен, также как и в первый период, пресноводный вид Kamptozoa — *Urnatella gracilis*, который относится к термофильным видам американского происхождения и встречается в других водоемах-охладителях (Протасов, 1996). Количество таксонов на отдельных станциях было невысоким и практически не зависело от типа субстрата. В этот период, как и ранее в перифитоне охладителя не встречались Gammaridae, Corophiidae и *Dreissena*.

Зооперифитон на древесном субстрате в прибрежной зоне ВО насчитывал 5 НОТ из 4 групп. Численность беспозвоночных составляла 10000 экз/м², биомасса — 8,22 г/м². Численность определяли личинки насекомых — хирономид *Cricotopus silvestris* — типичного представителя перифитона на различных субстратах, и ручейников *Ecnomus tenellus* (соответственно 40,0 и 35,0 % общей численности). Биомассу определял *E. tenellus* — 80,3 % общей.

В составе зооперифитона подводящего канала на бетонном субстрате отмечено 15 НОТ из 8 групп. Зарегистрированы кишечнополостные, ракушковые раки, личинки жуков, ручейников и двукрылых. Средняя численность и биомасса зооперифитона была 3899 экз/м² и 1,14 г/м². Доминантами по показателям обилия были личинки хирономид (55,4 общей численности и 53,7 % общей биомассы). На урезе биомассу зооперифитона определяли личинки *C. silvestris* (63,5 % общей), на глубине 2 и 4 м — личинки нескольких видов хирономид и ручейников, а на глубине 4 м — еще и гидры.

В составе зооперифитона отводящего канала (бетонная стенка насосной станции и щебень) отмечено 6 НОТ беспозвоночных, таксономический состав на двух субстратах в приуездной части был практически одинаковым. Однако показатели обилия и доминаты на этих двух субстратах различались. На вертикальной бетонной поверхности численность составляла 1076 экз/м²

при доминировании ракушковых раков (41,9 %) и личинок хирономид *C. silvestris* (32,3 % общей). Биомасса была низкой — 0,19 г/м² при преобладании личинок хирономид. На камнях количественные показатели зооперифитона были несколько выше, особенно численность — 14333 экз/м² и 1,13 г/м². Биомассу определяли ракушковые раки и личинки хирономид, а численность — в основном олигохеты *Pristina aequisetata* (60,5 % общей).

Зооперифитон канала подпитки насчитывал 5 HOT из 4 групп, на металлических конструкциях найдена *U. gracilis*. Зооперифитон бетонной облицовки берега отличался бедностью как в таксономическом отношении (всего 2 вида), так и по показателям обилия (1444 экз/м²; 0,14 г/м²). По численности и биомассе преобладали личинки хирономид *C. silvestris* — соответственно 92,3 и 98,6 % общих показателей. Зооперифитон на металле характеризовался более высокими численностью и биомассой — 4444 экз/м² и 17,03 г/м² при доминировании олигохет р. *Nais* по численности (66,7 %) и *U. gracilis* — по биомассе (95,5 %).

Количество таксонов зооперифитона в сбросном канале с градирни № 1 было, как и на других станциях, невысоким — 5 HOT из 3 групп, таксономический состав отличался наличием гаммарид двух видов (*Dikergammarus haemobaphes* и *Chaetogammarus ischnus*), которые не были отмечены на других станциях ВО и системы водоснабжения ЗАЭС. Численность зооперифитона здесь была достаточно высокой — 22167 экз/м² при относительно невысокой биомассе — 5,07 г/м². По численности доминировали олигохеты *Nais communis* (97,7 % общей), по биомассе — олигохеты (73,1 % общей).

Прибрежный зооперифитон на камнях в Каховском водохранилище (плотина ЗАЭС) был крайне беден — отмечено лишь 2 вида беспозвоночных: обитающий в основном в зоне заплеска вид гаммарид *Pontogammarus maeoticus* и *C. silvestris*. Численность на этом участке была невысокой 1600 экз/м², биомасса составляла 12,19 г/м², по показателям обилия доминировали гаммариды.

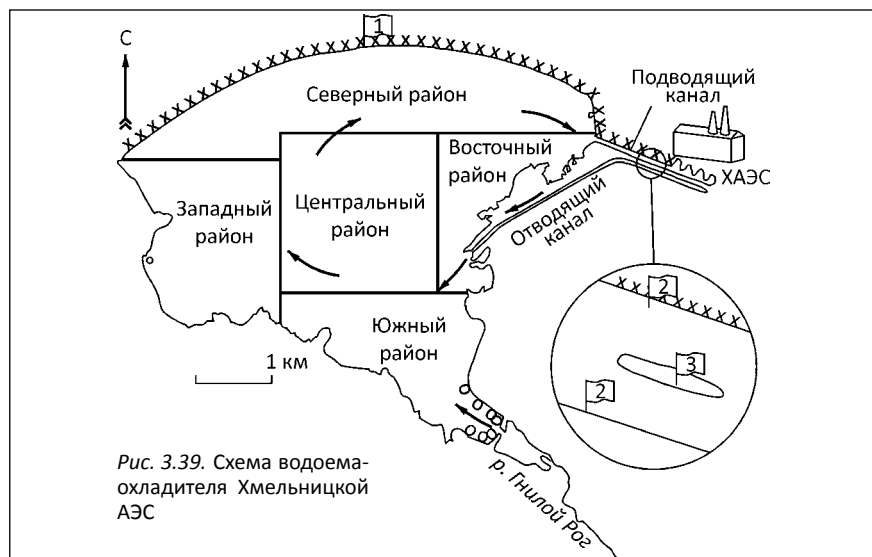
Хотя исследования данной техно-экосистемы проводились эпизодически, можно сделать некоторые заключения. Развитие контурных сообществ в техно-экосистеме ЗАЭС было невысоким. Следует обратить внимание на отсутствие существенных изменений за достаточно продолжительный период (более 10 лет), то есть можно говорить о существовании техногенного псевдоклиматического состояния, которое, однако может быть нарушено при изменении характера режима эксплуатации технических систем или климатических изменений. Следует также отметить, что в пелагической подсистеме водоема отнюдь не отмечалось угнетения, в водоеме-охладителе, например, показатели обилия зоопланктона были намного выше, например, чем в Каховском водохранилище в этот период.

ЗООБЕНТОС И ЗООПЕРИФИТОН ТЕХНО–ЭКОСИСТЕМЫ ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС

Водоем-охладитель *Хмельницкой АЭС* (ХАЭС) представляет собой искусственный водный объект, образованный путем зарегулирования р. Гнилой Рог, заполненный водами этой реки и дополнительно — водами р. Горынь. С севера водоем ограничивает земляная плотина, облицованная бетоном, в западной части которой есть сооружение для сброса паводковых вод. В восточной части водоема расположены подводящий (водозаборный) канал, облицованный бетоном, и отводящий (сбросной) канал, облицованный в первой трети бетоном, далее — щебнем (рис. 3.39).

По проектным данным, объем ВО при НПУ составляет 120 млн. м³, площадь зеркала — 20 км², протяженность береговой линии — 20,4 км, средняя глубина — 6 м, максимальная — 12 м, глубины до 3 м составляют до 40 % общей площади водоема.

Во время работы одного блока АЭС (который был введен в эксплуатацию в конце 1987 г.) термический режим не отличался высокими температурами и был близким к такому в естественных водоемах, за исключением участков, расположенных вблизи отводящего канала (Протасов и др., 2000; 2002). Второй блок АЭС был подключен в 2004 г., термическая нагрузка на водоем-охладитель возросла и стала практически постоянной. Комплексные гидробиологические исследования на ВО ХАЭС проводили в 1998, 1999 и 2001 гг., когда функционировал лишь один блок АЭС (первый период); и в 2005—2012 гг. (второй период). В начале второго периода в водоем-охладитель ХАЭС вселилась *Dreissena polymorpha*.



На протяжении 1998—2001 гг. и 2005—2010 гг. гидрохимические характеристики ВО ХАЭС определенным образом изменялись как во временном, так и в пространственном и сезонном аспектах. В период 1998—2001 гг. величина рН летом варьировала от 8,2 до 9,2. Концентрация растворенного кислорода колебалась в достаточно широких пределах — от 7,7 до 12,8 мг/дм³ (Протасов и др., 2001; Техно-экосистема..., 2011).

Среднегодовое содержание ионов кальция (Ca^{2+}) изменялось от 49,71 до 54,85 мг/дм³, концентрация сульфатных ионов (SO_4^{2-}) — от 41,25 до 95,67 мг/дм³. Сумма ионов по водоему в среднем составляла 352,58 мг/дм³, то есть показатели были относительно невысокими.

В 2005—2010 гг. показатель рН оставался таким же, как и в первый период, составляя летом в среднем 8,58. В поверхностных слоях воды содержание кислорода, как правило, было ниже 100 %, с глубиной снижалось до 69—78 %, на глубине 7 м составляя 6,1 мг О/дм³. Вероятно, в летний период в ВО ХАЭС может складываться напряженный кислородный режим (рыбохозяйственные нормы допустимых концентраций составляют 6 мг/дм³) (Алтунин, Белавцева, 1993).

На гидрохимический режим ВО значительным образом влияет сброс с очистных сооружений, с водами которых поступает значительное количество коммунальных и бытовых стоков. Некоторые гидрохимические показатели в сточковых водах были близкими к таким в ВО, другие существенно отличались, например, концентрация биогенных элементов была на 2 порядка выше, чем в воде ВО (Техно-экосистема..., 2011).

Рельеф дна водоема образуют не только естественные углубления, которые существовали в пойме реки, но и те, которые возникли в процессе его создания. В частности, в районе плотины наличие значительных глубин связано с изъятием большого количества грунта. Северный район является наиболее глубоководным: 73,1 % его площади составляют глубины 9—12 м.

Грунты водоема-охладителя ХАЭС в целом представляют собой пески разной степени заиления. Дно глубоководных участков северного и западного районов представлено илом значительной толщины с растительными остатками, локально с включением торфа. Дно подводящего канала представлено заиленным песком, отводящего (на щебеночном участке) — каменисто-песчаное. Грунты мелководных участков западного, восточного и южного районов представлены песками.

Условия в техно-экосистеме в целом отличаются определенной нестабильностью. В связи с отсутствием поступления в ВО подогретых сбросных вод летом в 1998 г. придонная температура воды в водоеме была естественной и колебалась в пределах 16,8—19,2 °С. В другие периоды (при условии наличия сброса подогретой воды) температура в охладителе ХАЭС отличалась в отдельных районах и колебалась от 20,0 до 27,5 °С, на мелководных участках южного района достигала 32,0 °С (в 2006 г.), а на выходе сбросного канала — 30,1 °С (в 2001 г.). Летний период 2007 г. характеризовался значительным (до 1 м) снижением уровня воды в водоеме. В июле 2008 г., в период прекращения работы обоих энергоблоков АЭС, в охладителе наблюдалась изотермия, температура составляла 21,0—22,5 °С. В июне 2009 г.

функционировал один блок АЭС, температура воды в водоеме была от 23 °C (подводящий канал) до 28,5 °C (на выходе отводящего канала). Значительных различий между поверхностной и придонной температурой зафиксировано не было. Период с августа 2011 г. до марта 2012 г. характеризовался значительным снижением уровня водоема-охладителя (до 1,8 м).

В первый период исследований (1998, 1999, 2001 г.) при работе одного блока и до появления в водоеме-охладителе ХАЭС дрейссены, общее количество таксонов **зообентоса** составляло 87 НОТ из 18 таксономических групп (Приложение 1). Распределение количества НОТ по отдельным станциям было достаточно мозаичным — от 2 до 37. Наиболее богато были представлены личинки хирономид (27 НОТ) и олигохеты (22 НОТ). В подводящем канале зарегистрировано поселение двустворчатых моллюсков сем. Unionidae, состоящее из *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anodonta cygnea* и *A. piscinalis* (= *A. anatina*).

На большей части охладителя зообентос не отличался высоким видовым богатством и был представлен в основном нематодами, тубифицидами, остракодами и личинками хирономид. Наибольшей (в среднем за три года) была встречаемость Ostracoda (77,9 %), *Chironomus plumosus* (75,7 %), нематод (68,0 %) и тубифицид (60,5 %).

Минимальным количеством НОТ характеризовались сильно заиленные грунты с большим количеством растительных остатков в северном и западном районах, а максимальной — заиленные пески восточного и южного районов. На приплотинных участках на песках полностью отсутствовали олигохеты, а наиболее богато были представлены личинки хирономид (1999 г.). Максимальным таксономическим богатством характеризовался участок впадения в охладитель р. Гнилой Рог, где щебеночный грунт и наличие постоянного течения создают специфические нетипичные для бентали охладителя условия. Только здесь были зарегистрированы гидры, губки, личинки жуков, ручейников и клопов.

В условиях влияния подогрева (щебеночный участок отводящего канала) зообентос был представлен широко распространенными таксонами беспозвоночных, всего 13 НОТ, наиболее разнообразно представлены личинки хирономид, зарегистрированы также олигохеты, ракушковые раки, личинки поденок и двукрылых.

Качественный состав зообентоса илистых грунтов ВО по индексу Серенсе-на был сходным, 49 % его значений превышало 0,5. Сходство качественного состава песков было несколько ниже — лишь 33 % его значений превышало 0,5, то есть песчаные грунты имели более разнородный состав зообентоса. Количество таксонов на гравийных грунтах южного района было максимальным относительно других станций ВО. Качественный состав зообентоса других участков с гравийным грунтом достаточно сильно отличался.

В период исследований 2005—2010 гг.¹ (включая осенние и весенние сезоны) общий список беспозвоночных бентоса ВО ХАЭС был достаточно

¹ В проведении исследований зообентоса принимали участие А.А. Силаева, А.А. Протасов, О.Г. Куриленко, И.А. Морозовская.

богат и насчитывал 126 НОТ из 21 групп. Наибольшим количеством таксонов характеризовались личинки хирономид (34 НОТ) и олигохеты (33 НОТ).

В зообентосе зарегистрирован один вид дрейсены — *Dreissena polymorpha*. Из других двустворчатых моллюсков отмечены два вида р. *Unio* — *U. tumidus*, *U. pictorum* и представители сем. Cycladidae. Следует отметить находку на мелководьях восточного района *Anodonta cygnea* и *A. anatina* в 2010 г. Моллюски р. *Anodonta* были отмечены только в первый период и затем до 2010 г. не регистрировались. В зообентосе отмечено несколько видов-вселенцев: брюхоногий моллюск *Ferrissia* sp., редкий для Украины вид губок *Eunapius carteri* (Трылис и др., 2009); полипы пресноводной медузы *Craspedacusta sowerbii* (впервые отмечена в 2008 г.), эти виды встречаются в поселениях дрейсены (Силаева и др., 2009). По данным 2012 г. фауна контурных группировок пополнилась мизидами (*Limnomysis benedeni*), вторым видом дрейссенид — *Dreissena bugensis*.

Наименьшим количеством таксонов характеризовался зообентос относительно больших глубин (8–12 м), наибольшим — относительно малых (2–4 м) в западном, восточном и южном районах водоема. Общее количество НОТ в восточном и западном районах возросло в сравнении с первым периодом исследований.

Относительно первого периода увеличилось количество видов пиявок, личинок стрекоз, поденок и ручейников. Общее количество таксонов беспозвоночных в зообентосе возросло до 82 НОТ летом 2006 г., а затем несколько снизилось в 2007 г., что, вероятно, связано со снижением уровня воды в водоеме. В 2008 г. количество НОТ возросло и к 2009, 2010 гг. оставалось стабильным (рис. 3.40).

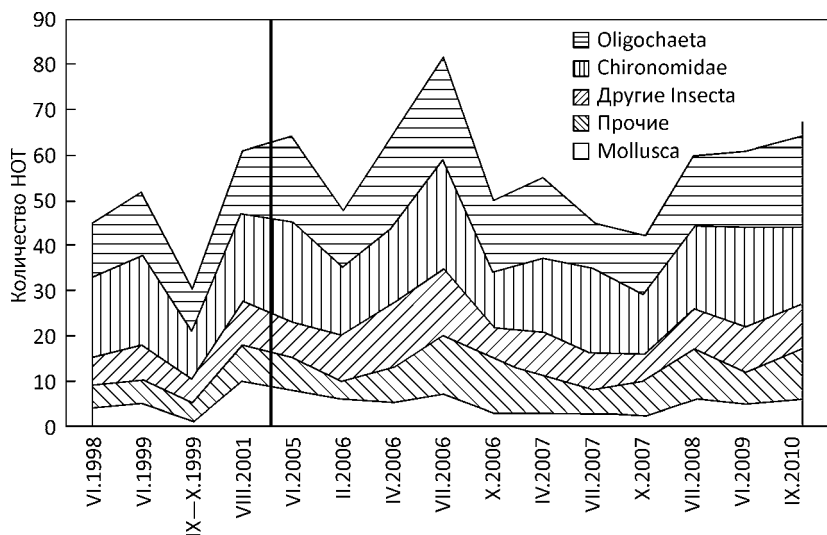


Рис. 3.40. Изменение таксономического богатства зообентоса водоема-охладителя ХАЭС по годам исследований

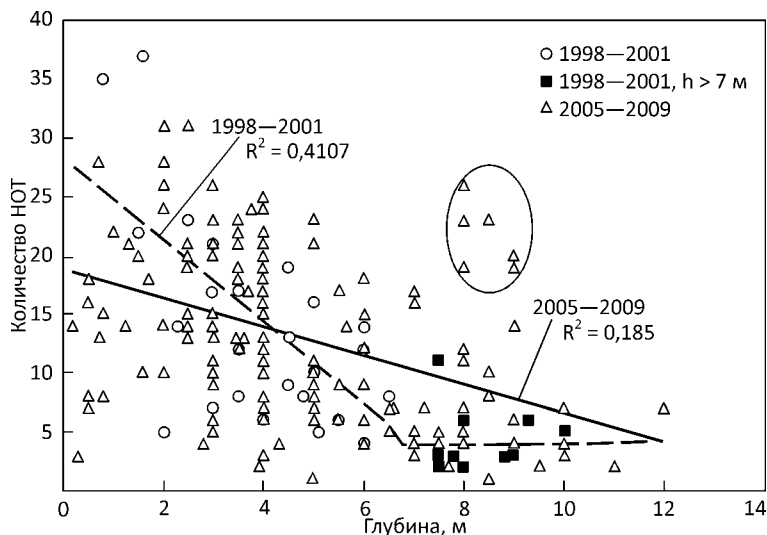


Рис. 3.41. Зависимость таксономического богатства зообентоса от глубины в водоеме-охладителе ХАЭС. Овалом выделено количество HOT отводящего канала (выход в водоем)

В среднем во второй период исследований встречаемостью выше 50 % характеризовались Tubificidae, Ostracoda, Nematoda, дрейссена и 4 вида личинок хирономид (*P. ferrugineus*, *L. nervosus*, *P. convictum*, *C. mancus*).

В отводящем канале, в условиях значительного подогрева, зообентос был представлен обычными таксонами беспозвоночных, наибольшим разнообразием характеризовались личинки хирономид и олигохеты, зарегистрированы также губки, нематоды, ракушковые раки, личинки ручейников, поденок и двукрылых, мшанки.

Участок впадения р. Гнилой Рог отличался таксономической специфичностью — только здесь встречались планарии и по одному виду пиявок и олигохет сем. Naididae. Равноногий рак *Asellus aquaticus*, ранее встречавшийся только здесь, в 2008 г. отмечен в дрейссеновых поселениях в восточном районе и в подводящем канале.

В сезонном аспекте значительных изменений в видовом составе не отмечено, можно лишь указать на наличие в весенне-осенний период некоторых видов личинок стрекоз, ручейников, жуков, двукрылых, не отмеченных в другие периоды (например, *Ischnura elegans*, представители сем. Polycentropidae и Psychodidae).

С увеличением глубины в оба периода исследований количество таксонов зообентоса снижалось (рис. 3.41). В 1998—2001 гг. с увеличением глубины до 6 м количество HOT снижалось достаточно резко, а на глубине более 7 м — оставалось относительно стабильным. В 2005—2010 гг. эта зависимость была менее выражена. Высоким количеством HOT характеризовался участок выхода отводящего канала, что может объясняться специфичностью

биотопа (наличие течения, повышенная температура, присутствие здесь дрейссены).

Таксономическое разнообразие зообентоса в первый период и до вселения дрейссены колебалось в пределах 1,800—1,900 бит/таксон, во второй — 1,700—2,400 бит/таксон, подобным было также и количество групп — соответственно 13—18 и 14—17. Выравненность была достаточно высокой (в среднем 0,86), то есть распределение таксонов по группам было относительно равномерным.

Количественные показатели зообентоса в водоеме-охладителе в период 1998—1999, 2001 гг. значительно колебались на разных участках. Численность беспозвоночных изменялась в пределах 400—53890 экз/м², биомасса — 0,01—64,96 г/м² и до 740,56 г/м² (с учетом биомассы моллюсков сем. Unionidae). По количественным показателям доминировали тубифициды, остракоды, *C. plumosus* (в «мягком» бентосе) и локально моллюски сем. Cycladidae.

Распределение зообентоса по водоему было неравномерным и зависело в основном от характера грунта, так как сброс подогретых вод мало влиял на температурный режим придонных слоев. В южном и восточном районах водоема на заиленных песках зообентос характеризовался наибольшими показателями обилия.

Зообентос отводящего канала отличался определенной специфичностью — низкими показателями обилия и доминированием таксонов, которые обитали только здесь (мшанки), или редко встречались и на других участках водоема (*Spongilla lacustris*, личинки поденок).

В подводящем канале на глубине 5—6 м на заиленном бетоне количественные показатели двустворок достигали 214 экз/м² и 5412,82 г/м² (1998 г.). Раковины р. *Unio* и *Anodonta* были достаточно крупными — соответственно 32—82 мм и 57—102 мм. В самом охладителе они были отмечены на заиленных песках южного района, где их численность составляла 20 экз/м², а биомасса — 641,87 г/м², по показателям обилия преобладали моллюски р. *Unio*.

Во второй период исследований показатели обилия в значительной степени различались на разных участках водоема и определялись глубиной и типом грунта. На относительно мелководных западном, восточном и южном участках на глубинах 2—4 м были сосредоточены основные запасы дрейссены донных группировок.

Нахождение дрейссены на глубоководных участках северного района носит случайный характер. В центральном районе на глубинах около 5 м дрейссена была зарегистрирована эпизодически, хотя и с достаточно высокой биомассой — до 5 кг/м².

В западном районе биомасса зообентоса, которая на 97—99 % состояла из дрейссены, в 2005 г. достигала 900 г/м², к лету 2006 г. этот показатель возрос до 1,2 кг/м², а в октябре — до 2 кг/м². В 2007 г. максимальная биомасса дрейссены летом и осенью была на глубине 3—4 м и составляла 2,8—3,3 кг/м². В 2008 и 2009 гг. в этом районе на глубине 2—4 м биомасса в среднем была около 3 кг/м². Глубины 1,5 м в 2008—2010 гг. характеризовались намного меньшей биомассой дрейссены — порядка 100—200 г/м² (рис. 3.42).

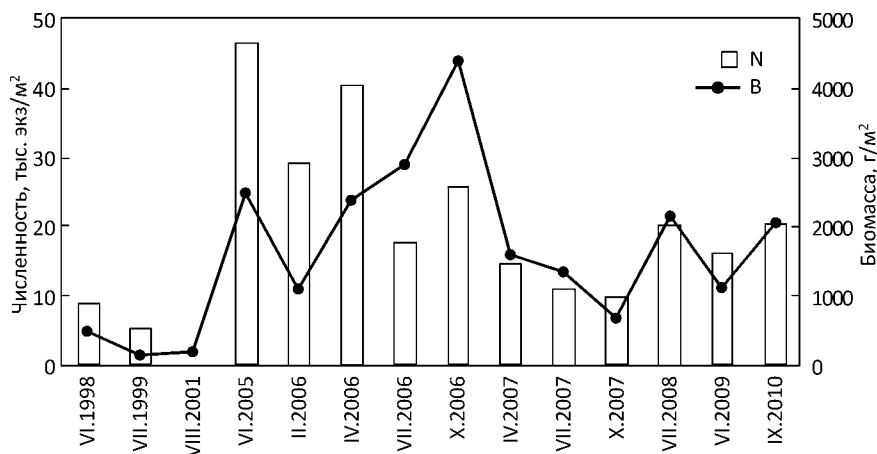


Рис. 3.42. Изменение численности и биомассы зообентоса водоема-охладителя ХАЭС по годам и сезонам исследований (средние значения на водоем)

В восточном районе, в значительной степени подверженном влиянию сбросных вод, уровень развития дрейссены в 2005 г. и до летнего периода 2006 г. изменялся незначительно — в среднем более $2,5 \text{ кг/м}^2$, максимально — до 8 кг/м^2 . К апрелю 2007 г. значения биомассы снизились до 1 кг/м^2 , а в летний период отмечено снижение биомассы, на некоторых участках и более значительное. В 2008 г. на глубине 2—5 м биомасса составляла в среднем $1,4 \text{ кг/м}^2$, а в 2009 — снизилась до $338,92 \text{ г/м}^2$. Подробное описание изменений показателей обилия зообентоса по районам охладителя представлено ранее (Техно-экосистема..., 2011).

Начиная с апреля 2007 г. на дне увеличилось количество створок дрейссены. Если в 2006 г. (данные летнего сезона) масса створок в среднем составляла около 13 % биомассы живой дрейссены (лишь локально превышая биомассу живой), то в июле 2007 г. доля створок в среднем составляла около 39 % массы живой, иногда достигая 100 %.

Отмечено отмирание дрейссены на участках, где вегетировали нитчатые водоросли. Так, в западном районе летом 2007 и 2009 гг. на участках с 90—100 % покрытием дна кладофорой (глубина 2—3 м) живой дрейссены отмечено не было. Хотя нельзя однозначно утверждать, что существует отрицательное влияние развития водорослей на дрейссену, вероятно, на усиление процесса отмирания моллюсков влиял комплекс факторов — в том числе заиление дна (западный район), и влияние повышенной температуры (восточный район).

Постоянно максимальными показателями биомассы характеризовался участок впадения р. Гнилой Рог. Однако снижение уровня воды в водоеме на протяжении летне-осеннего периода 2007 г. стало, вероятно, причиной снижения биомассы дрейссены на этом участке. Если в предыдущие годы

там биомасса дрейссены достигала 28,61 кг/м², то осенью 2007 г. снизилась на порядок: 2,69 кг/м². На протяжении 2008—2010 гг. произошло восстановление поселений дрейссены и к 2010 г. биомасса моллюска здесь достигала 13,6 кг/м². Снижение уровня воды в 2011 г. повлияло на зообентос здесь катастрофически.

Средние показатели обилия зообентоса во второй период возросли относительно 1998—2001 гг. (см. рис. 3.42): численность — в 2,9 раза, биомасса — 7,7 раза. Причем численность (без учета дрейссены и крупных перловиц) увеличилась за счет всех групп, но в большей степени — за счет олигохет и личинок насекомых (кроме хирономид). В летний период 2005 г. высокую численность в донных группировках определяли осевшие велигеры дрейссены (92,3 % общей численности дрейссены), которые в другие периоды отмечались в крайне незначительных количествах. Биомасса «мягкого» бентоса осталась на сходном уровне — в среднем около 8 г/м² в оба периода исследований. Не изменились показатели обилия основных доминирующих групп — тубифицид, ракушковых раков, личинок хирономид. Характер распределения биомассы беспозвоночных по группам в 2005 г. еще имел черты 1998—2001 гг.: по биомассе доминировали личинки хирономид (более чем 75 %), позже доля олигохет и личинок хирономид стала приблизительно одинаковой (около 38 %). Возросли показатели обилия брюхоногого моллюска *Ferrissia* sp., что может говорить об успешной натурализации вида-вселенца в водоеме-охладителе.

Численность моллюсков р. *Unio* в охладителе на мелководьях несколько снизилась от 11 (2005—2006 гг.) до 8 экз/м² (2007—2009 гг.), но биомасса возросла соответственно от 304,10 до 367,82 г/м² (при колебаниях от 152,50 до 832,34 г/м²), что объясняется увеличением индивидуальной массы моллюсков, наибольшими показателями их обилия характеризовался южный район.

Таким образом, для второго периода были характерны бурный рост обилия организмов зообентоса в 2005—2006 гг., затем постепенное его снижение.

При учете сходства таксономического состава, наличия общих доминантов были выделены характерные сообщества зообентоса (табл. 3.13).

Летом 1998 г. сообщества зообентоса характеризовались невысокими показателями обилия, в сообществе ***U. tumidus* + *Tubificidae*** они были наибольшими. Значительное доминирование *C. plumosus* и *U. tumidus* в одноименных сообществах определило низкое значение разнообразия по биомассе, при этом разнообразие по численности было достаточно высоким.

К 1999 г. на большей части дна ВО ХАЭС сформировалось единое сообщество с доминированием *C. plumosus* по биомассе, тубифицид и ракушковых раков — по численности. На приплотинном участке сформировалось хирономидное сообщество, в районе впадения р. Гнилой Пор сообщество личинок хирономид и ручейников, в подводящем канале сообщество шаровок и тубифицид. К осени 1999 г. последнее сменилось сообществом *C. plumosus* и *Tubificidae*, а в отводящем канале хирономидная группировка сменилась группировкой личинок поденок и олигохет.

Таблица 3.13. Сообщества зообентоса водоема-охладителя ХАЭС и их структурные показатели, летний период 1998 г.

Сообщества	Chironomidae + Tubificidae	C. plumosus + Tubificidae	U. tumidus + Tubificidae
Локализация, районы	Южный	Северный, западный	Восточный
Глубина, м	1,5—3,0	5,0—10,0	3,5—5,0
Грунт	Ил с раститель- ными остатками	Заиленный песок	Песок
Количество НОТ	30	10	25
N, экз/м ²	26575 ± 9925	3433 ± 338	9842 ± 2184
B, г/м ²	14,33 ± 0,02	11,93 ± 7,06	44,12 ± 40,54
R, кДж/м ² · ч	0,10	0,05	0,05
P, кДж/м ² · сут	0,80	0,42	0,42
N _{N'} , бит/экз.	2,921	2,581	3,534
N _{B'} , бит/г	3,137	0,397	0,617

Таблица 3.14. Интегральные структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса водоема-охладителя ХАЭС, летний период 1999 г.

Сообщества	Районы	Площадь сообщества, млн. м ²	Запас орга- низмов зоо- бентоса, т	Деструкция, МДж/сут	Продукция, МДж/сут
C. plumosus + Ostracoda	Южный, северо-за- падный, восточный	11,80	65,3	11911,7	2382,3
C. plumosus	Северный	2,28	34,2	9216,0	1843,2
Chironomidae + Tubificidae	Центральный	5,44	5,4	1849,6	369,92
Суммарные средние значения на водоем		19,00	104,9	22577,3	4515,5

Средние значения показателей биомассы и деструкции зообентоса водоема-охладителя ХАЭС в летний период 1999 г. экстраполированы на три участка дна водоема (табл. 3.14), площадь которых составляла от 12 до 62,2 % общей площади водоема. Запас организмов зообентоса наибольшим был в сообществе **C. plumosus + Ostracoda** и составлял 62 % общего запаса зообентоса по водоему. Наименьшая величина запаса отмечена в центральной части ВО в сообществе **C. plumosus**. Общий запас зообентоса по всему водоему составил 104,9 т. В целом сообщество **C. plumosus + Ostracoda** характеризовалось и максимальными продукционно-деструкционными показателями.

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.15. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса в водоеме ХАЭС.

Сообщества	Unio + Tubificidae + Nematoda + Cycladidae	C. plumosus + Tubificidae	
	2001	2001	2006
Локализация, районы	Восточный, юго-западные уч-ки	Северный, западный, центральный	Северный, западный, центральный
Глубина, м	1,6—4,5	7,5—10,0	5,5—12
Грунт	Заиленный песок	Ил	Ил, сильно заиленный песок
Количество НОТ	49	7	15
N, экз/м ²	2577 ± 1922	1592 ± 456	3080 ± 504
B, г/м ²	13307,0 ± 6080,0	16,3 ± 10,1	10,9 ± 2,9
R, кДж/м ² · ч	0,13	0,09	0,08
P, кДж/м ² · сут	1,05	0,74	0,65
H _N , бит/экз.	3,524	2,264	2,765
H _B , бит/г	2,087	0,236	0,646

В 2001 г. были выделены два сообщества — **C. plumosus + Tubificidae** и **Unio + Tubificidae + Nematoda + Cycladidae**, локализованные, соответственно, в биотопах илов и песков (табл. 3.15). Первое сообщество занимало большую часть водоема, второе локализовано на участках восточного и западного районов.

Показатели обилия двух сообществ были невысокими. Сообщество **C. plumosus + Tubificidae** характеризовалось малым таксономическим богатством: 7 НОТ из 4 групп, тремя НОТ были представлены тубифициды, двумя — личинки хирономид, отмечены были также нематоды и ракушковые раки. В показателях обилия 33,9 % общей численности составляли *Limnodrilus* sp., 29,7 % — *C. plumosus*, а 96,9 % общей биомассы — *C. plumosus*, т. е. сообщество по биомассе было монодоминантным. Распределение численности зообентоса на участках, которые вошли в сообщество, было достаточно равномерным (CV = 70 %), колебания биомассы были более значительными (CV = 152 %). Уровень продукционно-деструкционных характеристик был невысоким, по деструкции доминировал *C. plumosus* (93,2 %). Среди трофических групп преобладали собиратели. НОТ-разнообразие по численности было на среднем уровне (2,264 бит/экз.), значительное доминирование одного вида определило очень низкое разнообразие по биомассе (0,236 бит/г).

Таксономическое богатство в сообществе **Unio + Tubificidae + Nematoda + Cycladidae** было достаточно значительным — 49 НОТ и 14 групп, наибольшим количеством видов и форм были представлены личинки хирономид (15), олигохеты (14 НОТ) из трех семейств: Naididae, Tubificidae и Enchytraeidae. Зарегистрированы также шесть НОТ двустворчатых моллюсков, по два — личинок клопов и двукрылых, брюхоногих моллюсков.

Показатели обилия сообщества были достаточно высокими. По численности оно было полидоминантным — общую численность составляли тубифициды, нематоды и шаровки (соответственно 36,8 %, 17,1 и 13,1 %). Основу биомассы составляли два вида: *U. tumidus* и *U. pictorum*. НОТ-разнообразие в сообществе было достаточно высоким как по численности, так и по биомассе благодаря высокому количеству НОТ, несмотря на высокое доминирование моллюсков по биомассе. По численности доминировали собиратели, по биомассе и деструкции — фильтраторы.

Три остальные группировки, локализованные в различных районах водоема (восточная часть плотины, мелководье юго-западной части водоема, участок впадения р. Гнилой Рог) характеризовались более высокими показателями обилия и количеством таксонов, хотя основными доминантами были также тубифициды и личинки хирономид.

Вселение дрейссены в водоем-охладитель ХАЭС коренным образом изменило облик донных сообществ. Однако, как и в предыдущий период исследований, в 2006 г. сообщество **C. plumosus + Tubificidae** было локализовано в северном, западном и центральном районах ВО ХАЭС на глубине 5,5—12 м, донные грунты были представлены здесь илом и сильно заиленным песком. Сообщество было представлено 15 НОТ беспозвоночных из 6 групп (см. табл. 3.15). Личинки хирономид и олигохеты были представлены наибольшим количеством НОТ (соответственно 6 и 5).

Сообщество характеризовалась невысокими показателями обилия при доминировании ювенильных тубифицид и *C. plumosus* по численности (соответственно 44,2 и 15,3 %) и последнего по биомассе (92,6 %). Из трофических групп доминировали собиратели.

В 2006 г. было выделено несколько характерных сообществ зообентоса ВО ХАЭС с доминированием дрейссены (табл. 3.16). Сообщество

Таблица 3.16. Структурно-функциональные показатели группировок зообентоса с доминированием дрейссены.

Сообщества	D. polymorpha + Unio + Tubificidae	D. polymorpha	D. polymorpha + Tubificidae
Глубина, м	0,9, 2,0—3,0	3,0—5,5	0,7—5,0
Грунты	Песок	Заиленный песок	Заиленный песок
Количество НОТ	40	34	50
N, экз/м ²	18358 ± 4892	17727 ± 2576	12272 ± 1743
B, г/м ²	2366,78 ± 731,90	1993,02 ± 33,49	443,81 ± 85,63
R, кДж/м ² · сут	65,70	55,66	14,44
P, кДж/м ² · сут	22,99	19,48	5,05
H _N , бит/экз.	3,161	2,313	3,889
H _B , бит/г	0,949	0,014	0,186

D. polymorpha + Unio + Tubificidae выделено на мелководных участках (глубина 0,9 м) и до глубины 2—3 м в западном и южном районах, где обитали перловицы с дрейссеной, поселившейся на поверхности их створок. Сообщество включало 40 НОТ из 14 групп, наибольшим богатством выделялись личинки хирономид (13 НОТ), олигохеты насчитывали 7 НОТ, личинки поденок — 4, личинки ручейников и двусторчатые моллюски — по 3, пиявки — 2, личинки клопов и брюхоногие моллюски — по 1 НОТ, а также нематоды, гидры, ракушковые раки, мокрецы, клещи. Сообщество характеризовалось достаточно высоким таксономическим разнообразием (3,14 бит/таксон).

Сообщество отличалось наибольшими среди дрейссеновых сообществ ВО ХАЭС показателями обилия. Особенностью этого сообщества было наличие субдоминанта по биомассе — *U. tumidus* (18,4 %). Количество таксонов до 1 % по численности составляло 11 НОТ, по биомассе — лишь один вид (*U. pictorum*, 4,1 %). По показателям обилия и деструкции доминировали фильтраторы (в основном дрейссена). Сообщество характеризовалось достаточно высоким разнообразием по численности (3,16 бит/экз.) и относительно высоким (0,95 бит/г) — по биомассе (как для сообщества с высоким доминированием одного вида).

Сообщество **D. polymorpha** было локализовано на больших глубинах, чем предыдущее — 3,0—5,5 м в восточном, северном и центральном районах ВО ХАЭС на сильно заиленном песке с включениями растительных остатков. Оно было представлено меньшим количеством НОТ и групп (соответственно 34 и 12), чем предыдущее, богатством также выделялись личинки хирономид (13 НОТ), олигохеты были представлены 9 НОТ, личинки поденок и пиявки — по 2, брюхоногие моллюски и личинки клопов — по 1, зарегистрированы также нематоды, гидры, ракушковые раки, клещи. Таксономическое разнообразие и выравненность также были ниже, чем в предыдущем сообществе. Показатели обилия сообщества были достаточно высокими, характерной его особенностью было доминирование дрейссены не только по биомассе, но и по численности (57,3 % общей), это определило и доминирование фильтраторов по показателям обилия и деструкции. Количество таксонов с долей >1 % по численности составляла 9 НОТ, доминирование дрейссены было абсолютным (99,9 %), доля биомассы следующего за ней вида составляла 0,02 %. Доминирование дрейссены и небольшое количество НОТ определили самое низкое среди дрейссеновых сообществ ВО ХАЭС НОТ-разнообразие и выравненность.

Сообщество **D. polymorpha + Tubificidae** было локализовано в южном, западном, северном и восточном районах ВО ХАЭС на глубине от 0,7 до 5,0 м, грунты здесь были представлены слабо- и заиленными песками, локально с включением створок дрейссены. Таксономический состав сообщества характеризовался наибольшим количеством НОТ из трех выделенных в ВО ХАЭС с доминированием дрейссены, групповая представленность была практически одинаковой. Большим количеством НОТ здесь отличались олигохеты и личинки хирономид (соответственно 13 и 16), чем в двух предыдущих сообществах. Распределение таксонов среди других групп было сходным, таксономическое разнообразие было относительно невысоким (2,94 бит/таксон), выравненность составляла 0,77.

Показатели обилия и продукционно-деструкционные характеристики сообщества были самыми низкими относительно двух других дрейссеновых сообществ ВО ХАЭС (см. табл. 3.16). По численности сообщество имело полидоминантную структуру — в доминирующий комплекс входило три НОТ. Как и в других группировках, доминирование дрейссены по биомассе было очень значительным (98,1 %), доля следующего вида составляла 0,8 %. В отличие от других дрейссеновых сообществ ВО ХАЭС, среди трофических групп по численности преобладали собиратели.

Таким образом, в период 1998, 1999 и 2001 гг. распределение зообентоса по акватории водоема-охладителя ХАЭС было неравномерным и зависело главным образом от характера грунта, поскольку сброс подогретых вод (в летний период практически отсутствовавший) мало влиял на температурный режим придонных слоев воды.

Качественный состав зообентоса был достаточно постоянным, его определяли обычные виды беспозвоночных. По встречаемости доминировали Ostracoda, Tubificidae и личинки *C. plumosus*. Минимальное количество НОТ зарегистрировано на сильно заиленных грунтах с большим количеством растительных остатков, максимальное — у впадения р. Гнилой Рог на щебне и на мелководьях юго-западной части на слабо заиленных песках.

Наименьшими показателями обилия характеризовались сильно заиленные пески, илы с растительными остатками, уплотненные пески и щебеночные участки отводящего канала. В южном и восточном районах на заиленных песках зообентос характеризовался наибольшими численностью и биомассой. На большей части дна охладителя по численности доминировали Tubificidae и Ostracoda, по биомассе — *C. plumosus*.

После вселения в водоем-охладитель ХАЭС дрейссены в донных группировках поселилась на случайных твердых субстратах (камни, древесина), на рыхлом грунте в виде друз и на раковинах живых и отмерших перловиц. Значительных изменений в видовом составе зообентоса не произошло, несколько увеличилось богатство представителей сем. Naididae, пиявок, личинок насекомых.

Показатели обилия зообентоса после вселения дрейссены возросли, а их пространственное распределение было мозаичным и определялись глубиной и типом грунта. В мелководных западном, восточном и южном районах охладителя, на глубине 2—4 м были сосредоточены наиболее массовые поселения дрейссены донных группировок. В поясе, где обитают перловицы, дрейссена поселяется в основном на живых их особях и, в меньшей степени, формирует друзы на случайных мелких субстратах (Техно-экосистема..., 2011). На более значительных глубинах, где живых перловиц не было дрейссена обитала в друзах и на раковинах отмерших крупных двустворок. В западном районе наибольшая биомасса дрейссены зарегистрирована на глубинах 2 м и 4 м, резко снижаясь на 3 м. В восточном районе основная масса дрейссены обитала на глубине 2 м, а в некоторые годы и локально — на глубине 5 м. Уровень развития зообентоса в восточном (более подогреваемом) районе на начальных этапах вселения дрейссены в охладитель был выше, чем в западном, и только начиная с 2007 к 2009 г. в восточном районе отмечено снижение биомассы зообентоса (в основном дрейссены).

В первый период запас зообентоса (см. табл. 3.14) составлял около 100 т. Значительное увеличение биомассы зообентоса за счет популяции дрейссены привело и к существенному увеличению запаса. Биомасса «мягкого» зообентоса изменилась незначительно, можно полагать, что его запас сохранился на близком уровне. Однако, в связи со значительным увеличением биомассы зообентоса за счет дрейссены, общий запас возрос очень существенно — почти до 8 тыс. т (Техно-экосистема..., 2011).

В настоящее время можно констатировать общее снижение запаса дрейссены в донных группировках водоема-охладителя ХАЭС, при этом снижение обилия определяется комплексом факторов: температурой (т. к. подключение второго энергоблока в целом усилило термическую нагрузку и сделало ее более стабильной), заилинием, развитием нитчатых водорослей в донных биотопах.

По результатам обследования донных биотопов в сентябре 2012 г., снижение уровня воды в охладителе и осушение значительных площадей мелководий западного, южного и восточного районов привело к значительным изменениям в зообентосе. На изобатах 3—5 м усилился процесс заилиния, что подтвердили визуальные наблюдения на трансектах западного и восточного районов. На мелководьях водоема-охладителя не отмечены двусторчатые моллюски — перловицы и беззубки. Количественные показатели зообентоса водоема-охладителя сократились, в основном за счет низкого развития дрейссены. Так, в восточном районе биомасса зообентоса (в основном за счет дрейссены) была всего порядка 100 г/м^2 , а в западном максимум биомассы был отмечен на глубине 5 м (750 г/м^2). В подводящем канале биомасса дрейссены была $3,1 \text{ кг/м}^2$, такого уровня этот показатель отмечался здесь в 2007 и 2009 гг. В зообентосе продолжает доминировать *D. polymorpha*. Дрейссена бугская была встречена в восточном и западном районах, в отдельных пробах, ее обилие составляло до 17 % численности и до 5 % биомассы суммарных показателей двух видов дрейссенид.

* * *

Исследования *перифитона* проводили¹ в период работы одного энергоблока в 1998, 1999, 2001 гг., в период работы двух энергоблоков — 2005—2012 гг. Визуальные подводные оценки распределения организмов перифитона проведены в 1998, 1999, 2001 гг., в июне и августе 2005 г., в апреле, июле, октябре 2006 г., в июле и октябре 2007 г., в июле и сентябре 2008 г., июле 2009 и сентябре 2010 и 2012 гг. Всего проведено 19 водолазных обследований на плотине, 20 — в подводящем канале. На откосах плотины и подводящего канала от уреза прокладывали трансекты протяженностью около 30 м. Летом 2007 г. проведены исследования состава и обилия зооперифитона на воздушно-водных растениях. Для исследования динамики формирования сообществ перифитона в подводящем канале на специальном стенде выставляли экспериментальные субстраты — пластины

¹ В проведении исследований принимали участие А.А. Протасов, О.О. Синицына, А.А. Силаева, О.Г. Куриленко, С.П. Бабарига, И.А. Морозовская, А.Ю. Янакаев.

из нержавеющей стали размером 26×80 мм. Пластины экспонировали от нескольких недель до года на глубине 2, 4 и 6 м.

Таксономическое богатство зооперифитона было достаточно высоким и во второй период несколько возросло по сравнению с первым (см. Приложение 1). Общий список таксонов зооперифитона охладителя по данным исследований в 1998—2001, 2005—2008 гг., а также на экспериментальных субстратах в 2007—2008 гг. насчитывал 125 НОТ (Техно-экосистема..., 2011). Наибольшим богатством характеризовались олигохеты и личинки хирономид (29 и 40 НОТ, соответственно, идентифицированные в основном до вида). Количество групп было достаточно большим: губки, гидрозоя, олигохеты, пиявки, ветвистосусые и равноногие ракообразные, личинки стрекоз, поденок, сетчатокрылых, жуков, ручейников, хирономид, а также моллюски и мшанки. В первый период в перифитоне отмечено 69 НОТ, во второй — 95, большее богатство определялось тем, что исследования проводили во второй период не только летом, но и в другие сезоны, а из 34 НОТ, отмеченных в эпифитоне, два были встречены только на высших растениях. Общими для первого и второго периодов исследования были 43 НОТ.

Проведенные подводные обследования гидросооружений (плотины, подводящего и отводящего каналов), а также мелководий юго-западного района в водоеме-охладителе ХАЭС в период работы одного энергоблока в 1998 г. показали отсутствие значительного животного обрастания на твердых субстратах, практически полное отсутствие макроформ. Визуальное картирование не проводилось ввиду отсутствия хорошо выраженных поясов, маркируемых макроформами. Только на дамбе на участке впадения р. Гнилой Рог были отмечены брюхоногие моллюски, а в отводящем канале колонии губки. В некоторых биотопах было отмечено довольно значительное обилие нитчатых водорослей до глубины 1,5—1,7 м. На плотине пояс нитчатых водорослей *Cladophora* sp. достигал ширины 4,5 м по бетонному откосу, биомасса водорослей на глубине 0,1—0,3 м составляла $1200,0 \pm 440,0$ г/м². В подводящем канале ширина пояса *Cladophora* sp. была намного меньше (0,8 м), а биомасса — сходной $1230,0 \pm 300,0$ г/м². В отводящем канале на участке, облицованном бетоном, пояс другой нитчатой водоросли *Ulothrix* sp. также был нешироким — около 0,5 м от уреза воды с достаточно высокой биомассой водорослей — $1400,0 \pm 600,0$ г/м². На участке, облицованном щебнем, выраженный пояс нитчатых водорослей отсутствовал, а биомасса *Ulothrix* sp. была ниже — около 140,0 г/м². Довольно значительное водорослевое обрастание создавало разнообразные микробиотопы для развития подвижных животных перифитона.

Показатели численности зооперифитона по водоему колебались в пределах — от 93 (глубина 2—3 м) до 129000 экз/м² (глубина 0,4—0,5 м). В отводящем канале (глубина 0,1 м) численность была чрезвычайно высокой за счет скопления здесь *Chydorus sphaericus* — 4,28 млн. экз/м². Практически на всех исследованных участках была хорошо выражена тенденция снижения численности беспозвоночных с глубиной.

По данным исследований в июне 1999 г. общая картина распределения группировок перифитона мало изменилась относительно предыдущего

года. На каменном укреплении дамбы на участке впадения р. Гнилой Рог, на плотине, в подводящем и отводящем каналах биомасса нитчатых водорослей изменялась от 820,0 до 2220,0 г/м². На участке впадения р. Гнилой Рог биомасса нитчатых водорослей составляла $1800,0 \pm 380,0$ г/м² при ширине пояса до 1,5 м. На плотине на глубине от 0,15 до 0,50 м средняя биомасса водорослей составляла $1600,0 \pm 550,0$ г/м². На глубине 1 м она была немного выше — $2220,0 \pm 260,0$ г/м². В конце пояса водорослей на глубине 2 м отмечалось снижение средней биомассы кладофоры до $820,0 \pm 90,0$ г/м². В подводящем канале средняя биомасса нитчатых водорослей р. *Cladophora* при ширине полосы всего 0,10—0,25 м составляла $1893,3 \pm 82,8$ г/м².

На участке вводящего канала, облицованного щебнем, по обоим берегам была отмечена полоса открепившихся от субстрата плавающих водорослей шириной 2 м, средняя биомасса которых составляла 400,0 г/м². Плавающие маты были представлены зелеными нитчатыми водорослями родов *Cladophora* и *Oedogonium* и синезелеными водорослями р. *Oscillatoria*. Запас водорослей в отводящем канале составил по максимальной оценке 4,8 т.

В подводящем канале на глубине 0,2 м в поясе зеленых нитчатых водорослей животные перифитона были представлены 21 НОТ, наибольшим богатством отличались хирономиды (6 видов), олигохеты (3 вида), брюхоногие моллюски (3 вида). Численность зооперифитона составляла 46000 экз/м² при доминировании *S. silvestris* (28 % общей численности), биомасса — 28,0 г/м² при доминировании *Bithynia tentaculata*. На глубине 2 м зооперифитон был представлен 11 видами. Численность животных составляла 22400 экз/м², биомасса — 4,6 г/м².

С учетом доминирования по показателям обилия и особенностей биотопов по данным 1998 и 1999 г. в зооперифитоне водоема-охладителя ХАЭС были выделены сообщества (табл. 3.17, 3.18), и только в одном из них в качестве доминанта выступала прикрепленная форма (губка).

Используя данные по биомассе макроводорослей и беспозвоночных в летний период 1999 г. и площадей, заселенных фито- и зооперифитоном в различных биотопах, был рассчитан запас водорослей и животных перифитона в водоеме-охладителе. На плотине запас водорослей составил 31 (по минимальным) и до 45 т (по максимальным оценкам). В целом по водоему запас макроводорослей перифитона составил около 45,5 т. В подводящем канале запас водорослей составлял около 1,2 т. Запас животных перифитона в автотрофно-гетеротрофной зоне (зона нитчаток) составлял 1,2 т и был выше, чем в гетеротрофной (нитчатые водоросли отсутствовали) — 0,6 т.

В августе 2001 г. были проведены исследования распределения и состава организмов перифитона на бетонной облицовке плотины. Существенных отличий от общей картины распространения и обилия организмов перифитона относительно прошлых лет исследования отмечено не было (Техно-эко-система..., 2011).

Следует отметить находку массивных колоний мшанки *Plumatella fungosa* на затопленном понтоне вблизи причала на участке входа в подводящий канал. Биомасса мшанки составляла более 1 кг/м². В других биотопах крупных колоний мшанки отмечено не было. Не были отмечены мшанки в заметных количествах и в последующие годы исследований.

Таблица 3.17. Сообщества зооперифитона в водоеме-охладителе ХАЭС и их структурно-функциональные показатели, летний период 1998 г.

Сообщества	Локализация	N, тыс. экз/м ²	B, г/м ²	R, кДж/м ² · ч	P, кДж/м ² · сут
C. silvestris+L. tritonus + G. gripecoveni	Пл, ПК	5,7 ± 3,9	5,43 ± 3,96	0,04 ± 0,03	0,34
S. lacustris + G. gripecoveni	ОтК	1,2 ± 0,3	151,80 ± 106,26	0,45 ± 0,30	3,78
Ch. sphaericus	ОтК	4602,2	41,55	1,25	10,50
L. stagnalis + C. silvestris	Д	5,8	217,87	0,41	3,44
G. gripecoveni + Cladocera	ВВР	22,1	3,96	0,05	0,42

П р и м е ч а н и е. Пл — плотина, ПК — подводный канал, ОтК — отводящий канал, Д — дамба на участке р. Гнилой Рог, ВВР — высшие водные растения, южный и западный районы.

Таблица 3.18. Сообщества зооперифитона в водоеме-охладителе ХАЭС и их структурно-функциональные показатели, летний период 1999 г.

Сообщества	Локализация	N, тыс. экз/м ²	B, г/м ²	R, кДж/м ² · ч	P, кДж/м ² · сут
C. silvestris + B. tentaculata	ПК	34,4	16,20	0,21	1,76
Cyclopoida + C. silvestris	ОтК	84,0	3,84	0,12	1,01
Cyclopoida + S. lacustris	ОтК	20,0	238,74	1,34	11,26
S. lacustris + Nais sp. + C. silvestris	Пл	200,6	45,03	0,94	7,90
S. lacustris + L. nervosus + E. tenellus	Д	28,3	7,84	0,14	1,18

Таким образом, в период работы одного энергоблока ХАЭС сообщества перифитона включали нитчатые водоросли на малой глубине (несколько более 1 м), которые представляли собой пространственно сложный биотоп для многочисленных мелких организмов, биомасса которых была порядка граммов — десятков граммов на м². Локально были отмечены массивные колонии мшанки и губки.

Ввод в эксплуатацию 2 энергоблока в 2004 г. и связанное с этим повышение температуры воды, постоянный подогрев в летний период, а также спонтанное вселение *Dreissena polymorpha* в водоем, существенно изменили не только состав перифитона, показатели обилия, но и габитальные характеристики сообществ. В системах циркуляционного и технического водоснабжения ХАЭС в 2004 г. были отмечены значительные биологические помехи именно от формирования обрастания дрейссеной.

Подводные обследования различных биотопов в водоеме-охладителе и каналах, проведенные в период эксплуатации двух блоков и вселения

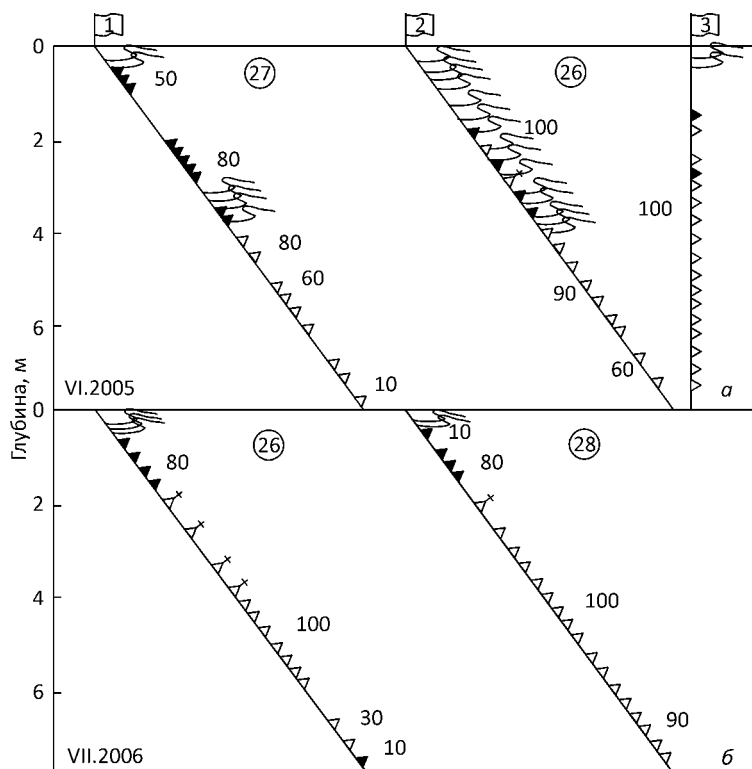
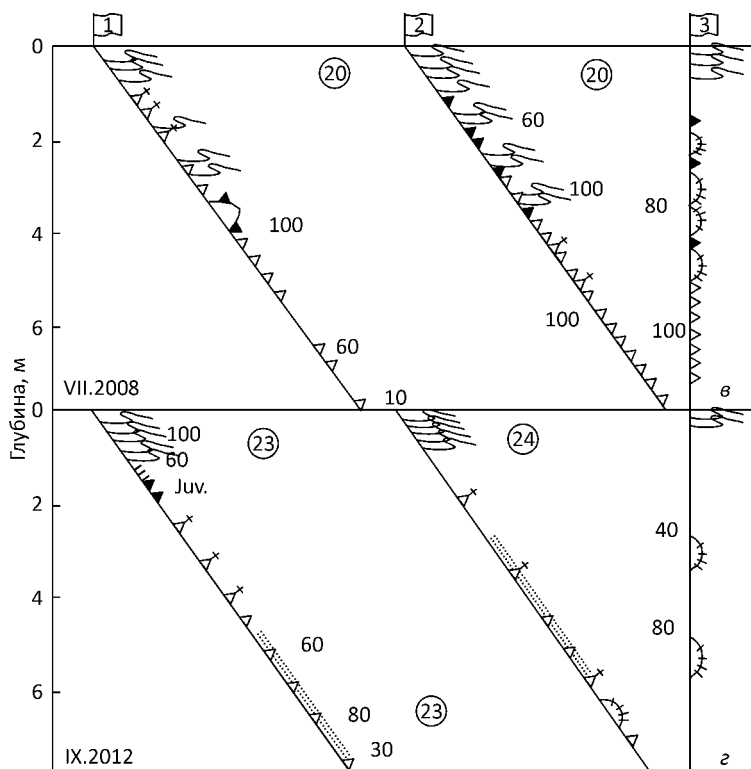


Рис. 3.43. Структура перифитона на плотине (1) и в подводящем канале: на откосах (2) и на вертикальной поверхности опоры моста (3) в техно-экосистеме ХАЭС в июне 2005 г. (а), июле 2006 г. (б); сентябре 2008 г. (в), сентябре 2012 г. (г)

дрейссены, начиная с июня 2005 г. показали, что распределение и пространственная структура зооперифитона в этот период были достаточно сложными (распределение поясов и группировок перифитона достаточно подробно было описано ранее (Техно-экосистема... 2011). По данным визуальной оценки на плотине и в подводящем канале установлено распределение поясов нитчатых водорослей, отмершей дрейссены (со скоплениями раковин живых моллюсков среди них) и пояса с разной плотностью покрытия субстрата поселениями дрейссены¹.

В июне 2005 г. в подводящем канале было выделено несколько поясов распределения перифитона (рис. 3.43, а). До глубины около 4 м распро-

¹ Необходимо отметить, что визуальная оценка практически полного отсутствия живой дрейссены среди створок отмерших моллюсков не подтверждалась при разборке отобранных проб. В этой зоне могли встречаться одиночные друзы и особи дрейссены, достигая довольно большого обилия.



Окончание рис. 3.43.

стралялся пояс нитчатых зеленых водорослей в виде плотного мата, прикрепленные непосредственно к субстрату водоросли отмечены до глубины около 1,3 м, живая дрейссена по визуальной оценке отсутствовала. Ширина этой зоны по откосу составляла около 2 м. Вторая, глубинная часть пояса имела более сложную структуру. Толстый мат зеленых нитчатых водорослей располагался на сплошном поселении дрейссены, большая ее часть (но не вся!) была погибшей. Протяженность этого «субпояса» составляла около 8 м до глубины 4 м. Глубже пояса нитчаток располагался пояс дрейссены с 80–100 % покрытием субстрата друзами. Такое покрытие сохранялось на протяжении 6–8 м по откосу до глубины около 6 м. Глубже, до самого дна покрытие дрейссеной в виде отдельных прикрепленных к бетону друз составляло около 60 %. На вертикальной бетонной поверхности опор моста в канале описанная выше зональность не отмечена. Здесь почти от самого дна до глубины 1,3–1,5 м от поверхности воды зафиксировано обрастание дрейссеной в виде агрегатов друз со 100 % покрытием субстрата. Это распределение было характерно для вертикальных поверхностей как освещенной, так и затененной сторон опоры.

Также были проведены наблюдения и оценка состава и распределения макроформ обрастания на плотине в средней ее части, и участок дна, расположенный вблизи бетонного откоса. Протяженность трансекты по бетонному откосу плотины составляла 30 м до глубины около 8 м. Картина распределения поясов оказалась достаточно сложной. Пояс зеленых нитчатых водорослей (*Cladophora* sp.) со 100 % покрытием от уреза воды до глубины около 0,3 м сменялся поясом нитчаток с мелкой дрейссеной — шириной не более 2 м до глубины 0,6 м. Глубже, неширокий пояс со 100 % покрытием дрейссеной находился между глубиной 1,9—2,5 м, зеленые нитчатые водоросли здесь практически не встречались. На глубине около 3,0—3,5 м (от 9 до 12 м по длине трансекты) было отмечено скопление нитчатых водорослей (*Ulotrix* sp.), под которым находилась дрейссена, практически полностью покрывающая бетонный субстрат (около 80 %). Далее по трансекте нитчатые водоросли уже не встречались, покрытие субстрата дрейссеной постепенно снижалось от 80 % (глубина около 4 м), до 50 % — на 5—6 м и до 15 % — вблизи дна. На дне (слабо заиленный песок) покрытие дрейссеной в виде друз составляло около 10 %.

В апреле 2006 г. на плотине в приурезной части была отмечена зона диатомовых водорослей до глубины 0,25 м, зона сплошного покрытия дрейссеной была широкой — от глубины 2 м и до 6 м.

В июле 2006 г. для распределения перифитона на откосе плотины было характерно резкое снижение обилия дрейссены в зоне около глубины 3 м. (рис. 3.43, б). В канале на левом откосе той же южной экспозиции (относительно солнечного освещения), что и на плотине отмечено снижение доли покрытия на глубине около 2 м, но на противоположном откосе (правый берег) такого явления отмечено не было. Начиная с июля 2006 г. на плотине от глубины 1,5 м до 3—4 м во все периоды исследований сформировался пояс отмершей дрейссены — раковины с редким присутствием живых особей. Довольно резко за этим поясом начинался пояс поселений дрейссены со 100 % покрытием, который не распространялся, однако, глубже 6 м. Глубже 6 м доля покрытия субстрата дрейссеной от 2005 г. к 2007 г. снизилась от 70 до 15 %.

Необходимо отметить, что «зона погибшей дрейссены», описываемая как таковая при визуальном обследовании реально была населена отдельными особями, правда, в небольшом количестве, биомасса в некоторые сезоны составляла сотни г/м². Эта зона была непостоянной и слабо выраженной в подводящем канале, но постоянной на плотине в течение всего периода исследования.

Существование этой зоны было связано, очевидно, с гидродинамическими факторами. От уреза воды и до глубины около 1 м под действием волн (а в зимний период при сильных морозах и при воздействии льда) происходит периодический срыв водорослей и прикрепившихся моллюсков и бетонный субстрат освобождается для поселений молоди. Весь биогенный материал смещается на большую глубину, где образуется подушка ракуши, которая не только мало пригодна для новых поселений, но, кроме того, значительно нарушается при волновом воздействии, хотя уже и не транспортируется на

большую глубину. С другой стороны, пояс этот постоянно пополняется раковинами отмерших моллюсков из приуездной и соседней зон, где на бетоне периодически возобновляются поселения дрейссены. Таким образом, формируется биотоп, практически непригодный для формирования устойчивых поселений дрейссены. В подводющем канале, где отсутствует волновое воздействие, такого постоянного пояса отмечено не было. Если и был отмечен пояс погибшей дрейссены, то причиной этого отмирания были, скорее, плотные поселения нитчатых водорослей.

В осенний период 2005 г. в подводщем канале была произведена механическая очистка откосов от поселений дрейссены (с откосов канала было извлечено более 700 т дрейссены). Но уже в июле 2006 г. поселения дрейссены отмечались от глубины 0,3 м (10 %) до глубины 1,5 м — при 80 % покрытии субстрата. Следует отметить, что на более освещенном левом откосе канала от глубины 1,5 до 2,3 м сохранялся пояс отмершей дрейссены. На правом, более затененном откосе такой зоны отмечено не было, поселения дрейссены распространялись от глубины 0,9 м до дна. Вертикальная поверхность опоры моста, также как и год назад, была полностью покрыта друзами дрейссены. Следует отметить, что эти поселения имели определенную динамику, часть из них отрывалась от вертикальной поверхности и, очевидно, достаточно быстро заменялись новыми. Под вертикальной стенкой на глубине около 8 м наблюдались скопления опавших друз высотой около полуметра.

В июле 2008 г., при остановке обоих энергоблоков в течение месяца и отсутствии подогретых сбросов, для перифитона на плотине была характерна довольно простая пространственная структура (рис. 3.43, в). Зона отмершей дрейссены несколько сузилась, а пояс сплошного покрытия дрейссенными поселениями распространялся от глубины 2,5 до 5 м.

В подводщем канале распределение перифитона в этот период различалось на двух откосах. Зона полного покрытия субстрата дрейссеной на левом откосе начиналась от глубины 4 м, на правом — от 3 м и распространялась практически до дна канала. Существенные изменения в составе и структуре перифитона произошли на вертикальной поверхности опоры моста в канале. Поселения дрейссены в виде друз сохранилось только в нижней части, на расстоянии 1,0—1,5 м от дна канала, вернее — от поверхности скопления друз, обвалившихся с опор (около 1 м над дном). Выше, от глубины 5 м общий габитус поселений определяли колонии губки *Eunapius carteri*. Колонии этого очень редкого в водоемах Украины вида (Трылис и др., 2009) на 50—80 % покрывали субстрат, молодая дрейссена в виде небольших пятен покрывала бетон не более чем на 40 %. Следует отметить, что на откосах канала и плотины губка практически не встречалась. По данным водолазов АЭС губки в первой половине лета развивались на гидросооружениях насосных станций на глубине до 12 м (судя по подводным фотографиям, это были колонии *Spongilla lacustris*). Также довольно большие их колонии были отмечены на камнях в южном районе.

В конце июня — начале июля 2009 г. исследования перифитона проводили на бетонных откосах плотины и подводщего канала. Обследованы также каменная отсыпка на участке впадения р. Гнилой Рог, бетонный и щебеночный

участки отводящего канала. Подводное обследование откоса правого берега подводящего канала позволило выделить 6 поясов. От уреза и до глубины 0,3 м по откосу отмечен пояс водорослевого обрастания *Cladophora fracta* с 100 % покрытием субстрата. Далее до глубины 2 м следовал пояс шириной 6 м, покрытие бетонного откоса водорослями составляло 10 %. Поселения имели вид отдельных кустиков, в поясе отмечены одиночные особи дрейссены. От глубины 2 м до 4 м роль эдификатора принадлежала зеленой водоросли *Chaetomorpha henningsii*¹. На глубине 2 м биомасса этой водоросли составляла 1945 г/м², на глубине 3 м — 1728, снижаясь до 307 г/м² — на глубине 4 м. Обилие эпифитов было очень незначительное, практически всю биомассу создавала хетоморфа.

На глубине 2—4 м биомасса дрейссены была очень низкой, не превышала 24,2 г/м². Невысокая биомасса связана с тем, что осенью 2008 г. откосы канала механически очищались. На глубине 5 м обрастание нитчатками снижалось до 20 %, отмечена дрейссена (покрытие субстрата моллюсками достигало 40 %).

В 2010 г. обследование канала и плотины было проведено в сентябре. В подводящем канале на откосе на глубине около 1 м впервые были отмечены колонии губки *Euparius*. Они выглядели как островки размером до 10—15 см среди зарослей кладофоры.

В отводящем канале подводные обследования не проводили. Здесь на малой глубине наблюдалась смена фонового водорослевого обрастания по сезонам: диатомовые — в холодное время года, зеленые — в начале лета, синезеленые нитчатые — при наибольших температурах. Последние образовывали широкий пояс (1,5 м) водорослевых матов вдоль берега.

В южном районе, на участке впадения р. Гнилой Рог в водоем, где крупнокаменная отсыпка укрепляет дамбу до глубины 1,5—2 м, на камнях, почти от уреза воды, начиная с 2005 г. глубже неширокого пояса зеленых нитчатых водорослей наблюдались поселения дрейссены, практически полностью покрывающие субстрат (90—100 %). Этот характер поселений сохранялся во все сезоны исследований. Таким образом, общий габитус и пространственная структура сообществ перифитона в разных биотопах были неоднородными.

В 2011 г. во всей техно-экосистеме произошли серьезные изменения, связанные, в первую очередь, со значительным снижением уровня воды в течение осенне-зимнего периода. Появились признаки повышения трофности водоема. По данным обследований гидросооружений в сентябре 2012 г. обилие популяции дрейссены резко сократилось и общий габитус перифитонных группировок существенно изменился (рис. 3.43, г). На плотине, также как и в подводящем канале, на малой глубине был отмечен неширокий пояс зеленых нитчатых водорослей до глубины 0,8—1,5 м. На плотине на глубине около 2 м отмечены поселения молоди дрейссены в виде неширо-

¹ Ранее (Техно-экосистема..., 2011) эта водоросль была указана как *Chaetomorpha henningsii*, однако некоторые альгологии выразили сомнение в точности определения, поскольку не было возможности идентифицировать некоторые морфологические признаки. Впоследствии ее массовые поселения в водоеме и каналах отмечены не были.

кого пояса. В канале такого поселения не было. Пояс ракуши с песком был отмечен на плотине до глубины около 3—4 м. Далее на 4 и 5 м поселения дрейссены были представлены редкими друзьями на заиленной ракуше. Весьма условно была дана оценка плотности поселений 80 %. В канале на глубине 2 м были отмечены редкие колонии губки среди редких нитчаток на бетоне. Глубже слоем от 5 до 8 см бетон был покрыт ракушей с редкими моллюсками и друзьями. На почти полностью свободном от обрастания бетоне опоры моста только в нижней части покрытие колониями губки составляло около 80 %.

Что касается таксономического богатства зооперифитона, то наименьшим оно было в зимний период. В феврале на плотине, в подводящем, отводящем каналах отмечено до 17 НОТ, в то время как в летний период, в июле 2006 г. — до 30. Изменения видового богатства по сезонам были связаны с температурой, зависимость эта не была прямолинейной. В апреле наибольшее количество видов отмечено при 17 °С, в июле — при 23, а в октябре — при 25 °С. При высоких температурах таксономическое богатство снижалось (4—6 НОТ при 37 °С). Наибольшее количество НОТ было отмечено в средней части диапазона температур, около 24—25 °С (Техно-экосистема..., 2011). Глубина в целом не оказывала существенного влияния на изменение видового богатства, однако наибольшее количество видов было отмечено в приустьевой зоне, здесь, очевидно, определяющим было присутствие высокогетерогенных, богатых пищей биотопов, связанных с поселениями нитчатых водорослей. Существенно модифицирующей среду для других организмов была и дрейссена. Количество НОТ возрастало при увеличении биомассы дрейссены в поселениях, однако только до биомассы 6—7 кг/м², при большей биомассе — снижалось.

Биомасса дрейссены в подводящем канале возрастала до глубины 3 м достаточно быстро, затем несколько стабилизировалась, хотя и при значительном варьировании значений вокруг средних — около 15 кг/м² (рис. 3.44, а). На

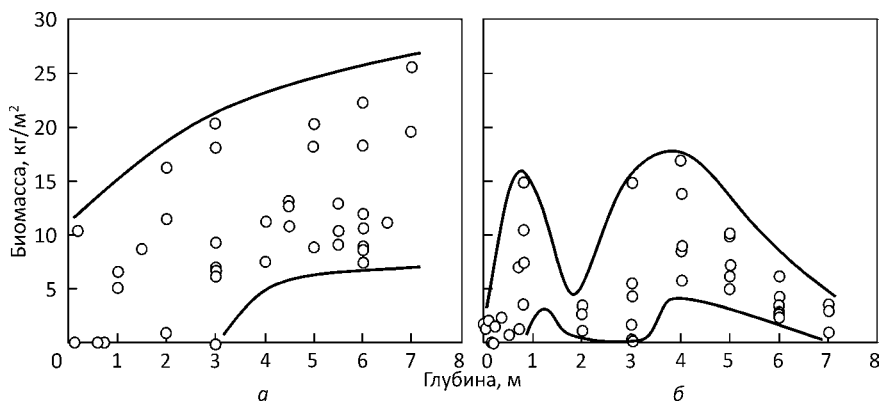


Рис. 3.44. Изменение биомассы дрейссены в подводящем канале (а) и на плотине (б) в зависимости от глубины (по данным 2005—2006 гг.)

плотине зависимость распределения биомассы дрейссены от глубины была более сложной (рис. 3.44, б). Биомасса возрастала до глубины 1 м, а затем снижалась к 2 метровой глубине. От 3 до 4 м глубины биомасса дрейссены в поселениях возрастала до 17 кг/м^2 , далее ее значения резко снижались с глубины 4 м, а на глубине 7 м — не превышала 4 кг/м^2 .

В южном районе, на камнях биомасса зооперифитона, также в основном за счет дрейссены достигала $10\text{—}15 \text{ кг/м}^2$. Доля других беспозвоночных в сообществах дрейссены была крайне малой: десятые и сотые доли процента от общей биомассы.

Таким образом, на плотине и в подводящем канале характер распределения биомассы дрейссены по глубине был различным. Оказалось, что по данным отобранных проб минимум биомассы был на несколько меньшей глубине, чем это наблюдали при подводном визуальном обследовании — около 2 м. Однако, как следует из полученных данных, и на глубине 3 м в некоторых случаях биомасса была практически равна нулю.

Из макроформ перифитона существенную роль играли зеленые нитчатые водоросли. В подводящем канале в июне 2005 г. они, как было отмечено выше, распространялись до глубины около 4 м, биомасса их на глубине 0,6—1,5 м колебалась от 2,3 до $3,0 \text{ кг/м}^2$ (в среднем $2644,0 \pm 288,7 \text{ г/м}^2$). Средняя биомасса нитчатых водорослей составляла в канале около 2 кг/м^2 , а запас может быть оценен в 45 т на весь подводящий канал. Из этих наблюдений, можно сделать заключение, что обилие нитчатых водорослей, по сравнению с периодом работы одного энергоблока значительно возросло. Увеличение прозрачности за счет фильтрационной активности дрейссены привело не только к более глубокому проникновению водорослей, но и к более интенсивному их развитию. Возможно, это связано и с изменением термического режима.

Если в период работы одного энергоблока биомасса беспозвоночных была порядка единиц и десятков г/м^2 , то после вселения дрейссены она возросла на 3 порядка (рис. 3.45) и была более 10 кг/м^2 . При этом следует отметить вполне выраженную тенденцию снижения биомассы зооперифитона (95—98 % составляла дрейссена) от 2005 к 2009 г. Если на глубине 4—5 м в 2005 г. биомасса была $14,1 \text{ кг/м}^2$ (плотина), и почти 20 кг/м^2 ($19,7 \text{ кг/м}^2$, подводящий канал), то в 2009 г. биомасса снизилась до $2\text{—}6 \text{ кг/м}^2$.

В 2012 г. показатели обилия еще более снизились. На плотине биомасса была около $3,7 \text{ кг/м}^2$ на глубине 5 м, в подводящем канале только в придонной области, на глубине 8—9 м она была более $4,5 \text{ кг/м}^2$, а на глубине 4—6 м, где ранее биомасса достигала 19 кг/м^2 и более, в этот период составляла всего 41 г/м^2 .

Ценотическая структура перифитона во второй период может рассматриваться как весьма однообразная¹. Как показывают и визуальные наблюдения, и количественные характеристики перифитона, основные площади твердых субстратов во всей техно-экосистеме занимали поселения дрейссены, формируя сообщество **D. polymorpha** (табл. 3.19).

¹ Сообщества на малых глубинах, в том числе сообщества, где ценозообразующими были нитчатые водоросли, в данной работе не рассматриваются.

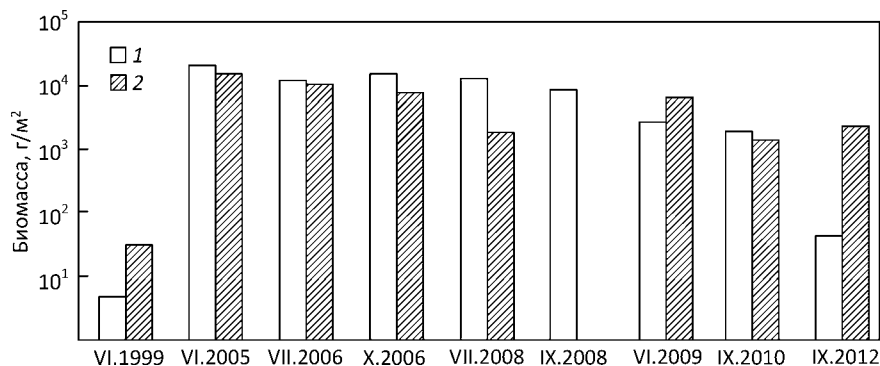


Рис. 3.45. Динамика биомассы зооперифитона в подводном канале (1) и на плотине (2). Представлены средние показатели на глубине 4—6 м

Таблица 3.19. Характеристики сообщества **D. polymorpha** зооперифитона в техно-экосистеме ХАЭС, июль 2006 г.

Характеристики	Значения
Локализация	Плотина, ПК, южный район
Количество НОТ	51
N, экз/м²	74040 ± 20457
Вариабельность показателей численности (CV), %	103,9
B, г/м²	10064,0 ± 1245,8
Вариабельность показателей биомассы (CV), %	46,3
B _{дк} , кДж/м²	2276,3 ± 248,9
Вариабельность показателей энергосодержания биомассы (CV), %	40,9
R, деструкция, кДж/м²·ч	10,5 ± 1,8
Вариабельность показателей деструкции (CV), %	62,5
P, кДж/м² · сут	88,6 ± 22,2
R/B	0,004632
Средняя масса особи (B/N), мг	0,136
H _N , бит/экз.	1,635
H _B , бит/г	0,015

Показатели численности и биомассы в сообществе довольно значительно различались по степени вариабельности: показатель коэффициента вариации CV по численности был в 2,5 раза выше, чем по биомассе. Численность в различных биотопах колебалась от 14 до 97 тыс. экз/м², а с учетом численности со-

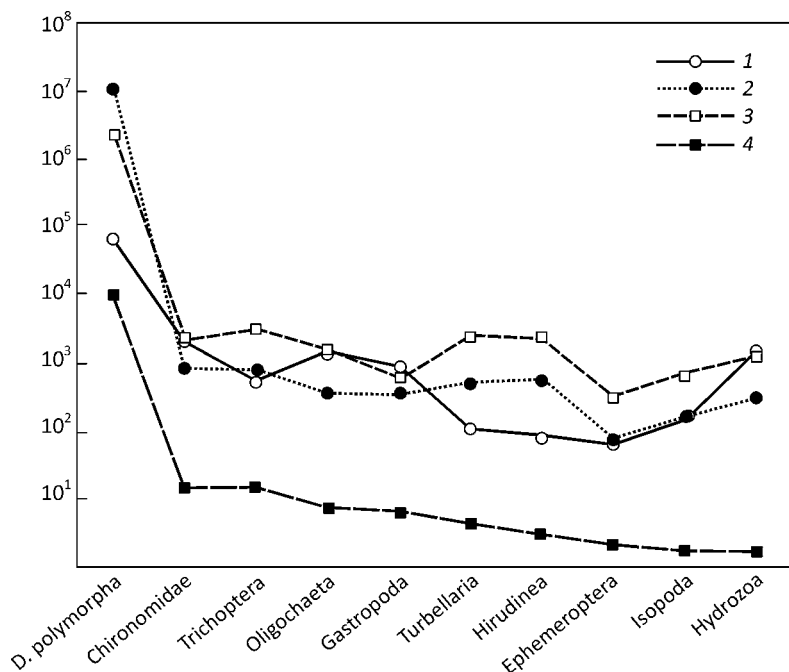


Рис. 3.46. Ранжированное распределение показателей численности, экз/м² (1), биомассы, мг/м² (2), энергосодержания биомассы, Дж/м² (3), разрушения, Дж/м² · ч (4) для основных групп зооперифитона в сообществе *D. polymorpha*

общества на бетонной поверхности опоры моста в ПК (более 390 тыс. экз/м²), диапазон этих колебаний еще выше. Показатели численности, так же как и биомассы сообщества на отдельных станциях определяла популяция дрейссены: 70—80 % численности всех организмов, 96—99 % биомассы. Также высоким было доминирование дрейссены и по другим показателям (рис. 3.46). Наибольшее преобладание над другими группами у дрейссены было по показателю биомассы — на 4 порядка величин, а наименьшее — по численности, всего на 2 порядка. На рисунке в качестве основного ранжируемого показателя выбраны значения разрушения, однако, можно видеть, что в целом последовательность групп сохраняется и для других показателей, за исключением турбеллярий, пиявок, личинок хирономид (по биомассе).

Несмотря на достаточно однородные показатели в сообществе *D. polymorpha*, целесообразно рассмотреть три биотопических его варианта или три локальных сообщества, поскольку биотопические условия достаточно различны. В районе плотины преобладают лентические условия, влияние гидродинамического фактора волнового воздействия на глубине более 3—4 м мало сказывается на условиях обитания здесь перифитона. В летний период часто наблюдается выраженная термическая стратификация. В подводном канале условия лотические.

Таблица 3.20. Локальные сообщества зооперифитона в техно-экосистеме ХАЭС, июль 2006 г.

Сообщества	D. polymorpha (Пл)	D. polymorpha (ПК)	D. polymorpha (Юр)
Локализация, глубина в м	Плотина, 4—7	Подводящий канал, 4—6	Южный район, каменная наброска, 0,1—1,0
Количество НОТ	18	36	34
N, экз/м ²	49360 ± 9509	136900 ± 45711	26391 ± 7387
Вариабельность показателей численности (CV), %	43,1	74,7	56,1
B, г/м ²	10063,1 ± 1747,3	12178,7 ± 1867,3	7406,0 ± 2906,8
Вариабельность показателей биомассы (CV), %	38,8	34,3	78,3
B _{Дж} , кДж/м ²	2323,3 ± 402,4	2843,8 ± 190,3	1508,1 ± 526,7
Вариабельность показателей энергосодержания биомассы (CV), %	38,7	14,9	69,9
R, кДж/м ² · ч	12,4 ± 3,8	13,9 ± 1,0	4,2 ± 1,5
Вариабельность показателей деструкции (CV), %	68,5	15,5	70,9
P, кДж/м ² · сут	103,8 ± 28,0	117,1 ± 47,0	35,0 ± 10,0
R/B	0,0053	0,0049	0,0027
Средняя масса особи (B/N), мг	0,2039	0,0889	0,2806
H _N , бит/экз.	0,203	1,717	2,005
H _B , бит/г	0,001	0,025	0,012

П р и м е ч а н и е. Пл — плотина, ПК — подводящий канал, Юр — южный район.

Важно отметить, что здесь наблюдаются не только направленное течение вдоль канала, но существует и турбулентное перемешивание по сечению канала. Термические условия по всем глубинам достаточно сходные. И, наконец, в южном районе, вблизи впадения р. Гнилой Рог условия совершенно иные: здесь глубины, на которых имеются твердые субстраты (камень), не превышают 1,5—2,0 м, иной термический режим, кроме того, определенное влияние имеет биотический фактор, а именно — близость естественных водоемов определяет появление здесь некоторых нехарактерных для остального водоема видов.

Таким образом, можно выделить три локальных сообщества **D. polymorpha** (табл. 3.20; рис. 3.47). Сообщество **D. polymorpha** (Пл) имело наименьшее таксономическое богатство, наименьшую вариабельность показателей численности, наименьшие показатели разнообразия как по биомассе, так и по численности. В локальном сообществе **D. polymorpha** (ПК) наибольшими были показатели обилия, а также общего метаболизма и продукции. В сообществах **D. polymorpha**

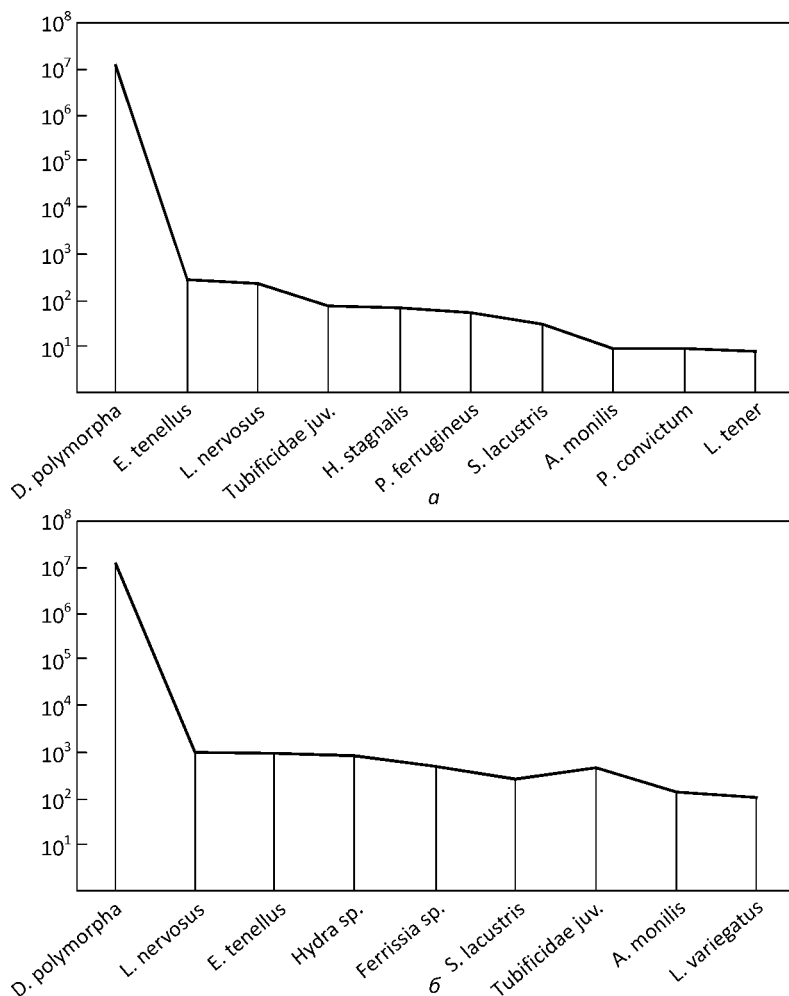
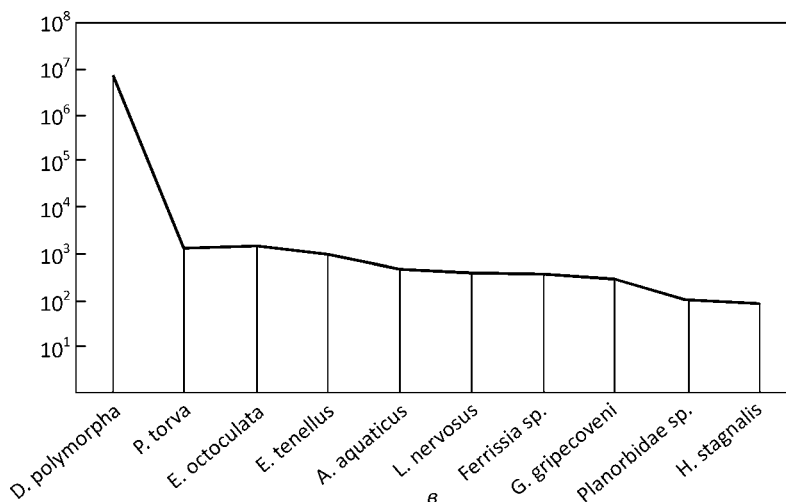


Рис. 3.47. Ранжированное распределение биомассы отдельных ценопопуляций в локальных сообществах: а — *D. polymorpha* (Пл); б — *D. polymorpha* (ПК); в — *D. polymorpha* (Юр)

(ПК) и *D. polymorpha* (Юр) было сходным количество НОТ, хотя первое было гораздо более обширным, но с менее разнообразными условиями в перифитали (однообразный бетонный субстрат и сложный биотоп каменной отсыпки).

Следует отметить различия в распределении ранжированных показателей биомассы в сообществе *D. polymorpha* (Пл) относительно двух других. Степень доминирования дрейссены в нем выше, причем не столько за счет высокой биомассы доминанта, сколько из-за более низкой биомассы остальных 9 (на рисунках представлены только значения биомассы 10 первых ценопопуляций).



Окончание рис. 3.47.

Таким образом, в локальном сообществе **D. polymorpha** (Пл) в гораздо меньшей степени имеются условия для развития сопутствующих видов. При этом следует отметить значительное сходство списка этих наиболее обильных НОТ. Общими для всех трех локальных сообществ были *E. tenellus* и *L. nervosus*, 5 общих НОТ были в двух сообществах, причем, количество таковых было больше между сообществами на плотине и в ПК. Большим своеобразием отличался состав наиболее обильных ценопопуляций в локальном сообществе южного района — пять «оригинальных» ценопопуляций. При этом следует отметить, что в составе сообществ были общие НОТ, не вошедшие в число первых 10.

Однако указанные различия мало затрагивают общую структуру сообщества. Сообщество **D. polymorpha**, каким оно было в начальный период существования ценозообразующей популяции дрейссены, можно охарактеризовать, если можно так выразиться, как скомпанованное из сообщества первого периода и популяции дрейссены. О слабых биотических взаимодействиях в сообществе говорит, например, и то, что популяция дрейссены в 2006 г. была крайне бедна комменсалами и паразитическими организмами, обычно присутствующими у дрейссены в таких сообществах (Техно-экосистема..., 2011). Отметим, что предварительные данные 2012 года также показали достаточно малые изменения в общей структуре сообщества, изменилось только обилие дрейссены.

По сравнению с первым периодом, когда функционировал один энергоблок АЭС, существенно возросли и функциональные показатели зооперифитона, основу которого составляла дрейссена (табл. 3.21). Дрейссена стала мощным биологическим фактором формирования среды обитания для других организмов.

Запас дрейссены рассчитывали, исходя из ее биомассы на средней глубине пояса с учетом процента покрытия субстрата и ширины пояса (табл. 3.22; 3.23). В основу расчетов средней биомассы на каждой глубине (средней

3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций

Таблица 3.21. Показатели обилия, деструкция и фильтрационная активность дрейссены в разных биотопах, июнь 2005 г.

Биотоп	B	R	P	F
Подводящий канал, глубина 3 м	46,9	0,20	1,038	0,24
Подводящий канал, глубина 5 м	19751,4	18,86	158,40	23,36
Плотина, глубина 3 м	10476,4	9,51	79,90	11,78
Плотина, глубина 6 м	17838,7	15,45	129,80	21,09

П р и м е ч а н и е. N — численность, экз/м²; B — биомасса, г/м²; R — деструкция, кДж/м² · ч; P — продукция, кДж/м² · сут.; F — фильтрация, м³/м² · сут.

Таблица 3.22. Запас и фильтрация дрейссены в перифитоне в подводящем канале, июль 2006 г.

№ пояса	Средняя глубина, м	Ширина пояса, м	B _н , г/м ²	Запас, кг	F, м ³ /м ² · ч	F _с , м ³ /сут
1	0,1	0,8	—	—	—	—
2	0,6	2,2	2423,7	5,33	0,14	6,23
3	1,2	2,0	5595,2	11,19	0,34	13,74
4	1,9	2,7	8246,2	22,26	0,51	27,67
5	2,3	0,3	9474,1	2,84	0,59	3,54
6	2,6	2,0	10287,6	20,58	0,64	25,69
7	3,1	5,0	11176,0	55,88	0,69	69,90
8	5,1	6,0	10486,1	62,92	0,66	78,60
9	6,0	2,0	8156,9	16,31	0,51	20,27
Сумма на площадь всей трансекты шириной 1 м				197,32	0,55 (среднее)	245,70

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 3.23: показатели указаны с учетом процента покрытия дрейссеной субстрата; B_н — биомасса дрейссены на средней глубине пояса; запас — масса дрейссены в поясе на трансекте шириной 1 м; F — фильтрация дрейссены для средней глубины пояса; F_с — фильтрация на площадь участка пояса при ширине трансекты 1 м; «—» — дрейссена отсутствовала.

глубине каждого пояса) были положены данные по определению биомассы дрейссены в отобранных пробах, поэтому деление на пояса было более дробным, чем при визуальных оценках

В подводящем канале было выделено 9 поясов, ширина которых варьировала от 0,3 до 6,0 м, начиная со второго пояса (средняя глубина 0,57 м) на откосе канала была отмечена дрейссена. В то же время на плотине выделено 8 поясов с минимальной шириной пояса 0,3 м, а максимальной — 7,5 м.

Общий запас дрейссены в подводящем канале на 1 км его протяженности по одному откосу составил 197,3 т, общий запас для всего канала составил около 630 т, на 1 км плотины запас дрейссены, при условии сохранения длины трансекты и характера покрытия составил 177,7 т, а на всей плотине —

Таблица 3.23. Запас и фильтрация дрейссены в перифитоне на плотине, июль 2006 г.

№ пояса	Средняя глубина, м	Ширина пояса, м	B_p , г/м ²	Запас, кг	F , м ³ /м ² · ч	F_c , м ³ /сут
1	0,1	0,3	—	—	—	—
2	0,7	3,7	2888,37	10,69	0,17	12,66
3	1,3	2,0	4830,32	9,66	0,29	11,79
4	2,6	9,0	7615,70	68,54	0,47	85,00
5	5,0	7,5	8189,36	61,42	0,51	76,32
6	6,3	2,0	6001,53	12,00	0,37	14,78
7	6,7	1,5	4649,52	6,97	0,28	8,50
8	7,5	4,0	2110,55	8,44	0,12	9,73
Сумма на площадь всей трансекты шириной 1 м				177,73	0,31 (среднее)	218,78

около 1530 т. Вся дрейссена на трансекте шириной 1 м профильтровывала в канале 12,3 м³/ч, на плотине — 10,9 м³. Таким образом, в подводящем канале на 1 км его протяженности по одному откосу фильтрация дрейссеной составила 246000 м³/сутки, а на плотине — 218000 м³/сутки. При длине плотины около 6,8 км, общая фильтрация дрейссены составит 1,8 млн. м³/сут., а в канале — около 0,8 млн. м³/сут. ¹ Объем прилегающего к плотине 3-метрового слоя воды составляет около 0,7 млн. м³, а расход воды в подводящем канале в течение года может варьировать от 4 до 9 млн. м³/сут. Таким образом, дрейссена профильтровывала объем воды, сопоставимый с объемами, связанными с техническими элементами техно-экосистемы.

Выделенные сообщества дрейссены (см. выше), таким образом, представляли собой лишь часть более сложной поясной структуры всего перифитона на откосах плотины и канала. Ориентировочные расчеты продукции всем сообществом показывают также, что в масштабах водоема это достаточно большие величины. С учетом площади, которые занимали сообщества (около 100000 м²), суточной продукции и коэффициента, связывающего энергосодержание и биомассу (см. раздел по зооперифитону ЧАЭС), можно рассчитать, что на плотине и в подводящем канале ежедневно образовывалось 48 т биомассы, в основном дрейссены.

В водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС достаточно хорошо развита высшая водная растительность (Техно-экосистема, 2011), которая служит субстратом для формирования сообществ эпифитона.

За период исследования на воздушно-водных высших растениях отмечено 34 НОТ беспозвоночных. В видовом составе доминировали личинки хирономид — 11 видов и форм, малощетинковые черви — 10, отмечено по 3 НОТ личинок ручейников и поденок и брюхоногих моллюсков, а так же губки, нематоды, кишечнотолостные, пиявки, ракушковые раки, дрейссена. Количество НОТ беспозвоночных на ВВР колебалось от 3 на молодых стеблях

¹ Расчеты не учитывают определенной гетерогенности поселений дрейссены.

до 26 — в друзьях дрейссены, образовавшихся на стеблях тростника. Трофическая структура сообществ была представлена тремя трофическими группами — фильтраторами, собирателями, хищниками.

Средняя биомасса эпифитона на 1 м² дна была невелика — около 4 г/м² без учета не так часто встречававшихся друз дрейссены, и около 9 г/м² — при учете друз. Если принять среднюю ширину зарослей около 10 м, а протяженность береговой линии, где произрастают высшие растения — около 16 км, то общий запас эпифитона может быть оценен всего в 1,4 т. В целом показатели обилия эпифитона на стеблях высших растений невелики, однако, учитывая значительную поверхность высших водных растений во всем водоеме, которая, вероятно, будет в дальнейшем увеличиваться, изучению роли перифитона на высших растениях следует уделять большое внимание. По данным 2012 г. существенное место в эпифитоне на полупогруженной растительности стала занимать губка *Eunapius carteri*.

Исследования зооперифитона с использованием экспериментальных субстратов в подводящем канале ХАЭС показали, что динамика формирования сообществ в значительной мере зависела от особенностей заселения субстратов видами перифитонных организмов, которые могут стать доминантами (Техно-экосистема..., 2011). Было установлено, что губка *Eunapius carteri* может существенно влиять на ход сукцессии сообществ, которые до ее вселения в водоем формировались как дрейсеновые. Это происходило двояким образом. Кроме того, что колонии губки, обрастая прикрепившихся моллюсков, вытесняют последних с субстрата, важное значение имеет то, что субстрат, покрытый колониями губки становится непригодным для оседания и прикрепления личинок дрейссены. Выше было отмечено, что губка вытесняла дрейссену и на более масштабных субстратах, нежели экспериментальные пластины.

Многолетние исследования контурных группировок техно-экосистемы ХАЭС показали, что их значение существенно возрастает, когда происходит вселение вида, который может стать эдификатором сообществ. Таким видом здесь была дрейссена (*D. polymorpha*). Исследования 2012 г. показали, что в водоеме появился второй вид дрейссены (*D. bugensis*) и сложно предположить каким путем пойдет дальнейшая сукцессия — будут ли формироваться сообщества этих двух видов по типу сообществ в водоеме ЧАЭС, либо колебания уровня в водоеме, возрастание процессов эвтрофирования приведут к деградации, как это произошло в техно-экосистеме ЮУАЭС. Дальнейшее развитие изменений в техно-экосистеме крайне важно для прогноза формирования биологических помех в работе оборудования АЭС.

В течение периода исследований не было возможности получить данные о развитии обрастания и других биопомех непосредственно в системах водоснабжения ХАЭС. Однако, в 2004, 2005 гг. существенные биопомехи, как нам известно, наблюдались в системах технического и циркуляционного водоснабжения станции. Они были связаны в первую очередь с развитием обрастания, сформированного дрейссеной. Серьезные биологические помехи были отмечены также на блочных насосных станциях, на вращающихся сетках из-за массового сноса по подводящему каналу скоплений нитчатых водорослей, а, начиная с 2011 г., и высших водных растений, то есть гидробионтов контурных группировок.

Имеющиеся данные по отдельным техно-экосистемам, приведенные в предыдущих разделах, позволяют определенным образом обобщить их.

Исследованные водные объекты, которые входят в состав техно-экосистем испытывают значительное техногенное влияние, однако характеризуются достаточно высоким таксономическим богатством беспозвоночных бентоса и перифитона. Этот показатель в каждом из объектов в значительной мере зависит от типа и условий эксплуатации охладителя, продолжительности действия техногенных факторов. Как видно из списка таксонов (см. Приложение 1) в целом количество НОТ и таксономических групп в исследованных водоемах (кроме водоема-охладителя ЮУАЭС и ЗАЭС) было сходным. Наибольшим количеством НОТ характеризовались олигохеты и личинки хирономид. Однако, в лотических условиях (р. Стирь и участок Каневского водохранилища) доля олигохет в общем количестве НОТ была несколько ниже, чем в водоемах-охладителях, доля же личинок хирономид была практически одинаковой во всех водных объектах. Зообентос водоема-охладителя ХАЭС является одним из наиболее богатых в таксономическом отношении, общее количество таксонов (141 НОТ) достаточно значительно по сравнению с другими водоемами-охладителями. Появление дрейссены (*Dreissena polymorpha*) в охладителе ХАЭС в период наших исследований не повлияло в значительной мере на таксономическое богатство зообентоса.

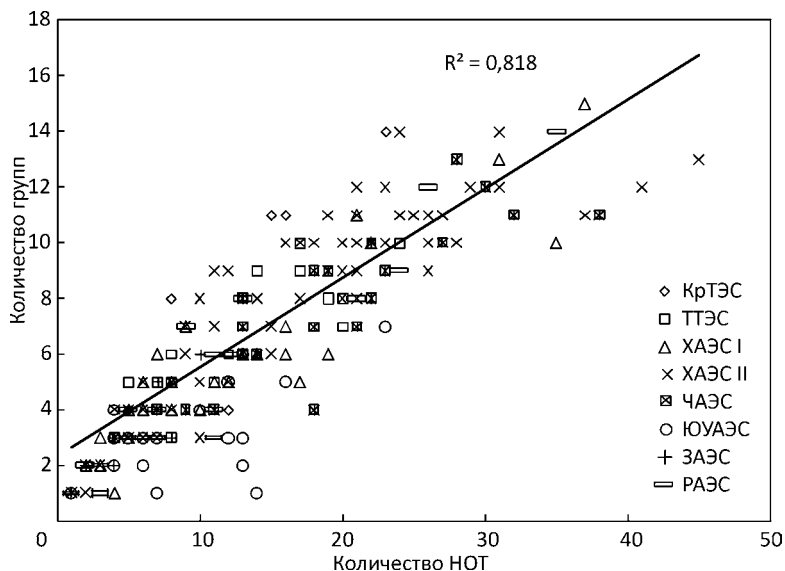


Рис. 4.1. Зависимость между количеством HOT и количеством групп зообентоса исследованных водоемов. Линейная аппроксимация представлена для охладителя ХАЭС (второй период)

Таксономический состав зооперифитона водоемов-охладителей и других объектов техно-экосистем ТЭС и АЭС также был достаточно богат. По данным, проведенных ранее исследований, в перифитоне этих водоемов было отмечено более 120 видов (HOT) из 16 таксономических групп (или 20 групп при более дробном разбиении ракообразных — Cladocera, Copepoda, Amphipoda, Isopoda, Ostracoda) (Гидробиология..., 1991). По данным более поздних исследований в этот список входят также мизиды и два вида губок.

Представители понто-каспийского комплекса беспозвоночных зарегистрированы в основном в охладителе ЧАЭС и на участке Каневского водохранилища в районе ТрТЭС, что связано с вселением и распространением этих беспозвоночных по каскаду днепровских водохранилищ. Ракообразные и полихеты понто-каспийского комплекса в основном ассоциированы с поселениями дрейссены. В охладителе ХАЭС зарегистрированы дрейссена полиморфная, дрейссена бугская и один вид мизид. В ряде водоемов-охладителей отмечена *Cordilophora caspia* (Приложение 2).

Следует отметить, что увеличение количества HOT зообентоса (идентифицированных в основном до рода и вида) происходило с увеличением количества групп, то есть количество таксонов увеличивалось не за счет увеличения HOT в отдельной группе, а за счет появления новых групп (рис. 4.1).

Степень развития зообентоса вообще, и таксономическое богатство в частности, определяется комплексом факторов — типом грунта, температу-

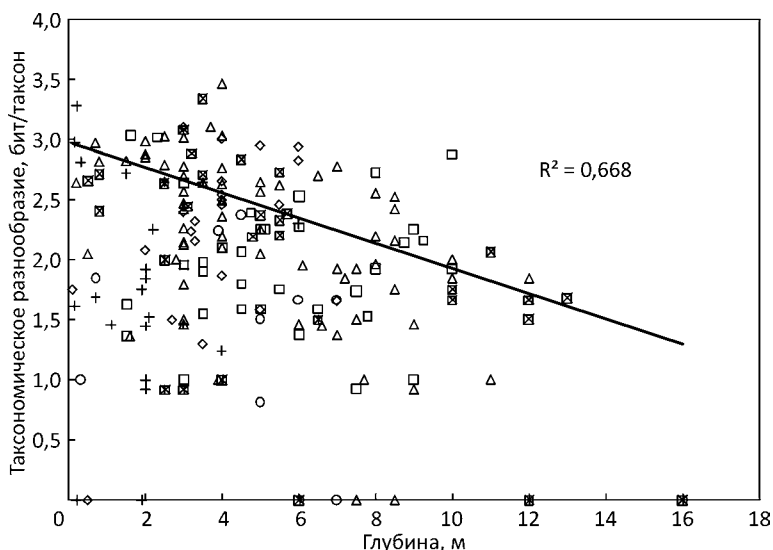


Рис. 4.2. Зависимость между таксономическим разнообразием зообентоса и глубиной в исследованных водных объектах. Линейная аппроксимация представлена для охладителя ЧАЭС. Условные обозначения см. на рис. 4.1

рой, влиянием гидродинамического фактора. Участки, которые непосредственно испытывают влияние высокой температуры подогретой воды (РАЭС, ТрТЭС), характеризуются низким количеством НОТ, хотя связь богатства сообществ с температурой достаточно сложна. Что касается характера грунта, то наибольшим таксономическим богатством характеризовались пески средней степени заиления. Четко выраженная зависимость количества НОТ от глубины была зарегистрирована лишь в охладителе ЧАЭС и ХАЭС.

Разнообразие зависит как от количества элементов системы, так и от выравнинности количественных показателей этих элементов, при оценке разнообразия следует учитывать оба показателя (Песенко, 1982; Протасов, 2008). В водоемах АЭС таксономическое разнообразие, рассчитанное по индексу Шеннона колебалось в значительных пределах — от 0 (зарегистрирована одна таксономическая группа) до 3,5 бит/таксон (водоем ХАЭС, 14 групп). В целом распределение значений индекса Шеннона имело тенденцию к снижению с увеличением глубины, однако лишь в охладителе ЧАЭС зарегистрирована достаточно значительная отрицательная корреляция ($r = -0,82$) между индексом Шеннона и глубиной (рис. 4.2). Это происходит потому, что с увеличением глубины в сообществах бентоса снижается количество групп.

Кроме абиотических факторов имеют значение и биотические, так в ряде водоемов был отмечен рост количества НОТ при увеличении биомассы дрейссены в этом же местообитании (рис. 4.3). Следует также отметить, что с биомассой дрейссены (а биомассу более 1 кг/м^2 практически всегда в бен-

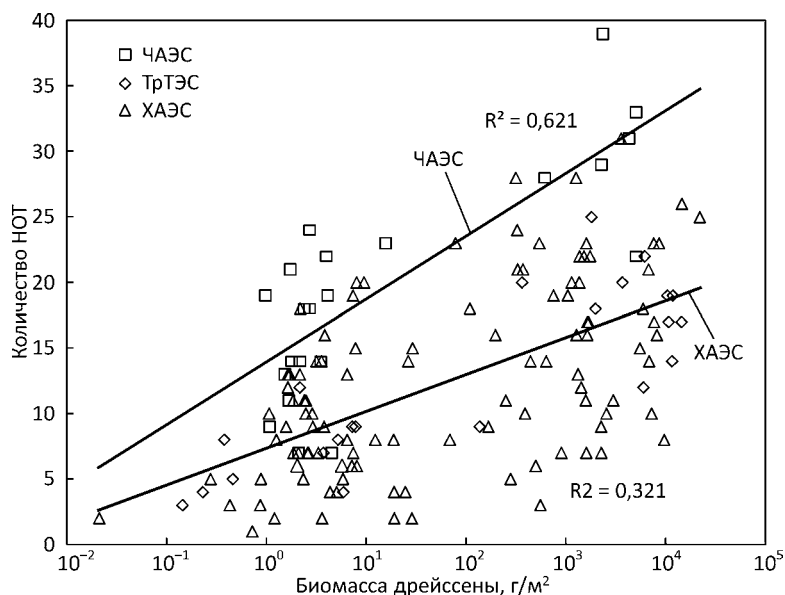


Рис. 4.3. Зависимость количества НОТ зообентоса от биомассы дрейссены в исследованных водоемах

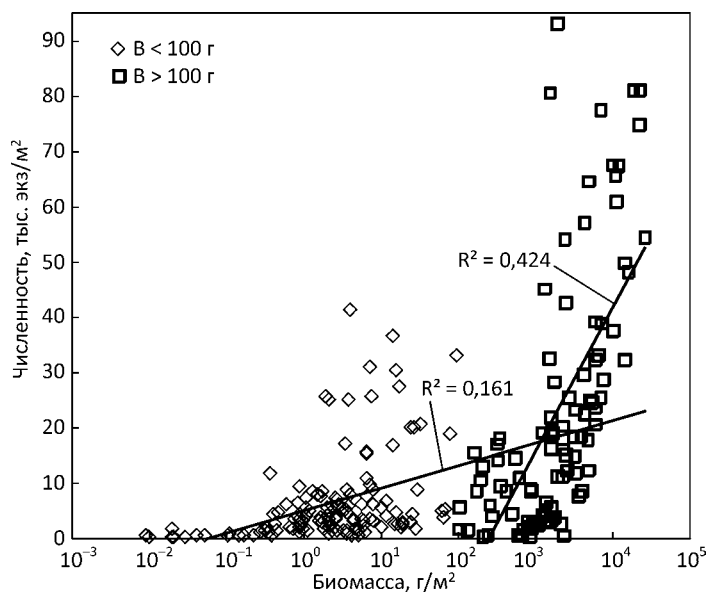


Рис. 4.4. Зависимость между численностью и биомассой зообентоса в исследованных водных объектах

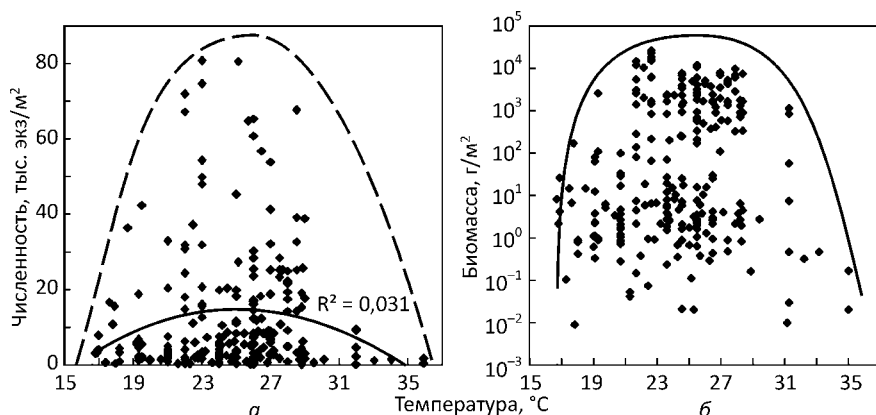
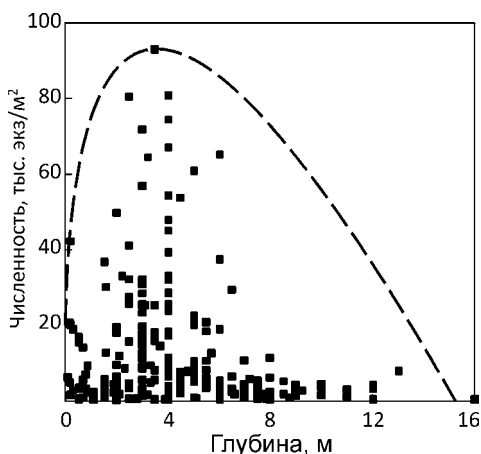


Рис. 4.5. Распределение численности (а) и биомассы (б) зообентоса в градиенте температуры в исследованных водных объектах

Рис. 4.6. Распределение численности зообентоса по глубине в исследованных водных объектах

тосе определял этот моллюск) связаны и показатели численности зообентоса (рис. 4.4).

Распределение численности и биомассы зообентоса в градиенте температуры показало, что наибольшие показатели обилия были характерны для температуры около 25 °С (рис. 4.5). Как показали исследования разных групп гидробионтов, подобная зависимость может быть аппроксимирована кривой, которая внешне ограничивает поле точек, имеющие в зоне предполагаемого оптимума достаточно значительный разброс. Для описания зависимости температура — показатели обилия зообентоса применен этот метод огибающей кривой (Иванова, 1987; Динамика..., 2012).



Анализ распределения показателей обилия зообентоса на разных глубинах показал, что глубины 3—5 м характеризовались наибольшими значениями численности (рис. 4.6) и биомассы (поле значений последней распределялось аналогичным численности образом). Благоприятность условий на глубине 3—5 м для технозависимых водоемов определяется тем, что здесь влияние температуры уменьшается, сохраняется необходимый кислородный режим, снижается влияние волнового перемешивания, накопление детрита

не такое значительное, как на больших глубинах. С другой стороны, наличие дополнительных технических факторов (например гидродинамического) может содействовать значительному развитию зообентоса и на достаточно значительных глубинах, что было отмечено на выходе отводящего канала ХАЭС, где при значительной скорости сбросной воды улучшался кислородный режим, снижалось влияние высокой температуры и илонакопления.

Распределение значений индекса Шеннона по численности имело определенную тенденцию к снижению с увеличением глубины. Выравненность (J) значений численности и биомассы была невысокой и составляла соответственно $0,67 \pm 0,02$ и $0,33 \pm 0,02$. От глубины J_N и J_B практически не зависела (соответственно $r = -0,05$ и $-0,09$). То есть, снижение разнообразия зообентоса с увеличением глубины определялось уменьшением количества НОТ. Зависимость разнообразия зообентоса (по численности) от температуры не была однозначной, отмечен некоторый рост разнообразия в диапазоне $25 - 27^\circ\text{C}$.

Анализ распределения количественных показателей зообентоса на разных грунтах показал, что наибольшими эти показатели были на песках разной степени заиления. Такие типы грунтов были наиболее характерны для глубины около 4—5 м. При этом следует отметить, что само распределение фракционного состава грунтов является функцией гидродинамического воздействия и связано с глубиной (Герд, 1949; Мощенко, 2006).

Для оценки уровня развития зообентоса по грациям показателей обилия была использована методика, предложенная в Институте гидробиологии НАН Украины (Оксиук и др., 1994; Методи..., 2006). При этом, рассчитывали средний балл как среднее арифметическое баллов по каждому количественному показателю (табл. 4.1). Все исследованные водные объекты по уровню развития зообентоса можно разделить на три группы. К первой принадлежат водные объекты, где уровень количественных показателей высок и выше среднего, что определяется доминированием дрейссены. Ко второй группе можно отнести водные объекты со средней степенью развития зообентоса, здесь дрейссена не зарегистрирована, общую биомассу определяли другие двусторчатые моллюски, которые, однако, были локализованы на незначительных, ограниченных участках. К третьей можно отнести водоемы-охладители, где уровень развития зообентоса низкий.

По результатам оценки показателей обилия в водоемах ТЭС и АЭС можно выделить три структурно-количественных типа зообентоса. Первый характеризуется высокими показателями обилия и низким разнообразием по биомассе, что обусловлено наличием выраженного доминанта. Второй тип отличается средними показателями обилия и уровнем разнообразия по биомассе. Третий характеризуется средним уровнем численности, предельно низким уровнем биомассы и средним уровнем разнообразия как по численности, так и по биомассе. Зообентос всех водоемов (кроме ЮУАЭС) в целом характеризовался высоким НОТ-разнообразием по численности (рис. 4.7, см. табл. 4.1).

Выделенные сообщества зообентоса были разнообразны по своим характеристикам, структурно-функциональным показателям. Количество таксонов в выделенных сообществах колебалось от 3 до 65, самым низким было, в ос-

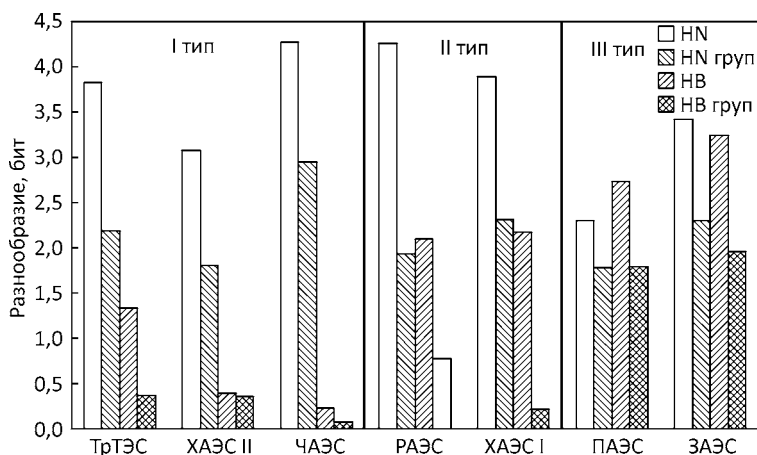


Рис. 4.7. Разнообразие зообентоса исследованных водных объектов, рассчитанное по нескольким параметрам: HN — разнообразие по численности, бит/экз., HN_{групп} — разнообразие по численности таксономических групп, бит/экз., HB — разнообразие по биомассе, бит/г, HB_{групп} — разнообразие по биомассе таксономических групп бит/г

новном, в сообществах **C. plumosus + Tubificidae**, а наибольшим — в сообществе **D. bugensis + Corophiidae** (ВО ЧАЭС) и **U. tumidus + Tubificidae** (р. Стырь). Во всех сообществах наибольшим количеством НОТ характеризовались олигохеты и личинки хирономид. Сообщество **Tubificidae + P. volki** и с доминированием перловиц отличались большим количеством НОТ личинок насекомых, чем другие. Таксономическое разнообразие в сообществах было на среднем уровне 1,842—3,321 бит/таксон (в среднем 2,754), что определяется как значительной выравненностью количества НОТ и богатством таксономических групп.

Кластерный анализ показал достаточно сложное распределение сходства таксономического состава и показал низкое сходство сообществ зообентоса р. Стырь и участка Каневского водохранилища в районе ТрТЭС относительно других. Сравнение таксономического состава сообществ по индексу Серенсена показало сходство дрейссеновых сообществ ВО ХАЭС (>0,6) и двух из р. Стырь **Tubificidae + P. volki** и **U. tumidus + Tubificidae**. Последние группировки характеризовались наибольшей и достаточно значительной оригинальностью (по индексу Смирнова) относительно других (соответственно $t_{xx} = 189$ и 207). Таким образом, таксономический состав сообществ определялся типом и условиями водоема, и отличался даже в одноименных группировках.

В целом в исследованных дрейссеновых сообществах в донных биотопах в охладителях АЭС зарегистрировано 118 НОТ. Для сравнения — в оз. Лукомском (которое также является охладителем) количество беспозвоночных, входящих в сообщество дрейссены составляло 100 видов (Экосистема..., 2008), в Цимлянском водохранилище — 80 (Дрейссена..., 1994), в Рыбинском водохранилище (Волжский плес) — 103 (Пряничникова, 2012).

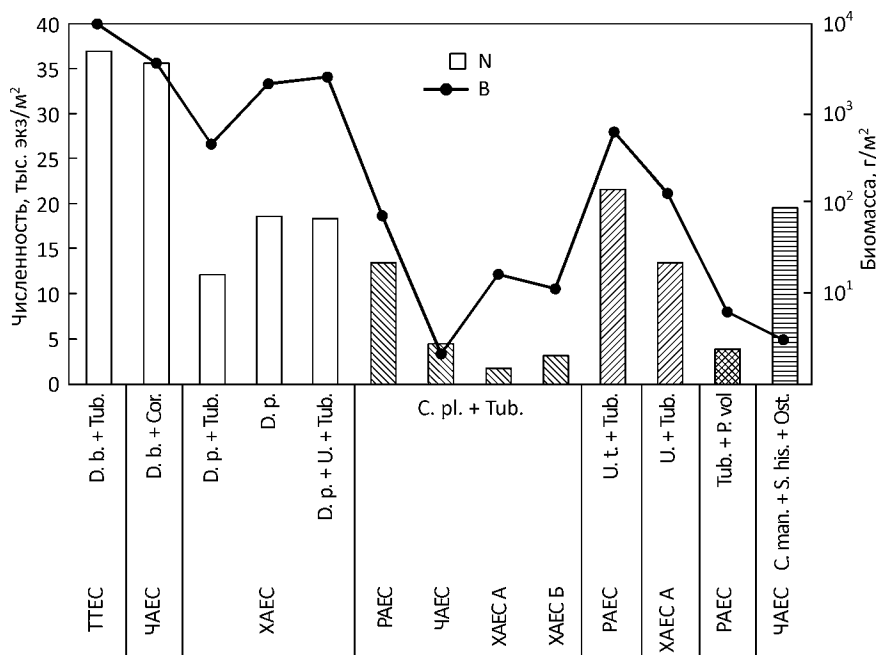


Рис. 4.8. Численность и биомасса в сообществах зообентоса в некоторых водоемах-охладителях. Здесь и на рис. 4.9: **D. b. + Tub.** — *D. bugensis* + Tubificidae; **D. b. + Cor.** — *D. bugensis* + Corophiidae; **D. p. + Tub.** — *D. polymorpha* + Tubificidae; **D. p.** — *D. polymorpha*; **D. p. + U. + Tub.** — *D. polymorpha* + *Unio* + Tubificidae; **C. pl. + Tub.** — *C. plumosus* + Tubificidae; **U. + Tub.** — *U. tumidus* + Tubificidae; **Tub. + P. vol.** — Tubificidae + *P. volki*; **C. man. + S. his. + Ost.** — *C. mancus* + *S. histrio* + Ostracoda. Здесь и на рис. 4.9: одинаковой штриховкой выделены сходные по доминантам сообщества

Дрейсеновые сообщества характеризовались наибольшими количественными показателями (рис. 4.8). Распределение показателей обилия в сообществах было достаточно равномерным — коэффициент вариации был невысоким. Дрейсеновые сообщества в ВО ЧАЭС, ХАЭС и в районе ТрТЭС занимали сходные биотопы (грунты, глубины), средняя температура, при которой отмечены эти сообщества, составляла 26,8 °C.

В сообществах дрейсены полиморфной в условиях отсутствия ракообразных в водоеме (ВО ХАЭС) к ядру группировки, кроме дрейсены, входили тубифициды, нематоды, остракоды и *P. ferrugineus*. В сообществах дрейсены бугской такого постоянного ядра, как и в предыдущих исследованиях (Протасов, Афанасьев, 1984) не выявлено. Коэффициент вариации численности и биомассы во всех группировках был достаточно невысоким.

Дрейсена способствует расширению зон обитания беспозвоночных. Так, в ВО ХАЭС некоторые виды после вселения дрейсены начали встречаться в составе ее поселений на большей акватории, например, *Asellus aquaticus*, обитавший только в устье р. Гнилой Пор. В оз. Лукомском ракообразные глуб-

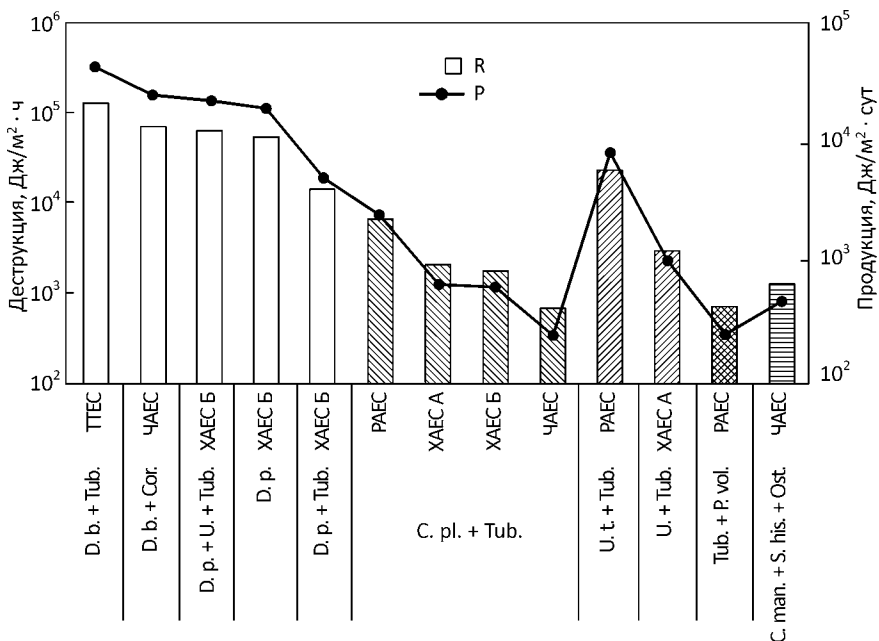


Рис. 4.9. Продукционно-деструкционные характеристики сообществ исследованных водных объектов

же 2 м встречаются лишь вместе с дрейссеной (Экосистема..., 2008). Наиболее часто среди друз дрейссены в водоемах Польши встречались *L. nervosus*, *H. stagnalis*, *A. aquaticus*, *M. chloris* (Protasov et al., 1994a), многочисленными являлись и личинки р. *Procladius* и тубифициды, аналогичные результаты получены и нами.

Сообщества **C. plumosus + Tubificidae** также были одними из характерных для водоемов-охладителей. Они локализованы на илистых грунтах и в основном — на значительных глубинах. Наибольшая температура, при которой было зафиксировано сообщество составляла 27,0 °C (средняя 22,0 °C). Сообщество характеризовалась невысоким таксономическим богатством, самое низкое количество НОТ отмечено в ВО ХАЭС. Невысоким было и количество групп, большинство из них характеризовалось 100 % встречаемостью. Особенностью сообщества в ВО ЧАЭС было наличие в доминирующем комплексе разноногих раков и личинок поденок, в ВО ХАЭС — личинок ручейников, в водных объектах РАЭС — брюхоногих моллюсков.

Количественные показатели в сообществах **C. plumosus + Tubificidae** были достаточно близкими, за исключением хирономусового сообщества в водных объектах РАЭС. Наличие брюхоногих моллюсков здесь определило более высокие показатели обилия, *V. viviparus* входил в доминирующий комплекс (по биомассе). В водоемах-охладителях количественные показатели

были ниже. Во всех водных объектах в сообществе **C. plumosus + Tubificidae** по количественным показателям доминировали собиратели. Сообщества характеризовались невысокими показателями обилия и продукционно-деструкционными характеристиками, которые были на 1—2 порядка ниже, чем в сообществах дрейссены (рис. 4.9).

По структуре доминирования по биомассе сообщества **C. plumosus + Tubificidae** были сходны с дрейссеновыми — доля доминирующего вида могла быть более, чем 90 %. В ранжированном распределении беспозвоночных, имеющих относительную численность более 1 %, в дрейссеновых сообществах, единое ядро не выделено, то есть одинаковые виды занимали разные ранги. Кроме того, в тех или иных сообществах количество рангов было разным.

Что касается ранжированного распределения показателей биомассы отдельных групп беспозвоночных в дрейссеновых сообществах, то второй-третий ранг имел биомассу порядка граммов — десятков граммов, при этом в основном эти ранги занимали олигохеты и хирономиды (рис. 4.10). Исключение составляло сообщество **D. polymorpha + Unio + Tubificidae** в ВО ХАЭС, где значительная доля в биомассе принадлежала двустворчатым моллюскам перловицам, на поверхности раковин которых обитала дрейссена. В сообществах дрейссены бугской, при аналогичном распределении биомассы, второй-третий ранги занимали разноногие раки, как отмечено для ВО ЧАЭС (см. рис. 4.10, 2). В сообществах **C. plumosus + Tubificidae** при более равномерном распределении биомассы по группам, субдоминантами практически всегда были олигохеты, а третьи и далее ранги различались.

В отличие от группировок перифитона, исследованные сообщества не имели четкого распределения в градиенте температуры. Сам градиент температуры в бентосе был слабо выражен. Однако исследованиями донных группировок в ВО Балаковской АЭС (Россия) было показано, что в градиенте температуры сообщество **D. polymorpha + Chaetogammarus warpachowskyi** заменяется на сообщество **L. hoffmeisteri + Pontogammarus robustoides**. При этом изменение доминантов проходило с уменьшением общего количественного развития и видового богатства (Воронин, Ермохин, 2005).

Исследованные техно-экосистемы имели в своем составе технические элементы различной конструкции. Наиболее благоприятными для развития перифитона (техно-экосистемы с высоким перифитопотенциалом) были: водоем-охладитель КрТЭС, а также водоемы и связанные с ними каналы ЧАЭС и ХАЭС. Биотопами для развития перифитона были различные гидросооружения с твердыми покрытиями (камень, бетон) с лентическими и лотическими условиями.

Подводные исследования показали определенное сходство в распределении макроформ перифитона. Во всех водных объектах, где существовала популяция дрейссенид, в зонах с минимальными температурами поселения именно этих моллюсков определяли общий габитус перифитонных группировок. Следует отметить, что в некоторых водоемах-охладителях в течение длительного времени дрейссениды отсутствовали, с другой стороны, в этих водоемах отмечено большое количество различных видов-вселенцев. Это

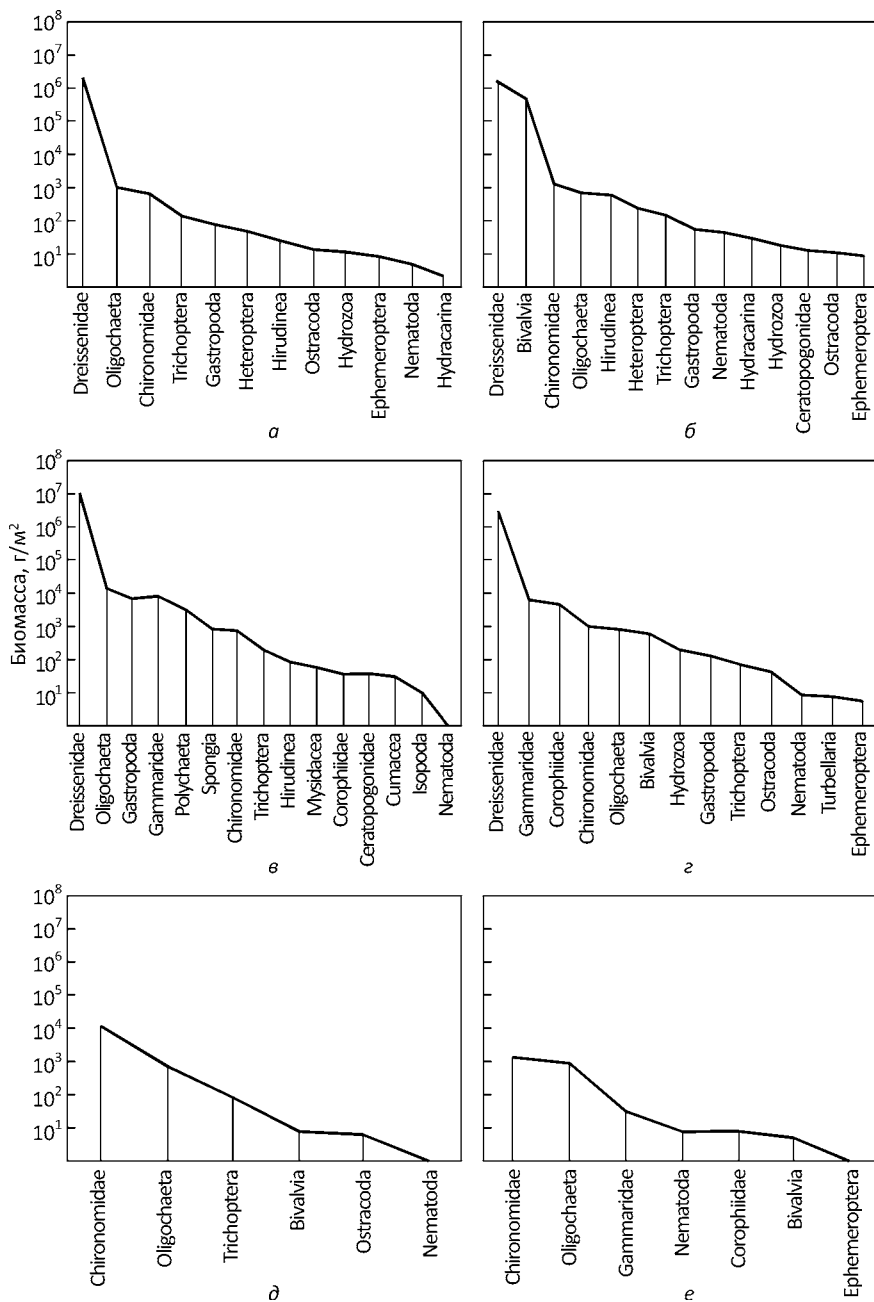


Рис. 4.10. Ранжированное распределение биомассы в сообществах зообентоса исследованных водных объектов: дрейссеновые сообщества: **D. polymorpha** ВО ХАЭС (а); **D. polymorpha + Unio + Tubificidae** ВО ХАЭС (б); **D. bugensis + Tubificidae** ТрТЭС (в); **D. bugensis + Corophiidae** ВО ЧАЭС (з); сообщества **C. plumosus + Tubificidae** ВО ХАЭС (второй период) (д) и ВО ЧАЭС (е)

может рассматриваться как одно из проявлений нестабильного малопредсказуемого режима в техно-экосистемах в целом.

Биотопы перифитона, техногенная перифиталь или антропоаль, разнообразны (Протасов, 1994; Скальская, 2002). Одним из распространенных биотопов в водоемах-охладителях и других технических водоемах является каменная наброска, которую используют для укрепления дамб, плотин, откосов берега. Как правило, это многослойное беспорядочное скопление гранитных камней, между которыми образуются полости. Исследования условий обитания организмов перифитона на поверхности и внутри конгломерата камней, в полостях показали ¹, что существует определенный градиент условий по направлению от поверхности вглубь наброски. Температура могла снижаться на 3,0—3,5 °С, значение pH — на 0,2, содержание кислорода — на 2,5 мг/дм³.

Каменная наброска представляет собой пространственно сложный биотоп не только в трех измерениях, но и в плане, когда мы рассматриваем сложный рельеф поверхности откоса дамбы, укрепления берега и т. п. Для исследования этой сложной структуры может быть применена методология изучения рисунка ландшафта поверхности Земли (Викторов, 1986).

Исследование рисунка микроландшафта перифитона на нескольких трансектах (ВО КрТЭС) показали, что графика контуров может быть типизирована (Протасов, 1994; Протасов, Синицина, 1996). Были выделены островные, полосчатые, кольцевые, окаймляющие, полуокаймляющие контуры. Микрокартирование под водой проводили с помощью рамки 50 × 50 см, разделенной внутри на квадраты 10 × 10 см. Всего на трансекте под водой проводили до 20—30 зарисовок контуров при последовательном перемещении рамок от уреза воды до глубины 3,0—3,5 м.

На глубине 0,5 м количество контуров было небольшим (рис. 4.11, а). Как видно из графа контурных соседств на площади 1/4 м² было выделено всего 7 контуров, сложность всей микроландшафтной структуры была небольшой. Это было связано с особенностями состава и структуры сообществ.

На глубине 1 м картина несколько изменилась, покрытие нитчатками субстрата было ниже, а количество контуров возросло. Граф контурных соседств выглядит гораздо более сложным. Кроме того, что увеличилось количество контуров на той же площади, усложнилась система соседств. Еще более сложной становится картина на глубине 2 м. Граф контурных соседств приобретает вид сети. Фоновыми контурами становятся здесь контуры рыхлого грунта, количество дрейсеновых увеличивается. Несколько глубже контуры рыхлых грунтов и «пустые», не занятые макроформами, на камнях, доминируют и на глубине 3 м граф контурных соседств опять упрощается, приобретает вид радиальной структуры. Здесь сообщество становится, по сути монодоминантным, дрейсеновым — на большинстве камней покрытие ее поселениями составляет почти 100 %.

¹ Исследования перифитона в различных микробиотопах каменной наброски на ЧАЭС выполнены С.А. Афанасьевым, на ВО КрТЭС — А.А. Протасовым и О.О. Синициной.

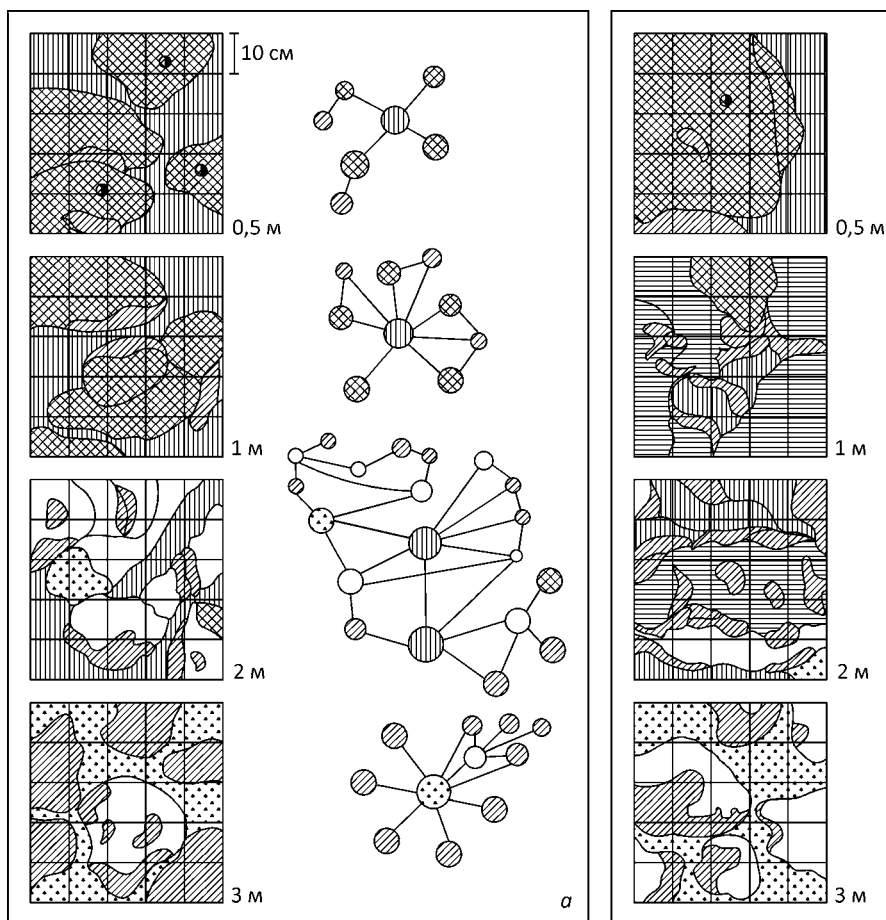
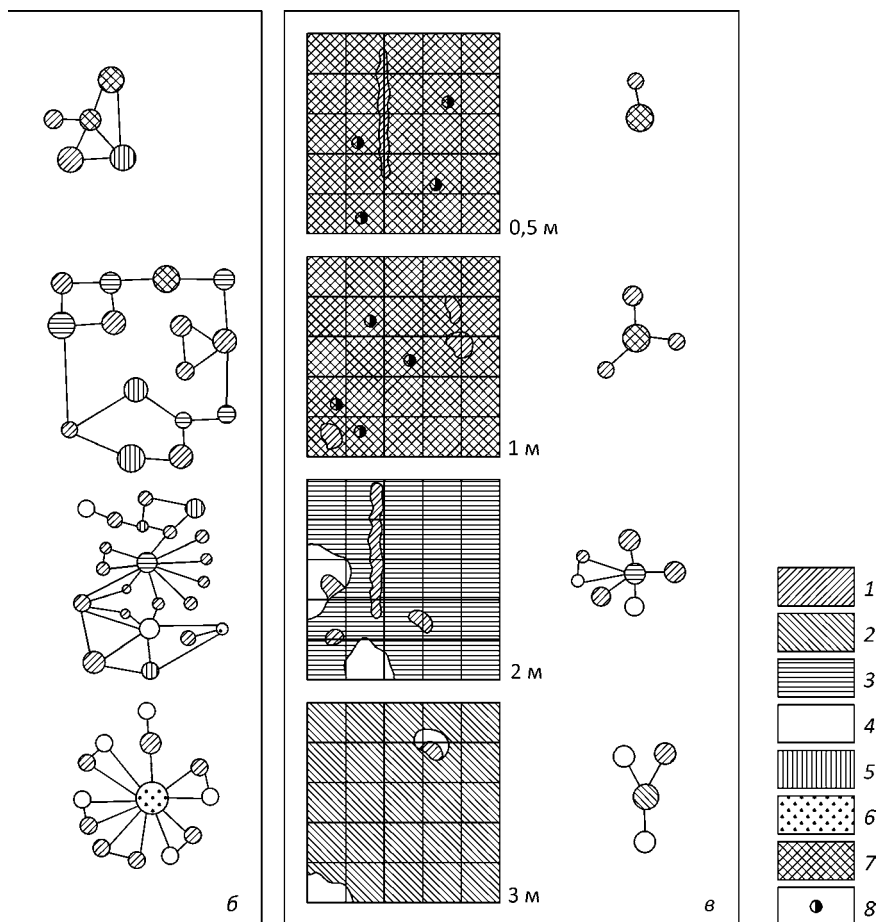


Рис. 4.11. Микрорландшафтная графика и графы контурных соседств на транsekтах каменной коралиид; 3 — лингбии; 4 — пустой, без макроформ; 5 — «межкамневой»; 6 — рыхлые

На другой трансекте, расположенной ближе к водозаборному отсеку, общая картина несколько отличалась. На малой глубине (рис. 4.11, б) количество контуров было небольшим, преобладал контур кладофоры. Начиная с глубины 0,75 м и практически до 2 м структура резко усложняется, количество контуров на площадке резко возрастает до 15—20 и более, и усложняется граф контурных соседств. Следует отметить, что эти изменения практически не зависели от изменения гетерогенности биотопа — от уреза воды до глубины около 2,5 м структура каменной наброски остается одинаковой и только глубже между камнями появляются рыхлый грунт и он становится фоновым контуром. На глубине 3 м, также как и на предыдущей трансек-



наброски (а, б) и плотины (в) ВО КрТЭС. Условные обозначения: 1 — дрейссены; 2 — грунты; 7 — кладофоры; 8 — гастроподы, отдельные особи

те, структура контурных сообществ опять упрощается, граф приобретает радиальную структуру, что индицирует четкое выделение фонового контура. Структура графики перифитона на плотине очень упрощенная (рис. 4.11, в).

Анализ распределения относительных площадей тех или иных контуров на транsekтах и количества контуров на единице площади показал (Протасов, Синицина, 1996), что графика перифитона более сложна на каменной отсыпке. Причем, количество контуров на наброске было в средней части транsekты, а на бетоне — в глубинной части.

Для оценки сложности контурных соседств применили коэффициент $K_{cc'}$, который рассчитывается как отношение количества контуров к количеству

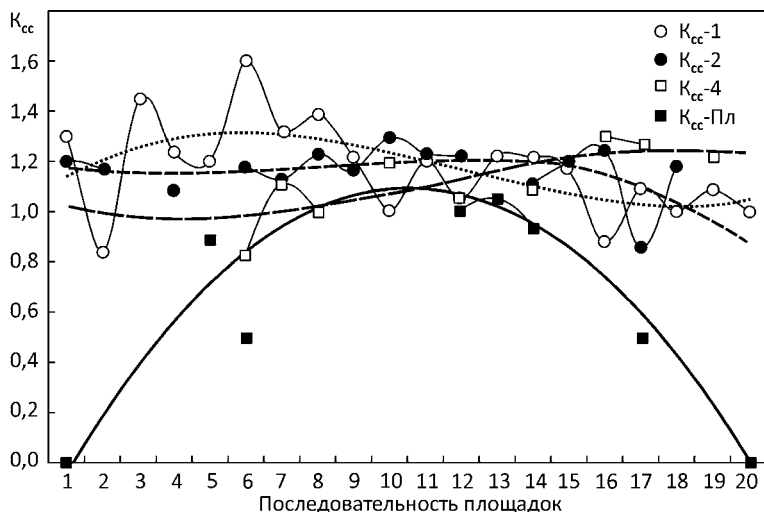


Рис. 4.12. Показатель сложности контурных соседств K_{cc} на четырех трансектах — № 1, 2, 4 на каменной наброске и плотине (Пл) (ВО КрТЭС)

связей между ними в графах (см. рис. 4.11). Максимальным ($K_{cc} = 2$) значение этого отношения может быть при двух контурах и одной связи между ними, поэтому целесообразно представить показатель сложности как разность максимального и реального показателей (рис. 4.12).

Структура контурных соседств перифитона на плотине и на каменной наброске существенно различалась. На плотине на малой глубине фоновым контуром был контур кладофоры, островным полосчатым только один контур дрейссены, таким образом, сложность соседств была минимальной. На глубине 2,5 м вообще был один контур корофиид, разнообразие контурной графики было равно нулю. И только на глубине около полутора-двух метров за счет островных, не связанных друг с другом контуров дрейссены, сложность контурных соседств возрастала. Совершенно иной была картина на каменной отсыпке.

Таким образом, можно сделать заключение, что каменная отсыпка создавала за счет сложной поверхности биотопа условия для развития пространственно сложной структуры перифитона.

Однако этот биотоп населен не только на внешней поверхности, но также и в глубину. Что касается изменения состава сообществ перифитона вглубь наброски, то были выявлены некоторые виды, которые населяют всю ее толщу (*Dreissena polymorpha*, *Hydra* sp., *Lymnea auricularia*, *Ecnomus tenellus*), и те, которые предпочитали глубокие слои наброски (*Physa fontinalis*, личинки стрекоз), некоторые (*Cricotopus silvestris*, *Limnochironomus nervosus*) обитают только на поверхности наброски. Было установлено, что в зоне подогрева обилие беспозвоночных вглубь наброски возрастает.

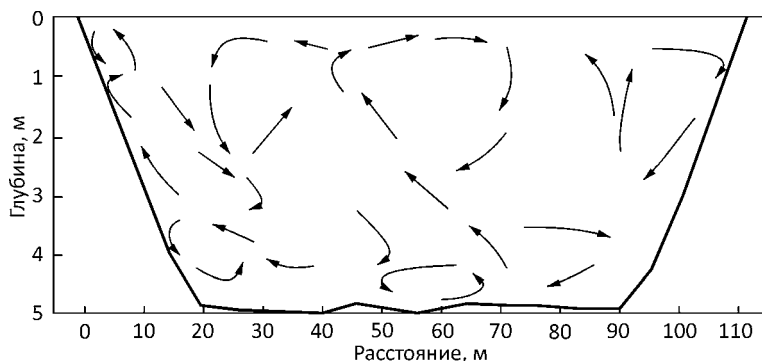


Рис. 4.13. Схема турбулентных потоков в подводящем канале ЧАЭС

Таким образом, можно сделать заключение, что каменная наброска может рассматриваться как весьма важный техногенный биотоп, который может выполнять биопозитивную функцию, поскольку формирующееся здесь сообщество перифитона является мощным фактором процессов самоочищения в водоемах. При проектировании создания или реконструкции водоемов-охладителей необходимо учитывать эти возможные биопозитивные свойства в функционировании всей техно-экосистемы. Создание гидросоружения должно сочетаться с созданием биологически активных искусственных рифов.

Следует обратить также внимание на экологическую роль в техно-экосистемах ТЭС и АЭС подводящих и отводящих каналов. Именно в этих местобитаниях отмечены наибольшие показатели развития перифитона, как водорослей, так и беспозвоночных. Именно в лотических условиях подводящих каналов были отмечены показатели биомассы до 30 кг/м^2 . Поступательное движение воды и турбулентное перемешивание (рис. 4.13)¹ создают благоприятные условия как в плане приноса пищи из водоема, выноса метаболитов, так и благоприятного кислородного режима. Большое значение гидродинамические условия имеют также для поступления в канал личинок дрейссены из водоема. Системы охлаждения ТЭС и АЭС, которые вместе циркуляционной водой проходят и организмы, в частности, личинки дрейссены, не оказывают существенного влияния на их обилие и жизнестойкость. Такой вывод можно сделать, исходя из того, что в зимние месяцы и весной, вплоть до повышения температуры сбросной воды до $32\text{—}33^\circ\text{C}$ в отводящих каналах и вблизи сброса формируются достаточно обильные поселения дрейссены. Личинки могут попасть сюда только со сбросными водами.

В данной работе отмечено выделение в различных техно-экосистемах до 40 сообществ животных перифитона. Они были разнообразны по свое-

¹ Исследования гидродинамических характеристик в подводящем канале ЧАЭС в 1985 г. проводили А.В. Сидерский, А.В. Шатохина, Н.А. Чижмакова.

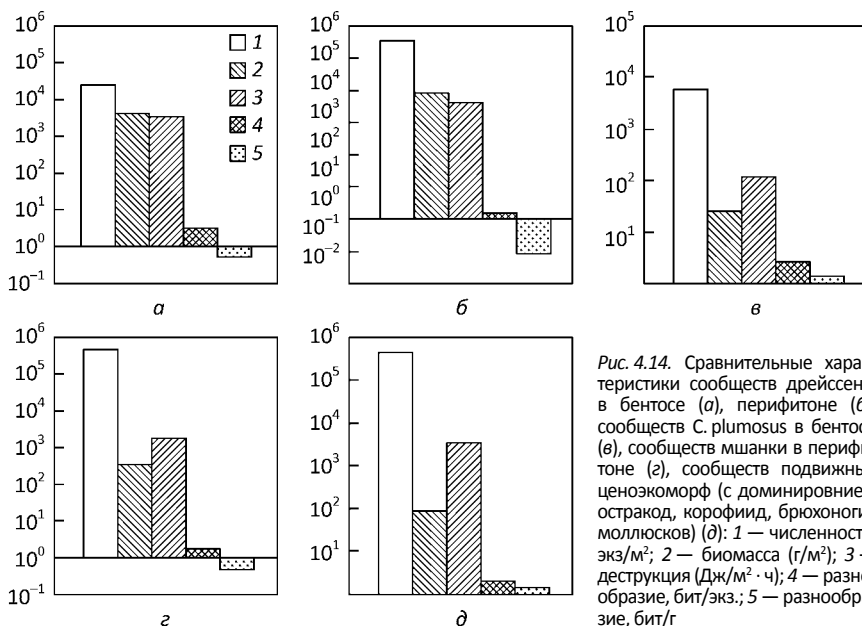


Рис. 4.14. Сравнительные характеристики сообществ дрейссены в бентосе (а), перифитоне (б), сообществ *C. plumosus* в бентосе (в), сообществ мшанки в перифитоне (г), сообществ подвижных ценозономорф (с доминированием остракод, корофид, брюхоногих моллюсков) (д): 1 — численность, экз/м²; 2 — биомасса (г/м²); 3 — деструкция (Дж/м² · ч); 4 — разнообразие, бит/экз.; 5 — разнообразие, бит/г

му составу, структуре, функциональным характеристикам. Однако среди них можно выделить некоторые, имеющие наибольшее распространение в водоемах, высокие показатели обилия и функционирования. В первую очередь, к таким следует отнести сообщества дрейссены. В некоторых водоемах, как, например в водоеме ЧАЭС по данным 2002 г. практически весь перифитон на антропогенных субстратах был представлен сообществом с доминированием дрейссенид. Распространены эти сообщества также и в бентосе. Как показали исследования в ряде техно-экосистем, существенное значение могут иметь сообщества с доминированием мшанки (системы, ЧАЭС, КрТЭС, Конинской ТЭС). Показатели биомассы и деструкции сообщества с доминированием *Plumatella emarginata* в отводящем канале ЧАЭС были сопоставимы с показателями таковых в сообществах дрейссены, а в масштабах деструкции перифитона всей системы доля сообществ мшанки преобладала. Основные характеристики структуры и функционирования сообществ это — их общая численность, биомасса, деструкция, а также показатели разнообразия, рассчитанные по численности и биомассе (рис. 4.14).

Сравнение сообществ дрейссены бентоса и перифитона показывает, что в первых средние показатели численности и биомассы были гораздо ниже, чем во вторых: 27,1 тыс. против 279,5 тыс. экз/м² и 4304,1 против 7485,7 г/м², соответственно. При этом, максимальные значения биомассы в первых были 9,6 кг/м², а во вторых 16,7 кг/м². Более, чем в два раза были выше в сообществах перифитона, чем в сообществах бентоса показатели деструкции — 7,1 против 3,3 кДж/м² · ч, соответственно. Значения индекса Шеннона, расчи-

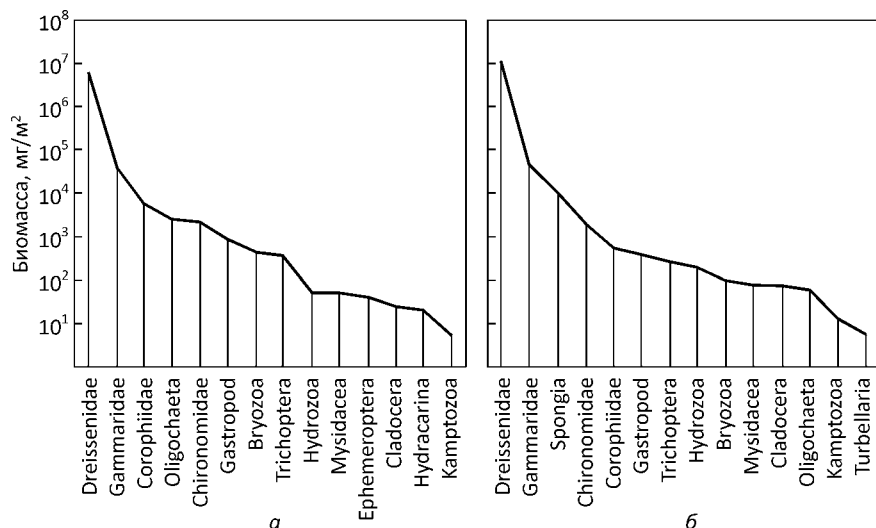


Рис. 4.15. Ранжированное распределение показателей биомассы групп в дрейссеновых сообществах перифитона: **D. bugensis + N. bretscheri + Gammaridae** (а) и **D. bugensis** (б) в водоеме ЧАЭС в 2002 г.

танного по биомассе были низкими как для бентосных, так и для перифитонных сообществ: 0,554 и 0,184 бит/г, соответственно. Причем, в некоторых сообществах перифитона показатель разнообразия составлял 0,001 бит/г, что было обусловлено крайне высокими значениями доминирования дрейссены по биомассе. Для распределения относительных показателей численности в бентосных сообществах была характерна гораздо большая выравненность, чем в перифитонных, средние значения разнообразия были 3,232 бит/экз. для бентосных и 0,199 — для перифитонных. Причем, в некоторых бентосных сообществах показатель разнообразия по численности достигал 4,129 бит/экз., в то время как в перифитонных не был выше 3,3 бит/экз. Хотя разнообразие было рассчитано с учетом количества НОТ («видовое» или НОТ-разнообразие) важную информацию о выравненности, а, таким образом, и разнообразии, сообществ несет ранжированное распределение биомассы групп гидробионтов (рис. 4.15, а также см. рис. 2.14, 2.24, 3.47).

Следует отметить интересную особенность, которая, очевидно, отражает «сукцессионный возраст» сообществ. В водоемах, где перифитонная часть популяции дрейссены (дрейссенид) существует десятки лет, ценопопуляции второго-третьего рангов имеют биомассу порядка многих десятков и до сотен г/м² (ВО КртЭС, ЧАЭС, ЛТЭС), что и определяет большую сложенность ранговой кривой, чем в том случае, когда популяция дрейссены относительно молода и сообщества существуют непродолжительное время (ВО ХАЭС).

Можно считать общим правилом (Динамика..., 2012) или уже даже экологическим законом, обратную зависимость между показателями обилия и

4. Сравнительный анализ контурных группировок техно-экосистем ТЭС и АЭС

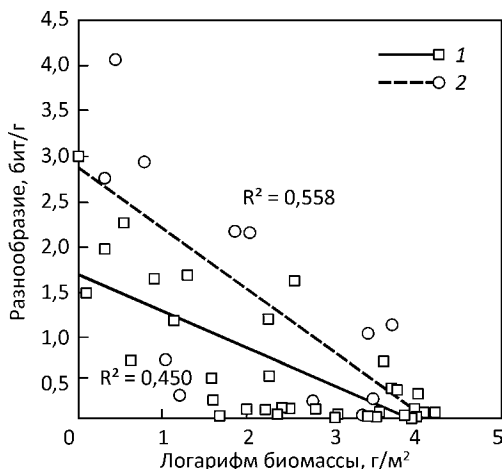


Рис. 4.16. Зависимость разнообразия (по биомассе) от биомассы сообществ перифитона (1) и бентоса (2)

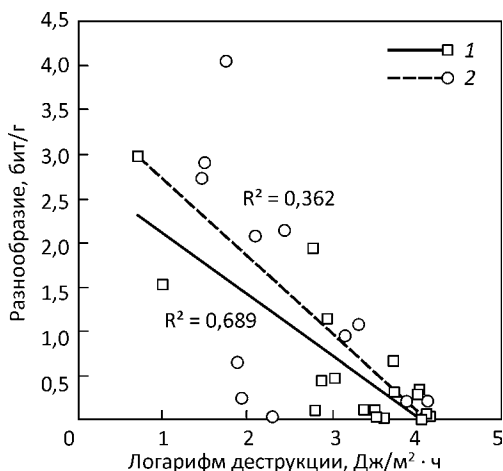
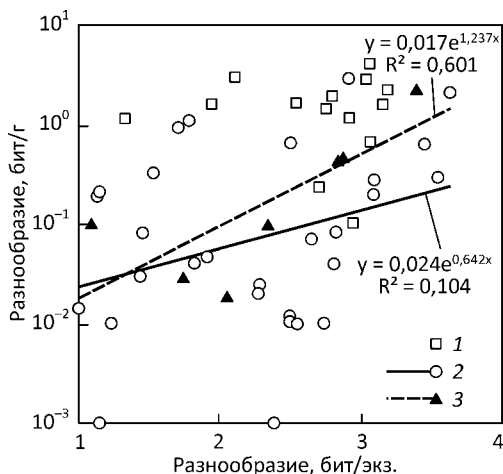


Рис. 4.17. Зависимость разнообразия (по биомассе) от показателя деструкции сообществ перифитона (1) и бентоса (2)

разнообразием сообществ. Это правило вполне подтверждается и нашими данными (рис. 4.16). Такова же зависимость разнообразия и от деструкции, (рис. 4.17). Это означает, что биомасса увеличивается, в основном за счет очень малого количества ценопопуляций и то, что сообщества, в которых наиболее высокий уровень трат на обмен и, соответственно, продукция, всегда имеют наименьшее разнообразие. Хотя уровень показателя разнообразия, строго говоря, зависит от сочетания как богатства элементов, так и их представленности, чаще всего именно выравнивание определяет количественный уровень показателей разнообразия.

Заслуживает также внимания зависимость между разнообразием сообществ, рассчитанным по численности и разнообразием по биомас-

Рис. 4.18. Зависимость между разнообразием по численности и по биомассе сообществ перифитона: 1 — без выраженного доминанта; 2 — дрейссены; 3 — мшанки



се (рис. 4.18). Оказалось, что для сообществ с выраженным доминантом (мшанки и дрейссена) разнообразие по численности возрастает вместе с разнообразием по биомассе, причем, второе возрастает гораздо быстрее, что отражается экспоненциальной зависимостью. Следует отметить, что в сообществах мшанки сама она не учитывается в общей численности, в отличие от дрейссены, это значит, что с ростом биомассы мшанки происходит увеличение ее доминирования по биомассе, что влечет, очевидно возрастание доминирования небольшого числа ценопопуляций сопутствующих видов по численности либо снижение богатства. В сообществах дрейссены часто доминирование по численности и по биомассе принадлежит именно ей. В сообществах без выраженного доминанта такая зависимость не отмечена.

В одной из наших работ (Протасов, 2012) мы отмечали, что для зооперифитона взаимосвязь между двумя показателями разнообразия хотя и положительная, но выражена слабо. Как видим, при дифференциации сообществ эта взаимосвязь становится более определенной. Следует также отметить, что представленные данные по взаимосвязи показателей разнообразия и биомассы сообществ также подтверждают ранее полученные зависимости.

Такие организмы, как дрейссена, которые являются мощными фильтраторами, создают своими поселениями новые биотопы, как на твердых субстратах, так и в бентали, изменяют трофические условия для многих организмов бентоса и перифитона, относят к видам-экосистемным инженерам (Jones, 1994; Karatayev et al., 2002). Имеющиеся данные показывают, что после вселения дрейссены в водоеме ХАЭС существенно изменился такой важный показатель экосистемы как оптическая глубина водоема (Динамика., 2012), который представляет собой отношение прозрачности, определенной по диску Секки к средней глубине водоема (рис. 4.19). Как показали исследования в планктонной подсистеме (Техно-экосистема..., 2011), к 2008 г. в водоеме ХАЭС существенно снизились как количественные показатели фито-

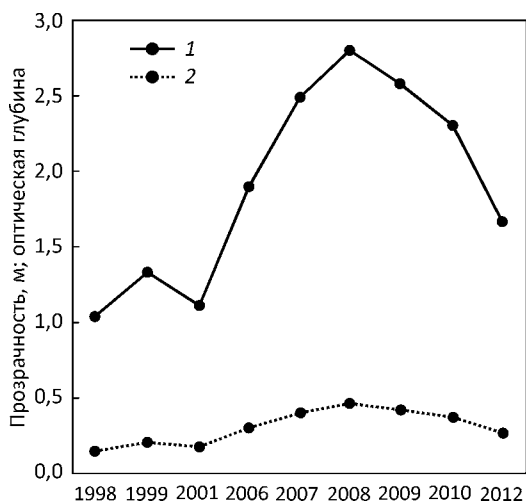


Рис. 4.19. Изменение прозрачности (1) и оптической глубины водоема-охладителя ХАЭС (2) в период до вселения дрейссены (1998—2001 гг.) и после (2006—2012 гг.)

планктона, так и значительно обеднился его состав. Однако, было бы, видимо, большим упрощением полагать, что дрейссена просто механически путем фильтрации извлекает из воды взвешенные частицы, хотя фильтрационная активность ее весьма значительна, что показано было в разделах 2 и 3. Как видно из рис. 3.42, наибольшая биомасса дрейссены в бентосе приходилась на 2006 г., а наибольшая оптическая глубина водоема наблюдалась в 2008 г. Очевидно, как полагал А.П. Остапеня (2007), появление популяции дрейссены запускает сложный механизм «бентификации» (с нашей точки зрения, лучше называть его контуризацией), который приводит к перестройке всей экосистемы. Этот автор связывал «пусковой механизм» бентификации с воздействием фильтраторов: «прозрачность воды может рассматриваться как ключевой фактор, контролирующий переключение потоков вещества и энергии между водной толщей и дном» (с. 32). Мы отмечали, что при появлении в подводящем канале ХАЭС дрейссены, глубина распространения мощных матов зеленых водорослей возросла почти вдвое. В западном районе водоема водорослевые маты вместе с поселениями дрейссены наблюдались на глубине 3—4 м. Очевидно, что для возрастания продукции и запаса перифитонных и бентосных водорослей (контурных автотрофов) необходима не только соответствующая подводная освещенность, но и биогены. Видимо, в механизмах контуризации именно перераспределение биогенных элементов является наиболее важным. Следует отметить, что в контурных сообществах при этом может наблюдаться определенная цикличность, основанная на биотических взаимосвязях. Выше было отмечено, что более глубокое распространение водорослевых матов было связано с эффектом фильтрационной активности моллюсков. В то же время, моллюски, закрытые плотными поселениями водорослей отмирали в перифитоне, в бентических условиях также, вероятно, при совместном обитании дрейс-

сены и водорослей в больших скоплениях, дрейссена может погибать из-за недостатка кислорода в темное время суток или даже механического воздействия. Остается все же неясным, почему контурные автотрофы более эффективно используют биогены именно в присутствии фильтраторов.

Явление контуризации имеет свои особенности в техно-экосистемах. Так, в системах водоснабжения АЭС и ТЭС существует серьезная проблема, связанная с повышением pH воды, поступающей в системы охлаждения, поскольку при высоких значениях pH резко возрастают накипеобразующие свойства воды. Накипеобразование на теплообменных поверхностях приводит к существенным потерям мощности. Активная же реакция среды напрямую зависит от уровня продукционно-деструкционных процессов в техно-экосистеме (Гидробиология..., 1991): при интенсивном фотосинтезе pH воды повышается. Причем, следует учитывать вклад и планктонных, и контурных автотрофов в общий фотосинтез. В водоеме ХАЭС средние значения pH существенно не изменялись в оба периода (они могли подниматься до 8,5—9,0). Таким образом, при снижении обилия фитопланктона общий уровень первичной продукции стали определять водоросли-контуробионты. Это еще одно проявление контуризации. Большое значение имеет механическое воздействие нитчатых водорослей в технических системах. В частности, на Хмельницкой АЭС неоднократно фиксировали серьезные биологические помехи на насосных станциях, связанные именно со сном большого количества водорослей. Контуризация может проявляться не только в бурном развитии водорослей, но и высших водных растений. Не исключено, что значительное развитие таких растений как наяда морская и валлиснерия в Конинских озерах было следствием активности моллюсков-вселенцев *Sinanodonta woodiana*.

Оценки запаса контуробионтов, их продукции и деструкции в масштабах отдельных водных объектов, сделанные в разделах 2 и 3 данной работы, показали, что эти величины весьма значительны. Однако в некоторых техно-экосистемах выяснение удельного веса контурных группировок приобретает особое значение. Речь, в частности, может идти о водоеме-охладителе ЧАЭС. После вывода из эксплуатации энергоблоков ЧАЭС, возникла проблема дальнейшей эксплуатации водоема. При одном из вариантов предполагается отключение насосной станции, которая поддерживает уровень воды в водоеме на 7 м выше уровня р. Припять — его водоисточника (Зарубін, 2002). Для прогнозов последствий такого варианта возникла необходимость оценки запаса гидробионтов¹. В данном случае, эти оценки интересны нам с точки зрения сопоставления количественных показателей контурных группировок с другими в масштабах всей техно-экосистемы.

Для расчетов были использованы следующие характеристики и сделаны допущения (см. рис. 3.1):

Объем ВО, млн. м ³	149
Площадь км ²	21,7

¹ Согласно проекту каналы осушаться не должны.

4. Сравнительный анализ контурных группировок техно-экосистем ТЭС и АЭС

Длина, км	11,2
Периметр «старой холодной» части, км	9,43
Периметр «старой теплой» части, км	17,11
Длина направительной дамбы 1 очереди, км	1,64
Протяженность берега между НД и ПК, км	3,05
Длина направительной дамбы 2 очереди, км	3,38
Песчаная перемычка между дамбами, периметр, км	3,22
Ширина откоса дамбы до глубины 3 м, м	7
Коэффициент сложности биотопа каменной наброски	5
Ширина полосы по дну между изобатами 0—1 м, м	60
Ширина полосы по дну между изобатами 1—2 м, м	50
Ширина полосы по дну между изобатами 2—3 м, м	45
Ширина полосы по дну между изобатами 3—4 м, м	45
Ширина полосы по дну между изобатами 4—5 м, м	35
Ширина полосы по дну между изобатами 5—6 м, м	30

Для расчета запаса фитопланктона была взята средняя биомасса 5 мг/дм^3 (Гидробиология..., 1991) для 20 % объема и 1 мг/дм^3 — для остального объема. Запас фитопланктона составил 268,2 т.

Для расчета запаса зоопланктона была взята средняя биомасса $0,64 \text{ г/м}^3$ (наши данные за 2002 г.) для 80 % объема и $0,32 \text{ г/м}^3$ — для остального объема. Запас зоопланктона составил 85,4 т.

Для расчета запаса зообентоса было принято, что площадь «бывшей холодной части» составляет около 60 % от всей площади ВО. Для этой части ВО были взяты средние показатели биомассы, согласно полученным в 2002 г.

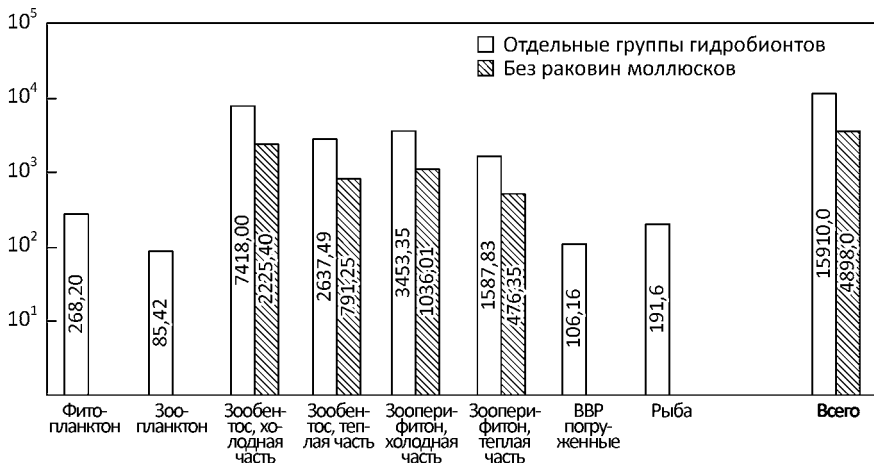


Рис. 4.20. Общий запас гидробионтов (тонны) в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС

данным: на глубинах 1 м и от 7 м и глубже — 5 и 3 г/м², соответственно, а для диапазона глубин 2—6 м — от 100 до 3790 г/м² с пиком на глубине 3 м. Для «старой теплой» части биомасса была принята от 2 до 1550 г/м² с пиком на глубине 5 м. С учетом площадей дна между изобатами, запас для «бывшей холодной части» составил 7418 т, для «бывшей теплой части» — 2637 т.

Для расчета запаса зооперифитона было принято, что биомасса для субстратов «бывшей холодной части» составляла 10193 г/м², для «бывшей теплой» — 6843 г/м². Коэффициент сложности биотопа (каменная отсыпка) был принят равным 5, то есть под 1 м² проективного покрытия дамбы находилось 5 м² заселенного твердого субстрата. Площадь субстратов в «холодной части» составила 0,34 км², в «теплой» — 0,23 км². Запас в «холодной части» составил 3453 т, а «теплой» — 1588 т, таким образом общий запас зооперифитона — несколько более 5000 т.

Оценки запаса рыб были сделаны из допущений, предложенных в литературе (Китаев, 2007) с использованием показателей прозрачности воды и биомассы зоопланктона. Оценки ихтиомассы были от 80 до 100 кг/га, то есть для водоема в целом запас мог составить 190 т.

И, наконец, оценка запаса погруженных высших водных растений составила несколько более 100 т. Было принято (экспертная оценка Т.Н. Дьяченко), что среднюю биомассу растений можно принять за 100 г/м². Площадь зарослей была оценена примерно в 1 км², на долю «холодной» части приходилось около 70 %.

Таким образом, общий запас всех гидробионтов в водоеме (за исключением микроорганизмов) составил 15910 т, (рис. 4.20). При этом 95,6 % приходилось именно на организмы контурных группировок. В общую оценку была включена и масса раковин моллюсков, Если принять, что она составляла до 70 % их биомассы, то общий запас без учета раковин составлял 4898 т.

Не вызывает сомнения, что в водоемах с другим составом и другой структурой контурных группировок могут быть получены другие соотношения, но, как показывает анализ контурных группировок техно-экосистем, данная ситуация для них довольно характерна. Таким образом, контурные группировки техно-экосистем занимают в них ключевое место.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идеи, высказанные В.И. Вернадским более 80 лет назад в самой общей теоретической форме, довольно медленно проникали в основы гидробиологической науки, однако сейчас уже можно говорить о сформулированном постулате: «жизнь концентрируется и наиболее активна преимущественно в слоях, прилегающих к внешним и внутренним границам разделов в гидросфере — жидким и твердым» (Айзатуллин и др., 1979; Хайлов, 2001). Таких границ и разделов в гидросфере существует множество, однако, основными следует, видимо, считать внешние границы водоема или контурные биотопы (Зайцев, 1985, 2006). Группировки гидробионтов, обитающих в этих биотопах — на границе воды и атмосферы, воды и донных отложений, воды и различных твердых субстратов, водоема и суши — имеют двоякую природу. С одной стороны, будучи «контурными», то есть входящими в один класс населения гидросферы, они обладают определенными чертами подобия. Так, Ю.П. Зайцев (1970), М.И. Гладышев (1986) указывали на определенные черты сходства между такими, казалось бы, полярными группировками, как нейстон и бентос. С другой стороны, бенталь, нейсталь и перифиталь существенно различаются по своим условиям, что требует различного спектра адаптаций на организменном и надорганизменном уровнях. Однако, объединяет эти группировки то, что они, как и было отмечено В.И. Вернадским, представляют собой «сгущения жизни», не только скопление организмов с высокой биомассой, но и возрастание интенсивности биологических процессов, метаболизма, потоков вещества и энергии.

Важно отметить, что подход и общая логика выделения контурных, активных, и внутренних, малоактивных областей с точки зрения экологии и биосферологии совпадает с логикой выделения глобальных биотопов в гидросфере и экотопических группировок гидробионтов. Одним из важных условий существования сообществ с высокими показателями обилия является, как это подчеркивал С.А. Зернов (1949), возможность опоры на субстрат, точнее — на раздел сред. Но, кроме того, важно отметить, что в контактных зонах концентрируются питательные вещества, хотя могут накапливаться метаболиты и токсиканты. Тем не менее, весь комплекс условий является благоприятным для формирования густых жизни в пограничных областях.

Схемы контурных биотопов, которые предлагаются в работах, посвященных исследованию общих вопросов структуры гидросферы (Айзатуллин и др., 1979; Зайцев, 2006 и др.) лишен одного элемента, важность которого все более возрастает. Выделенные основные контуры — псаммоконтур, литоконтур и др. (Зайцев, 2006), следует дополнить антропоконтуром или техноконтуром. Например, почти третья часть береговой линии водоема-охладителя ХАЭС представляет собой бетонную облицовку плотины, в водоеме КрТЭС это более 60 % берегового контура. Более того, некоторая часть контурных биотопов представляют собой полностью техногенные, как это можно видеть в облицованных каналах, трубопроводах, различных водоводах, агрегатах и т. п. Как было показано О.Г. Резниченко (1978), масштабы этих созданных человеком биотопов сопоставимы с естественными элементами гидросферы. Таким образом, человеком создан новый комбинированный тип экосистем — техно-экосистемы, в которых живая компонента существует совершенно в новых условиях, в технических биотопах, не только взаимодействуя с ними, но и влияя на них, трансформируя их и всю техно-экосистему в целом.

В данной работе были рассмотрены особенности одного из типов техно-экосистем¹, а именно — техно-экосистем тепловых и атомных электростанций, более точно — водной их части. Процесс выработки электроэнергии на современных ТЭС и АЭС, которые занимают и еще, вероятно, долго будут занимать ключевое место в структуре мировой энергетики, требует большого потребления воды. Она используется не только для охлаждения конденсаторов, но и в различных других технических циклах. Обычно основной особенностью этих техно-экосистем считают своеобразный термический режим (Мордухай-Болтовской, 1975; Гидробиология..., 1991). Действительно, термические условия в водоемах-охладителях, в технических системах весьма своеобразны. Это выражается как в абсолютных значениях температур (нами отмечались температуры до 40 °С), далеко выходящих за обычные пределы природного диапазона, так и в значительном увеличении продолжительности вегетационного периода. Если продолжительность вегетационного сезона на широте 50° с. ш. составляет около 250 суток (Динамика...,

¹ В настоящее время классификация и типизация техно-экосистем еще далека от достаточно полной разработки.

2012), то водоем-охладитель с его 300-суточным сезоном на этой широте как бы «переносится» в субтропическую зону — с широты Киева на широту Ту-ниса.

Но есть еще целый комплекс важных факторов, своеобразно проявляющихся в техно-экосистемах. Для контурных группировок — это, в первую очередь, большое количество своеобразных антропогенных субстратов, техногенная трансформация донных биотопов. Кроме того, важны особенности гидродинамических условий.

В монографии были представлены материалы, полученные при исследовании бентоса и перифитона в технических системах охлаждения и водоснабжения ТЭС и АЭС. Третья важная контурная группировка — нейстон — остается в техно-экосистемах практически не изученной. Что касается характера местообитаний в исследованных техно-экосистемах, то был представлен широкий спектр водных объектов: от естественных озер (Конинская система), используемых для охлаждения, до полностью искусственных прудов-охладителей (водоемы Криворожской ТЭС, Чернобыльской АЭС). Различались водоемы по своей морфологии — от глубокого водохранилища каньонного типа — охладителя Южно-Украинской АЭС до мелководного с обширной литоралью Гославского озера.

Непроточные охладительные системы построены по одному принципу: сбросная подогретая вода направляется в водозабору, проходя через охлаждающие элементы — пруды-охладители, градири, брызгальные бассейны. Таким образом, в техно-экосистемах всегда присутствует фактор перемещения водных масс, однако в прудах-охладителях скорости течений очень малы, порядка сантиметров в секунду. Это и понятно — вода должна иметь определенное время на теплоотдачу. Однако во многих системах присутствуют лотические элементы — подводящие и отводящие каналы (из исследованных нами — это системы ХАЭС, ЧАЭС, Кураховской ТЭС). Расход воды в некоторых каналах сопоставим с расходом средней реки. Как правило, их откосы, а в некоторых случаях и дно облицованы бетоном, укреплены каменной наброской. Таким образом, созданы биотопы для поселений организмов перифитона. Исследование техногенных лотических систем показали, что именно в этих биотопах формируются наиболее продуктивные сообщества, здесь были отмечены наибольшие показатели биомассы, причем, как в зонах наибольшего, так и наименьшего подогрева.

Для контурных группировок в техно-экосистемах ТЭС и АЭС выявлено два основных градиента — глубинный и температурный. Для перифитона и бентоса выделены определенные различия и особенности распределения организмов и их сообществ в этих градиентах. На материале исследований зообентоса водоемов-охладителей АЭС было показано, что максимальным таксономическое богатство было на небольшой глубине, снижаясь как к зоне уреза воды, так и к большим глубинам. Что касается перифитона, приуроченная зона, наоборот, всегда была богата видами, однако, определялось это богатство поселениями здесь нитчатых водорослей, которые создавали сложный биотоп. В термическом градиенте, который хорошо можно было проследить в биотопах перифитона таких техно-экосистем как ЧАЭС, КрТЭС,

происходила закономерная смена одних сообществ другими. Причем, здесь были выделены некоторые характерные особенности изменения качественных и количественных показателей сообществ. Было, в частности, отмечено, что по мере их формирования после начала эксплуатации водоема в качестве охладителя, происходит все большее сглаживание в составе сообществ перифитона. В то же время, состав доминантов становился специфическим для каждой термической зоны. На полюсах термоградиента при этом формировались сообщества консортивного типа, в которых хорошо выражены разные доминанты становились эдификаторами сообществ. В зоне максимальных температур таким эдификаторами выступали мшанки, на другом полюсе — дрейссена.

Впервые такая поляризация сообществ на полюсах термоградиента была изучена в эксперименте *in situ* на субстратах, которые экспонировались в районе сброса и водозабора Трипольской ТЭС. Дальнейшие исследования в условиях водоемов-охладителей ЧАЭС, КрТЭС, ЮУАЭС подтвердили эту закономерность. Следует отметить, что в исследованиях перифитона, а частично и бентоса, постоянно использовалось водолазное снаряжение, были разработаны необходимые методики исследований, что позволило собрать значительный материал по характеру и структуре подводного ландшафта в различных масштабах — от рисунка микроландшафта перифитонных сообществ на различных субстратах, до распределения поясов и целых комплексов сообществ в масштабах всего водоема. Были получены данные о характере донных ландшафтов в литорали техногенно трансформированных Конинских озер, ряда водоемов-охладителей. Именно применение подводного снаряжения позволило провести серии экспериментов *in situ* по изучению метаболизма сообществ перифитона, в меньшей степени бентоса.

Было описано явление замещения сообществ при сезонном и техногенном возрастании температуры: развитие в зимне-весенний период сообществ с доминированием дрейссены, которое, однако элиминирует и замещается сообществом мшанки при температуре выше 31—33 °С. Эта цикличность была прослежена в техно-экосистемах ЧАЭС и КрТЭС. В то же время, если температура на сбросе подогретых вод не превышала критического уровня, дрейссенные сообщества продолжали существовать в отводящем канале практически постоянно, как это было отмечено для Ладыжинской ТЭС.

Была выявлена своеобразная глубинно-термическая стратификация при распределении перифитона на переливных струераспределительных дамбах (ЧАЭС, КрТЭС, Конинская ТЭС), когда под слоем подогретых сбросных вод существовали сообщества с доминированием дрейссены, маркируя тем самым противотечение относительно холодных придонных вод. На выходе отводящего канала ХАЭС такое же явление было отмечено в бентосе. Это указывает на гораздо более сложную биоценотическую структуру, чем можно представить ее как последовательную смену группировок от теплой к холодной зоне.

Донные бентические группировки в целом наименее развиты в относительно мелководных и небольших охладителях (Славянская, Змиевская ТЭС,

ЗАЭС). Зообентос не имел четкой пространственной структуры, которая бы отражала характер смены термического режима от сброса к водозабору в водоеме-охладителе. Тем не менее, было отмечено, что дрейссена бугская, вселившаяся в водоем ЧАЭС еще в период работы станции, обитала только на менее подогретых участках водоема. Через два года после остановки АЭС исследования показали, что этот вид распространился по всему водоему, заняв при этом доминирующее положение, однако показатели обилия его были минимальными в зоне бывшего подогрева. В водоеме-охладителе КрТЭС, где глубины относительно небольшие по всему водоему, влияние подогрева в той или иной степени охватывает всю бенталь. Здесь вполне определено выделялись несколько зон с различным составом и показателями обилия сообществ. В более глубоководных водоемах со сложным рельефом дна, четкая последовательность сообществ отсутствовала. Большее значение играла не температура, а характер и тип грунтов.

Свойства субстрата и сложность биотопа имели большое значение в формировании, составе, обилии сообществ перифитона. Исследования простраственно сложного биотопа каменной наброски, широко распространенного техногенного биотопа во многих водоемах, показали, что этот биотоп заселен не только на поверхности, но и вглубь, что значительно увеличивает площадь обитаемого субстрата под единицей проективного покрытия. В этой связи с общегидробиологических позиций можно сравнить техногенные биотопы с каменистой литоралью.

В техноконтуре, непосредственно в системах водоснабжения биотопическая сложность очень велика. Исследования показали, что в некоторых технических биотопах, например, теплообменниках маслоохладителей, на решетках водных фильтров биомасса организмов перифитона даже превышает ту, которая отмечена в биотопах, более близких по своим характеристикам к природным. Значительное развитие организмов в технических системах, безусловно, создает значительные биологические помехи в работе оборудования. С другой стороны, это наводит на мысль о необходимости использования такого техногенного повышения перифитопотенциала для создания биофильтров, искусственных рифов.

Многолетние исследования (в основу данной монографии положены результаты более чем 35-летних исследований бентоса и перифитона) позволили сделать определенные обобщения относительно развития контурных группировок во времени. Экологические события в контурных группировках и техно-экосистемах могут разворачиваться по нескольким «сценариям».

Один из них — «постепенного достижения состояния псевдоклиматкса с низким уровнем обилия» — характеризуется формированием на начальных стадиях сукцессии сообществ, близких по структуре таковым соседних фоновых экосистем. Затем, по мере увеличения техногенной нагрузки обилие и продукционные показатели снижаются. На низком уровне биомассы и продуктивности происходит определенная стабилизация — состояние техногенного псевдоклиматкса. Таков был ход сукцессии в водоеме ЗАЭС.

Несколько сходным было развитие контурных группировок в техно-экосистеме ЮУАЭС. Однако здесь наблюдались процессы деградации и восста-

новления контурных группировок, в частности сообществ с доминированием дрейссены. Кроме того, вселение субтропических термофильных моллюсков привело к совершенно необычному для нашей зоны формированию сообщества с доминированием брюхоногих бентических моллюсков — интрабионтов, что существенно увеличило значения биомассы всего бентоса. Такая ситуация может быть представлена как сценарий «достижения техногенного псевдоклиматса через стадии циклического элиминирования и восстановления сообществ».

В ряде техно-экосистем события разворачивались по следующей схеме: переход контурных группировок от относительно низкого уровня развития к гораздо более высокому уровню продукции и биомассы за счет вселенцев. По такой схеме проходили сукцессионные изменения в техно-экосистемах Ладыжинской ТЭС, ХАЭС, некоторых озерах Конинской группы. Этот сценарий можно охарактеризовать как «переход на более высокий уровень продукции за счет популяции инвайдера».

Наконец, техногенная сукцессия, которая приводит через ряд процессов колебательного характера к посттехногенной фазе, как это произошло в техно-экосистеме ЧАЭС¹.

Анализ этих «сценариев» приводит к несколько неожиданному выводу: основными факторами, оказывающими влияние на сукцессионный процесс в техно-экосистемах (во всяком случае, в исследованных) являются не только температура, но и виды вселенцы!

Ценотическая структура контурных группировок оказалась достаточно многообразной — было выделено несколько десятков сообществ перифитона и бентоса. Однако среди них могут быть отмечены наиболее распространенные, с наибольшими показателями обилия. Как в бентосе, так и в перифитоне особое место занимало сообщество с доминированием двух видов дрейссенид — *D. polymorpha* и *D. bugensis*. Эти сообщества становятся ключевыми не только в контурной подсистеме, но в экосистеме в целом. Именно их метаболическая, фильтрационная активность приводит к контуризации (бентификации) экосистем.

На этот процесс обратили внимание американские исследователи, поскольку им пришлось столкнуться с массовым вселением дрейссенид во многие водоемы континента и с «реконструкцией» моллюсками всей ценотической структуры многих водных экосистем. Процессом «бентификации» (benthification) было названо явление «изменений, которое выражается в возрастании бентической первичной продукции, что влияет на все экосистемные функции» (Zhu et al., 2006, с. 1017). Основной причиной такого сдвига рассматривается значительное снижение мутности воды, что приводит к росту обилия и продукции донных автотрофов и расширению зоны обитания автотрофов и донного фотосинтеза в глубину. Так, указанные авторы приводят данные, демонстрирующие, что в одном из озер штата Нью-Йорк грани-

¹ Правда, техногенную историю этого водного объекта рано считать закончившейся: возможен еще частичный спуск водоема и трансформация его в своеобразный ветленд с несколькими водоемами на месте глубоководных участков нынешнего.

ца распространения макрофитов, проходившая до вселения дрейссены по изобате 2,5 м, переместилась на глубину около 6 м. На примере оз. Нарочь в Беларуси процесс «бентификации» рассматривался Т.В. Жуковой и А.П. Остапеней (2003).

Следует, на наш взгляд, подчеркнуть, что «бентификация», которую более правильно называть «контуризацией», поскольку в этом процессе задействованы не только собственно бенталь, но и перифиталь, в том числе и антропогенная, является не только следствием функционирования популяций дрейссены, мощного контуробионта-фильтратора, но в большей мере формированием и функционированием нового биоценоза со всеми его взаимосвязями. Так, один из элементов сложного процесса контуризации может быть представлен как автостимуляция первичной продукции за счет активизации потока биогенов. Действительно, фильтрационная активность дрейссены приводит к значительному возрастанию прозрачности воды, оптической глубины водоема (см. раздел 4) и на месте гетеротрофных сообществ формируются на относительно большой глубине автотрофно-гетеротрофные. Кроме того, раковины моллюсков становятся массовым твердым субстратом для поселения водорослей перифитона (Makarevich et al., 2008). Дрейссена становится важным поставщиком фосфора и азота за счет их экскреции. По данным Т.В. Жуковой и А.П. Остапени (2003) количество экскретируемого дрейссеной фосфора за сезон сопоставимо с внешним притоком этого элемента с водосборной площади оз. Нарочь. Однако в темное время суток, когда в скоплениях нитчатых водорослей может резко снижаться содержание кислорода (Величко, 1979), существенно возрастает диффузия фосфора из донных отложений. При снижении содержания кислорода диффузия фосфора из седиментов может возрасть в несколько сот раз, в 3—4 раза превышая количество экскретируемого зообентосом фосфора при благоприятных кислородных условиях (Devine, Vanni, 2002, цит. по: (Динамика..., 2012). Таким образом, система прямых и обратных связей в сообществе (именно в целостном сообществе!) способствует активизации биогеохимических циклов в пределах контурных группировок.

Техно-экосистемы являются в значительной степени антропозависимыми системами. Это предполагает определенную степень возможного управления ими. И здесь одной из важных составляющих комплекса управленческих мероприятий является получение достоверной информации о структуре и функционировании всей техно-экосистемы. В настоящее время делаются лишь первые шаги по организации необходимой системы гидробиологического мониторинга техно-экосистем АЭС (Порядок..., 2010), очевидно, что они должны быть сделаны и для систем ТЭС. Однако мониторинг позволяет лишь накапливать данные об экосистеме, поэтому необходима методология оценок состояния техно-экосистемы, степени воздействия техногенных факторов на живую часть всей системы, влияние последней на окружающую среду. Представляется, что здесь могут быть применены принципы Водной рамочной директивы ЕС (WFD-2000) (Водна..., 2000). Конструктивным представляется разработка так называемых экологических потенциалов, которые представляют собой комплексный «портрет» техно-экосистемы с приемле-

мым составом, структурой, уровнем функционирования, возможными угрозами биологических помех, характером взаимосвязи с фоновыми, внешними экосистемами, социумом и его хозяйственной деятельностью.

В этой работе показано, что весьма значительная, а порой и ключевая роль, как и следует из положений, разработанных В.И. Вернадским, принадлежит контурным группировкам, поэтому их дальнейшее более глубокое исследование как в природных экосистемах, так и в техно-экосистемах, совершенно необходимо.

* * *

В разделах монографии были отмечены фамилии специалистов, которые на протяжении многих лет принимали участие в исследованиях бентоса и перифитона техно-экосистем ТЭС и АЭС. Всем своим коллегам авторы приносят глубокую искреннюю благодарность за помощь и сотрудничество.

Также с глубокой признательностью вспоминаем Ольгу Глебовну Кафтанникову, которая была первым исследователем контурных группировок в техно-экосистемах энергетических станций.

Авторы будут искренне признательны за критику и замечания; контактный адрес: <labtech-hb@ukr.net>

CONCLUSION

The ideas that were stated and developed by V.I. Vernadsky more than 80 years ago in the most general theoretical form, slowly enough got into basis of hydrobiological science. However now it is possible to say about the formulated postulate: «The life concentrates and is the most active mainly in the layers that are connected to external and internal borders of section in hydrosphere — liquid and solid» (Ayzatullin, etc. 1979; Khaylov, 2001). There are a great deal such borders and marginal zones in hydrosphere, however, probably external borders of a water bodies or marginal biotopes are significant (Zaytsev, 1985, 2006). Groups of hydrobionts, living in these biotops — on border of water and atmosphere, water and bottom sediments, water and various solid substrata of waters and a land — have the double nature.

On the one hand, being «marginal», namely entering into one class of the communities of hydrosphere, they possess certain lines of similarity. So, Yu. Zaitsev (1979), M. Gladyshev (1986) point out to in certain lines of similarity between such, apparently, polar groups, as neuston and benthos. On the other hand, benthal, neustal and periphytal essentially differ on the conditions, so various spectrum of adaptations on organism and superorganism levels is demanded. However, these groups are united, as V.I. Vernadsky noted, because they are «life condensations». Not only a condensation, a congestion of organisms, biomass increase, but also increase of intensity of biological processes, a metabolism, substance and energy flows.

It is important to notice, that the approach and the general logic of allocation marginal, active and internal, less-activity areas from the point of view of ecology and biospherology coincide with logic of allocation the global biotops in hydrosphere and ecotopic groups of hydrobionts. As it was underlined by S. Zernov (1949), the important condition of existence of communities with high indicators of their abundance is possibility support by a substratum, is more exact — on borders of sub-

stances. But, besides, it is important to notice, that in contact zones nutrients can be collect, but both metabolites and toxicants concentrate too. Nevertheless, all complex of conditions on border zones are favorable for formation of condensations of a life in marginal areas.

The schemes of marginal biotops which are offered in the works devoted to research of the general questions of structure of hydrosphere (Ayzatullin, etc. 1979; Zaytsev, 2006, etc.) are deprived one element whose importance more and more increases. It is necessary to add the allocated basic contours (psammocountour, litocountour (Zaytsev, 2006) with anthropocontour or technocountour. For example, almost the third part of a coastal line of cooling pond of Khmel-nitski NPP represents concrete facing of a dam, it is more than 60 % of a coastal contour in cooling pond of Kryvoy Rog TPP. Moreover, some part of marginal biotopes presents completely technogenic biotops as it is possible to see in the concrete channels, pipelines, various water supply systems, etc. As it has been shown O. Reznichenko (1978), scales of these biotopes that were created by human activity are comparable with natural elements of hydrosphere. Thus, the new combined type of ecosystems — techno-ecosystems in which live components exist in absolutely new conditions in technical biotops, not only cooperating with them, but also weight with them, transforming them and all techno-ecosystem.

In the monograph features of the techno-ecosystems of thermal and nuclear power plants, their water part has been considered. Process of development of the electric power on modern thermal and nuclear power plants demands the large consumption of water. Usually an original thermal regime is considered the basic feature of these techno-ecosystems (Mordukhay-Boltovskoy, 1975; Hydrobiology..., 1991). Really, thermal conditions in the techno-ecosystems are rather original. Absolute values of temperature are very high, we observed temperature to 40°C, that is much more then natural range. The second aspect is increase of duration of the vegetative period. But there is a whole complex of the important factors that originally show in techno-ecosystems. Moreover for marginal groups, first of all, it is considerable number of specific anthropogenous substrata, technogenic transformation of bottom biotops. Features of hydrodynamic conditions are besides, important.

Our research deals with the basic marginal communities — benthos and periphyton in technical systems of cooling and water supply of the thermal and nuclear power plants. The investigated water bodies were various on the morphology: from a deep water body canyon type to shallow lake with big littoral zone.

Flow velocity in cooling ponds is very small, however there are lotic elements — intake and discharge channels at many systems. In these channels there are favorable conditions for existence and functioning of periphytic communities because their slopes, their bancs and bottom are revetted by a solid substratum — concrete or stone. Our researches of technogenic lotic systems have shown, that exactly the most productive communities exist in these biotops.

In thermal gradient, which could be tracked in periphytic biotops in a techno-ecosystems there was the change from one communities by others. Consortive type communities were formed on thermogradient poles. Dominants which become edificator of communities are well expressed in them. In a zone of the maximum temperature such edificator was Briozoans. On other «cold» pole Zebra mussels dominated.

In researches of periphyton and partially benthos the SCUBA was constantly used, necessary techniques of researches have been developed. It has allowed to collect a lot of material about character and structure of an underwater landscape in various scales — from microlandscape drawing periphyton communities on various substrata to distribution of belts and the whole complexes of communities in scales of all reservoir. Data about character of bottom landscapes in littoral of technogenic transformed lakes and cooling water bodies have been obtained.

The phenomenon of replacement of communities at seasonal and technogenic increase of temperature has been described: Dreissenid communities development during

Conclusion

the winter-spring period with domination which are eliminated and replaced by Bryozoans community at temperature above 31—33 °C.

Properties of a substratum and biotope complexity went a long way in formation, structure, abundance of periphyton communities. Researches spatially complex biotope of stone coast strengthening have shown, that this biotope is occupied not only on its surface, but also deep into, that considerably increases the area of a manned substratum under unit of a projective covering.

In technical systems, in water supply systems biotope complexity is very great. Researches have shown, that in some technical biotops, on lattices of water filters the biomass of periphyton organisms was more than in natural.

Benthos and periphyton researches were spent for more than 35 years. It has allowed to make certain generalisations concerning marginal groups development in time. Ecological events in marginal groups of the techno-ecosystems can be developed by several «scenarios».

Growth and then gradual decrease in production and a biomass we observed in one techno-ecosystems. Succession in them has stopped at a stage of a technogenic pseudo-climax. Strong increase of production and a biomass at the expense of species-invaders we observed in others ecosystems. In some ecosystems series of elimination and restoration of cenopopulations associated with technogenic conditions of environment were observed.

The analysis of these «scenarios» leads to the conclusion, that the major factors influencing on succession process in investigated techno-ecosystems are the temperature and species-invaders.

High metabolic, filtration activity of some benthic and periphytic organisms (firstly Zebra mussel, and Quagga mussel) leads to the phenomenon of counturization (benthification) of ecosystem.

Process of «benthification» had been named the phenomenon of «changes which are expressed in increase benthic primary production over pelagic production in the food web, thereby representing an overall alteration of ecosystem function» (Zhu et al. 2006, p. 1017). The principal cause of such shift is considerable increase of water transparency that leads to growth of abundance and bottom autotrophs production and to expansion of habitat by autotrophs and bottom photosynthesis in depth. It is necessary to underline, in our opinion, that «benthification» must be called «counturization» because this process dealing with not only actually benthic, but also periphytic, including anthropogenous periphytic, is not only the consequence of functioning of *Zebra mussel* population, the powerful filtrator organism, but in more degree formation new biocenosis with all its interrelations.

Zebra mussel is the important supplier of phosphorus and nitrogen according excretion of them. However during night time, when in filamentous algae congestions the content of oxygen can sharply decrease (Velichko, 1979), diffusion of phosphorus from bottom sediments to water essentially increases. Thus, system of backward and forward linkages in community (in complete community!) promotes activation of biogeochemical cycles within marginal groups.

Techno-ecosystems are substantially anthropo-dependent systems, therefore there is a possibility of management of them. An obtaining of trustworthy information about their structure and functioning is necessary. But monitoring only allows to accumulate data about ecosystem, thus the methodology of estimations of a techno-ecosystems condition, degree of influence of technogenic factors on a live part of all system, influence of last one on environment is necessary. Principles of the Water Frame Directive of EEC (WFD-2000) can be applied here. Development of ecological potentials which represent complex «portrait» of a techno-ecosystem with acceptable structure, functioning level, possible threats of biological hindrances, character of interrelation with background or external ecosystems, the human society and its economic activities is important. Techno-ecosystems where marginal communities are very important should be in harmony with environment.

**СПИСОК ТАКСОНОВ ЗООБЕНТОСА
И ЗООПЕРИФИТОНА (НОТ),
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ
В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ
ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМ АЭС УКРАИНЫ**

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979—1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Spongia									
1	<i>Spongilla lacustris</i> L.	+	+	+	+	+			
2	<i>Eunapius carteri</i> (Bowerbank)			+					
Coelenterata									
3	<i>Hydra</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
4	<i>Cordilophora caspia</i> (Pall.)						+	+	+
5	<i>Craspedacusta sowerbii</i> Lankester			+	+	+			
Turbellaria									
6	Turbellaria sp.	+			+	+			
7	<i>Planaria torva</i> Schulz.			+	+				
8	Nematoda	+	+	+	+	+		+	+
Oligochaeta									
9	Naididae sp.		+	+		+			
10	<i>Aelosoma hemprichi</i> Ehrenberg				+	+			
11	<i>Chaetogaster</i> sp.			+					
12	<i>Chaetogaster diaphanus</i> (Gruith)					+			

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979—1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Oligochaeta									
13	<i>Ch. diastrophus</i> (Gruith)				+	+			
14	<i>Pristina</i> sp.	+		+			+	+	
15	<i>P. aequiseta</i> Bourne		+	+	+	+		+	+
16	<i>P. longiseta</i> Ehrenberg			+	+	+			+
17	<i>Stylaria lacustris</i> (L.)	+	+	+	+	+		+	
18	<i>Nais</i> sp.	+	+	+		+	+	+	+
19	<i>N. barbata</i> O.F.M.	+		+	+	+		+	
20	<i>N. bretscheri</i> Michaelsen	+	+		+	+		+	
21	<i>N. pseudobtusa</i> Piguet	+	+	+	+	+		+	
22	<i>N. communis</i> Piguet	+	+	+	+	+	+	+	+
23	<i>N. simplex</i> Piguet				+	+		+	
24	<i>N. pardalis</i> Piguet		+		+	+		+	
25	<i>N. elinguis</i> O.F.M.	+	+	+	+	+		+	+
26	<i>Uncinaiis uncinata</i> (Oerster)			+	+	+			
27	<i>Ophidonais serpentina</i> O.F.M.			+					
28	<i>Dero</i> sp.	+	+	+		+			+
29	<i>Dero digitata</i> (O.F.M.)		+			+			
30	<i>Dero obtusa</i> d’Udecem				+	+			
31	<i>Vejdovskiiella comata</i> (Vejdovsky)		+	+		+			
32	<i>Piguetiella blanci</i> (Piguet)					+			
33	Tubificidae juv.	+	+	+		+	+	+	
34	Tubificidae juv. (с волосны-ми щетинками)	+	+	+		+			+
34	<i>Peloscolex ferox</i> (Eisen)	+							
36	<i>Aulodrilus</i> sp.							+	
37	<i>A. pigueti</i> Kowalevsky			+	+	+			
38	<i>A. pluriseta</i> (Piguet)			+	+				
39	<i>A. limnobius</i> Bretscher			+	+	+			
40	<i>Limnodrilus</i> sp.	+	+	+		+			
41	<i>L. claparedeanus</i> Ratzel	+	+	+		+			
42	<i>L. hoffmeisteri</i> Claparede	+	+	+	+	+			+

Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ)

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Oligochaeta									
43	<i>L. helveticus</i> Piguet	+		+					
44	<i>Isochaetides michaelseni</i> (Lastockin)	+	+			+			
45	<i>Tubifex newaensis</i> (Michaelsen)	+		+		+			
46	<i>Tubifex tubifex</i>				+				
47	<i>Psammorictides barbatus</i> (Grube)	+	+	+		+			
48	<i>Ps. albicola</i> (Michaelsen)		+	+	+	+			
49	<i>Potamotrix moldaviensis</i> Vejd. et Mraz.				+	+			
50	<i>P. hammoniensis</i> (Michaelsen)	+	+		+	+	+		
51	<i>Lumbriculus variegatus</i> (O.F.M)			+	+	+			
52	<i>Enchytraeidae</i> sp.	+	+	+		+			
53	<i>Propappus volki</i> Michaelsen	+							
54	<i>Branchiura sowerbii</i> Beddard								+
55	<i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny)	+							
Hirudinea									
56	<i>Hirudinea</i> juv.	+		+		+	+	+	+
57	<i>Hemiclepsis marginata</i> (O.F.M.)	+	+	+	+				
58	<i>Helobdella stagnalis</i> (L.)	+	+	+	+				
59	<i>Erpobdella</i> sp.	+		+					
60	<i>Glossiphonia</i> sp.			+					
61	<i>G. complanata</i> (L.)	+		+					
62	<i>G. heteroclita</i> (L.)			+	+				
63	<i>Piscicola geometra</i> (L.)				+	+			
64	<i>Ostracoda</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
Isopoda									
65	<i>Asellus aquaticus</i> L.	+		+	+				

Приложение 1

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Mysidacea									
66	Mysidacea sp.					+			
67	<i>Limnomysis benedeni</i> Czerniavsky					+			
68	<i>Paramysis (M.) intermedia</i> (Czerniavsky)					+			
Gammaridae									
69	Gammaridae juv.	+				+			
70	<i>Iphiginella shablensis</i> (Carausu)					+			
71	<i>Pontogammarus</i> sp.							+	
72	<i>P. robustoides</i> (Sars)					+		+	
73	<i>P. obesus</i> (Sars)					+			
74	<i>Stenogammarus</i> sp.					+			
75	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky)					+			
76	<i>D. haemobaphes</i> (Eichwald)				+	+		+	+
77	<i>Chaetogammarus ischnus</i> Stebbing					+			+
78	<i>Ch. warpachowskyi</i> (Sars)					+			
Corophiidae									
79	Corophiidae juv.					+	+		
80	<i>Corophium mucronatum</i> G.O.S.					+			
81	<i>Corophium curvispinum</i> G.O.S.					+			
82	<i>Corophium robustum</i> G.O.S.					+			
83	Hydracarina	+	+	+	+	+			
Hemiptera									
84	Hemiptera juv.		+						
85	Corixidae juv.	+							
86	<i>Micronecta</i> sp.	+	+	+					
87	<i>Nepa cinerea</i> L.	*							

Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ)

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Odonata									
88	Odonata juv.	+							
89	Agrionidae sp.	+							
90	<i>Platycnemis pennipes</i> (Pall.)	+							
91	<i>Gomphus</i> sp.	+							
92	<i>G. flavipes</i> (Charp.)	+							
93	<i>Simpetrum striolatum</i> Charp.	+							
Ephemeroptera									
94	Ephemeroptera juv.	+	+	+		+			
95	<i>Palingenia longicauda</i> (Oliver)	+							
96	<i>Polymitarcys vigro</i> (Oliver)	+							
97	<i>Oligoneuriella pallida</i> Hagen	+							
98	<i>Cloeon</i> sp.	+				+			
99	<i>C. dipterum</i> (L.)		+						
100	Baetidae juv.	+							
101	<i>Baetis</i> sp.	+							
102	<i>Heptagenia</i> sp.	+							
103	<i>H. coerulans</i> (Rostock)	+							
104	<i>H. sulfurea</i> (O.F.M.)								
105	<i>H. flava</i> (Rostock)	+							
106	Libellulidae sp.		+						
107	<i>Leptophlebia</i> sp.	+							
108	<i>L. vespertina</i> L.	+							
109	<i>Caenis</i> sp.	+	+	+		+			
110	<i>C. horaria</i> (L.)	+	+	+	+	+			
111	<i>C. macrura</i> Stephens			+		+			
112	<i>C. lactea</i> (Burmeister)			+					
113	<i>C. robusta</i> Eaton			+					
Neuroptera									
114	<i>Sisira fuscata</i> F.	+							

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Coleoptera									
115	Coleoptera sp. larva			+		+			+
116	Dityscidae sp.	+							+
117	Hydrophilidae larva	+							
118	Hydroptilidae sp.								+
119	Hydrous sp. Dheb.	+	+						
Megaloptera									
120	Sialis sp.		+						
Trichoptera									
121	Trichoptera juv.	+	+	+		+		+	
122	Oxyethira castalis (Curtis)					+			
123	Orthotrichia tetensii Kolbe			+	+	+		+	
124	Oecetis ohracea (Curtis)			+					
125	Ecnomus tenellus (Rambur)		+	+	+	+		+	+
126	Agraylea multipunctata Curtis			+	+				
127	A. pallidula McLachlan					+			
128	Hydropsyche sp.	+							
129	H. ornatula McLachlan	+			+				
130	H. angustipennis (Curtis)	+							
131	Ithytrichia lamellaris Eaton	+							
132	Anabolia soror Mc Lachlan	+							
133	Limnephilus sp.	+		+					
134	Brachycentrus subnubilus Curtis	+							
135	Leptoceridae sp.			+					
136	Polycentropidae sp.	+							
137	Neureclipsis bimaculata (L.)	+			+				
138	Cyrnus flavidus Mc Lachlan	+	+	+					
139	Polycentropus flavomaculatus (Pictet)	+							
140	Mistacides nigra (L.)		+						

Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ)

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Diptera									
141	Diptera gen. sp.	+	+	+		+		+	
142	Chaoborus sp.	+	+	+					
143	Scatopse hotata L.		+						
144	Simuliidae sp.	+							
145	Paradixa sp.	+							
146	Limoniidae sp.								+
Chironomidae									
147	Chironomidae juv.	+	+	+		+		+	
148	Tanipodinae sp.			+					
149	Ablabesmyia gr. monilis L.	+	+	+	+	+			
150	A. lentiginosa Fries	+							
151	Procladius ferrugineus Kieff.	+	+	+	+	+	+		+
152	P. choreus Mg.		+	+		+			
153	T. vilipennis (Kieff.)	+							
154	Orthoclaadiinae sp.	+	+			+			
155	Diamesa heterodentata Botn.					+			
156	Pottastia gaedi Mg.	+							
157	P. campestris (Edwards)					+			
158	Eukiefferiella sp.	+							
159	E. hospita Ed.	+							
160	E. tshernovskii Pankratova	+							
161	E. longipes Tshernovskij	+							
162	Cricotopus sp.	+							
163	C. gr. silvestris Fabr.	+	+	+	+	+		+	+
164	C. gr. algarum Kieff.	+			+				+
165	C. latidentatus Tshernovskij	+							
166	C. biformis Edwards	+							
167	Microcricotopus bicolor (Zetterstedt)	+				+			
168	Chaetocladius piger Goetghebuer	+							
169	Micropsectra sp.		+						

Приложение 1

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979—1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Chironomidae									
170	<i>Psectrocladius psilopterus</i> Kieff.	+		+	+	+			
171	<i>P. dilatatus</i> Wulp								+
172	<i>Microcricotopus bicolor</i> (Zetterstedt)	+							
173	<i>Propsilocerus paradoxus</i> L�ndstr�m	+							
174	<i>Brillia pallida</i> Sp�rck	+							
175	<i>Lymnophyes transcaucasicus</i> Tshernovskij			+					
176	<i>L. prolongatus</i> Kieff.	+							
177	<i>Xenochironomus xenolabis</i> Kieff.					+			
178	<i>Corynoneura</i> sp.			+					
179	<i>C. celeripes</i> Winn	+	+	+					
180	<i>C. scutellata</i> Winner			+					
181	<i>Thienemanniella clavicornis</i> Kieffer	+							
182	<i>Zavrelia pentatoma</i> Kieff.	+							
183	<i>Stempellina bausei</i> (Kieff.)	+				+			
184	<i>Micropsectra</i> gr. <i>praecox</i> Mg.							+	
185	<i>Tanytarsus</i> sp.	+							
186	<i>T. gregarius</i> Kieff.		+	+	+	+	+	+	+
187	<i>Cladotanytarsus mancus</i> Walker	+	+	+	+	+		+	+
188	<i>Rheotanytarsus exiguus</i> Johannsen	+	+	+	+	+			+
189	<i>Paratanytarsus lauterborni</i> Kieff.		+	+	+	+		+	
190	<i>Paralauterborniella nigrochalteralis</i> (Malloch.)	+							
191	<i>Beckidia zabolotzkyi</i> (Goetghbuer)	+							
192	<i>Robackia demejerei</i> (Kruseman)	+							

Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ)

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979—1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Chironomidae									
193	<i>Cryptochironomus</i> sp.	+							
194	<i>Cryptochironomus</i> sp. N 9 Lipina	+							
195	<i>Cr. anomalus</i> Kieff.	+							
196	<i>Cr. defectus</i> Kieff.	+	+	+		+			+
197	<i>Cr. vytshegdae</i> Zvereva	+							
198	<i>Cryptocladopelma fridmanae</i> (Tshernovskij)	+							
199	<i>Cr. viridula</i> (Fabr.)		+	+		+			
200	<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> (Zetterstedt)		+					+	
201	<i>Harnischia fuscimana</i> Kieff.	+				+			
202	<i>Leptochironomus tener</i> (Kieff.)	+	+	+		+	+	+	
203	<i>Pseudochironomus prasinatus</i> (Staeger)	+				+			
204	<i>Chironomus plumosus</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+
205	<i>C. dorsalis</i> Meigen							+	
206	<i>Limnochironomus nervosus</i> Staeg.	+	+	+	+	+			
207	<i>L. tritonus</i> Kieff.	+	+			+		+	
208	<i>Endochironomus albipennis</i> Mg.	+	+			+			
209	<i>E. impar</i> (Walker)			+					
210	<i>E. tendens</i> Fabricius	+			+			+	
211	<i>Glyptotendipes gripecoveni</i> Kieff.	+	+	+	+	+		+	+
212	<i>G. glaucus</i> (Mg.)	+			+			+	
213	<i>Polypedilum</i> gr. <i>nubeculosum</i> Mg.	+	+	+	+	+		+	
214	<i>P. convictum</i> Walker	+	+	+	+	+		+	
215	<i>P. scalaenum</i> (Schränk)	+						+	
216	<i>P. bicrenatum</i> Kieff.		+	+		+	+		
217	<i>Pentapedilum exectum</i> Kieff.	+		+	+	+			

Приложение 1

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Chironomidae									
218	<i>Parachironomus pararostratus</i> Harnisch	+	+	+	+	+		+	
219	<i>P. vitiosus</i> Goetghebuer			+					
220	<i>P. biannulatus</i> (Staeger)							+	
221	<i>Paratendipes intermedius</i> Tshern.	+							
222	<i>Stenochironomus gibbus</i> (Fabr.)	+							
223	<i>Stictochironomus histrio</i> Fabr.		+	+		+			
224	<i>Lipiniella arenicola</i> Shilova			+					
225	<i>Microtendipes chloris</i> Mg.		+	+		+			
226	<i>Sergentia longiventris</i> Kieffer	+							
227	Heleidae (Ceratopogonidae) sp.	+	+	+		+			+
228	<i>Atrichopogon</i> sp.		+						
Bivalvia									
229	<i>Dreissena polymorpha</i> Pall.	+		+	+	+		+	
230	<i>D. bugensis</i> Andr.			+		+			
231	<i>Unio</i> sp.	+	+		+			+	
232	<i>U. tumidus</i> Philipsson	+	+	+					
233	<i>U. (U.) pictorum ponderosus</i> Spitz in Rossmäessler	+	+	+		+			
234	<i>Anodonta</i> sp.	+	+	+					
235	<i>A. cygnea</i> (L.)		+	+					
236	<i>A. stagnalis</i> (Gmelin)		+						
237	<i>A. piscinalis</i> Nilsson = <i>A. anatina</i> (L.)		+	+					
238	<i>Batavusiana (Batavusiana) nana carnea</i> (Küster)	+							
239	Cycladidae sp.	+	+	+		+			
240	<i>Euglesa</i> sp.					+			
241	<i>E. pseudosphaerium</i> (Favre)					+			

Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ)

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮУАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Bivalvia									
242	<i>Choanomphalus riparius</i> (Westerlund)					+			
243	<i>Ch. rossmaessleri</i> (Auerswald)					+			
Gastropoda									
244	<i>Gastropoda</i> sp. juv.					+			
245	<i>Physa fontinalis</i> (L.)		+	+	+				
246	<i>Anisus</i> sp.	+				+			
247	<i>Ancylus fluviatilis</i> (O.F.M.)					+			
248	<i>Acroloxis lacustris</i> (L.)		+	+	+	+			
249	<i>Ferrissia</i> sp.			+					
250	<i>Valvata</i> sp.				+				
251	<i>Valvata pulchella</i> Studer					+			
252	<i>V. ambigua</i> Westerlund					+			
253	<i>V. depressa</i> C. Pfeiff.					+			
254	<i>V. planorbulina</i> Paladilhe					+			
255	<i>Lymnaea</i> sp.		+	+					
256	<i>L. auricularia</i> (L.)	+			+	+		+	
257	<i>L. intermedia</i> (Lamarck)					+			
258	<i>L. ovata</i> (Draparnaud)			+	+	+			
259	<i>L. patula</i> DaCosta	+			+				
260	<i>L. peregra</i> (O.F.M.)	+						+	
261	<i>L. lagotis</i> (Schranck)	+			+				
262	<i>Viviparus viviparus</i> (L.)	+			+	+			
263	<i>V. contectus</i> (Millet)								
264	<i>Bithynia tentaculata</i> (L.)	+			+				
265	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (L.)	+			+	+			
266	<i>Lithoglyphus naticoides</i> C.Pfeiff.	+				+			
267	<i>Planorbidae</i> sp.		+	+		+			
268	<i>Planorbarius</i> sp.	+							

Приложение 1

№	Таксоны	Техно-экосистемы							
		РАЭС	ХАЭС		ЧАЭС		ЮАЭС	ЗАЭС	
			1998, 1999, 2001 гг.	2005–2012 гг.	1979–1986 гг.	2002 г.	1997 г.	1995 г.	2011 г.
Bryozoa									
269	<i>Paludicella articulata</i> (Ehrenb.)	+	+			+			
270	<i>Plumatella emarginata</i> Allman			+	+	+		+	
271	<i>P. repens</i> L.								
272	<i>P. casmiana</i> Oka					+			
273	<i>P. fungosa</i> Pall.		+						
274	<i>Hyalinella punctata</i> (Hancock)					+			
275	<i>Crystatella mucedo</i> Cuvier				+	+			
276	<i>Fredericella sultana</i> (Blumenbach)					+			
Kamptozoa									
277	<i>Urnatella gracilis</i> Leidy					+		+	

Кроме того, в тексте встречаются и другие организмы, отмеченные в исследованных водных объектах энергетических станций:

Водоросли	
<i>Lyngbya putealis</i> Mont. <i>Cladophora glomerata</i> L. <i>Cladophora fracta</i> O.F.Müller ex Vahl	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (L.) Nees <i>Chaetomorpha henningsii</i> P. Richt.
Беспозвоночные	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F.Müller)	<i>Katamysis warpachowskyi</i> G.O.S.
<i>Acanthocyclops americanus</i> Marsh	<i>Ilyocoris cimicoides</i> (L.)
<i>Auloforus furcatus</i> (O.F.Müller)	<i>Tanypus punctipennis</i> Mg.
<i>Nais behningi</i> Michaelsen	<i>Tanytarsus holochlorus</i> Edwards
<i>Hypania invalida</i> (Grube)	<i>Ischnura elegans</i> (van der Linden)
<i>Hypaniola kowalevskii</i> (Grimm)	<i>Sinanodonta woodiana</i> (Lea)
<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)	<i>Ferrissia fragilis</i> (Tryon)
<i>Jaera sarsi</i> Valkanov	<i>Anissus albus</i> (O.F.Müller)
<i>Pseudocuma cercaroides</i> G.O.S.	<i>Melanoides tuberculata</i> (Müller)
<i>Schizorhynchus scabrisculus</i> (G.O.S.)	

**СПИСОК ТАКСОНОВ
БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ПОНТО-
КАСПИЙСКОГО КОМПЛЕКСА
В ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

№	Таксоны	Техно-экосистемы					
		РАЭС	ТрТЭС	ХАЭС	ЧАЭС	ЮУАЭС	ЗАЭС
			2001, 2004 гг.	2005— 2012 гг.	2002 г.	1997 г.	2011 г.
Coelenterata							
1	<i>Cordilophora caspia</i> (Pall.)					+	+
Polychaeta							
2	<i>Hypania invalida</i> (Grube)		+				
3	<i>Hypaniola kowalevskii</i> (Grimm)		+				
Crustacea							
4	<i>Jaera sarsi</i> Valkanov		+				
5	<i>Schizorhynchus scabrisculus</i> (G.O.S.)		+				
6	<i>Pseudocuma cercaroides</i> G.O.S.		+				
7	Mysidacea sp.		+		+		
8	<i>Limnomysis benedeni</i> Czerniavsky			+	+		
9	<i>Paramysis</i> (M.) <i>intermedia</i> (Czerniavsky)				+		
10	<i>Kotamysis warpachowskyi</i> G.O.S.		+				
11	Gammaridae sp.	+	+		+		
12	<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (Eichwald)		+		+		+
13	<i>Chaetogammarus ischnus</i> Stebbing		+		+		+
14	<i>Ch. warpachowskyi</i> (Sars)				+		
15	Corophiidae sp.					+	
16	<i>Corophium mucronatum</i> G.O.S.				+		
17	<i>Corophium curvispinum</i> G.O.S.		+		+		
18	<i>Corophium robustum</i> G.O.S.		+		+		
Mollusca							
19	<i>Dreissena polymorpha</i> Pall.	+	+	+	+		
20	<i>Dreissena bugensis</i> Andr.		+	+	+		

МШАНКИ (Bryozoa) КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОД

В.И. Гонтарь

Мшанки — колониальные животные, ведущие, как правило, прикрепленный образ жизни. В континентальных водах встречаются представители 2 надклассов мшанок — Покрыторотые (Phylactolaemata) и Голоротые (Gymnolaemata). Среди голоротых мшанок большинство составляют морские и солоноватоводные виды, но имеются семейства, обитающие и в пресных водах. Настоящими пресноводными мшанками можно считать только покрыторотых и два семейства ктеностомных (голоротых) мшанок (Paludicellidae и Hislopiidae). Величина колоний мшанок бывает от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Живые колонии могут весить от нескольких миллиграммов до нескольких килограммов. Зоарии могут проявлять полимофизм, форма колонии может зависеть также от ее возраста. Зооиды, из которых образована колония, состоят из 2 отделов — нежного и прозрачного полипида, и хитинизированного, желатинизированного или обызвествленного цистида (экзоскелета), куда втягивается полипид (таблица, 1, а—с).

Полипид несет венчик щупалец на щупальценосце — лофофоре. Большинство представителей Phylactolaemata обладает подковообразным лофофором с двойным рядом щупалец. У некоторых покрыторотых мшанок лофофор круглый или овальный; среди них примитивный вид *Fredericella sultana*. Щупальца у Phylactolaemata соединены внизу междщупальцевой перепонкой, они полые, снабжены наружным мерцательным эпителием; внутри венчика щупалец находится ротовое отверстие, которое только у Phylactolaemata прикрыто языкообразным выростом — эпистомом. Пищеварительный тракт петлеобразный, порошица находится вне венчика щупалец рядом с ротовым отверстием. За ротовым отверстием следует глотка, затем пищевод, расширенный мешкообразный желудок и тонкая кишка, заканчивающаяся порошицей. От дна желудка отхо-

дит тонкий канатик — фуникулюс, на котором образуются статобласты и семенники. Яичники и семенники диффузного типа, представлены небольшим скоплением оогониев и сперматогониев и не имеют выводных половых протоков. Яичники формируются на брюшной стороне, а семенники, кроме фуникулюса, — на стенке полипида.

Представители Phylactolaemata — гермафродиты. При половом размножении появляются свободноплавающие малозоиидные колонии (за исключением рода *Fredericella*). Прикрепленные колонии Phylactolaemata, а также Gymnolaemata (такие как *Paludicella* и *Victorella*) могут использовать т.н. «стратегию бега» («running strategy»), их колонии распространяются по субстрату, как бы «ползут» или стелятся по нему. Phylactolaemata, в основном, не способны менять место после того как колония прикрепилась к субстрату, но колонии *Cristatella* перемещаются на протяжении всей своей жизни, молодые колонии *Lophopus*, *Lophopodella* и *Pectinatella* также могут двигаться. Движение в этих родах часто связано с разделением колонии на части и последующим отделением друг от друга дочерних колоний. Phylactolaemata свойственен своеобразный способ размножения с помощью статобластов, представляющих собой продукт внутреннего почкования. Различают два основных типа статобластов: прикрепленные (сессобласты) и свободные (фрибласты). Фрибласты в свою очередь делятся на две основные группы: флотовласты и спинобласты. Сессобласты обычно имеют только развитую капсулу; флотовласты — капсулу и развитое плавательное кольцо; спинобласты — капсулу, плавательное кольцо и прикрепительный аппарат (шпы, крючки). Мелкие ячейки плавательного кольца заполнены газом. Наружная поверхность статобластов имеет тонкую скульптуру, которая недостаточно различима в световом микроскопе, специфичную для разных видов Phylactolaemata. Состав стенки капсулы статобластов — хитин, но более прочной модификации, чем содержащийся в кутикуле трубок зоариев. Размеры статобластов в настоящее время являются важнейшим систематическим признаком как для современных, так и ископаемых Phylactolaemata. При определении вида измеряется длина и ширина статобласта, рассчитывается их соотношение (L/B), а также отношение полярной ширины плавательного кольца к латеральной (боковой) ширине кольца (pol/lat). Статобласты некоторых видов филактолемат имеют различия в строении дорзальной и вентральной стороны. Для Phylactolaemata свойственна высокая степень колониальной изменчивости, поэтому желательно использовать для определения вместе с формой колонии и статобласты, особенно свободные.

Надкласс Gymnolaemata подразделяется на 2 класса: Stenolaemata (единственные представители из ныне живущих — исключительно морские, отряд Cyclostomata) и Eurystomata. Эвристомные мшанки — так же, как и филактолемные, — как правило, сидячие колониальные животные, представленные в континентальных водоемах двумя отрядами — Stenostomata и Cheilostomata (некоторые представители последнего отряда могут переносить опреснение или жить в солоноватоводных условиях). Венчик щупалец круговой, однорядный. Внутри него находится ротовое отверстие, а вне его — порошица. Целом включает два отдела — туловищный и щупальцевый. При втягивании переднего конца тела щупалец помещаются в полости тела в щупальцевом влагалище. Стенка тела у Stenostomata по сравнению с Phylactolaemata упрощена, состоит из хитиновой кутикулы, полигональных эпидермальных клеток и слоя перитонеума. У ктеностомных мшанок пищеварительная система усложнена также наличием жевательного желудка — гизарда, форма и размеры которого имеют таксономическое значение. Яичники, как правило, возникают на спинной стороне и перитонеуме полипида, семенники — на фуникулюсе и стенке цистиды, и обычно развиваются одновременно, хотя у некоторых видов выражена протерандрия, т.е. созревание мужских гонад происходит ранее женских. Внутреннее оплодотворение осуществляется перекрестно.

Оплодотворенные яйца могут выбрасываться в воду, но у большинства хейлостомных, ктеностомных и циклостомных мшанок их развитие до личиночной стадии происходит либо в целоме аутозооидов, либо в специальных выводковых камерах — овицеллах (у Cheilostomata). Для перенесения неблагоприятных условий, в первую очередь холодной зимы, некоторые виды пресноводных ктеностомных мшанок, в их числе *Paludicella* и *Victorella*, образуют стадии покоя — гибернакулы, представляющие собой автономные, замкнутые фрагменты трубок зоария, что представляет некоторую аналогию со статобластами Phylactolaemata. *Paludicella* может также продуцировать так называемые инкапсулированные почки (Брем, 2011).

Колония состоит из зооидов, которые могут быть обособленными друг от друга, но чаще соприкасаются стенками с соседними зооидами, или даже имеют обобщенные стенки цистидов. Связь между отдельными зооидами осуществляется или через поры, или у хейлостомных мшанок через более сложные структуры — поровые пластинки, или септулы, поровые камеры или диеталии, расположенные в стенках цистидов. Часто в колониях хейлостомных, и иногда ктеностомных мшанок, зооиды полиморфные, т.е. наряду с зооидами типичного строения — аутозооидами имеются видоизмененные морфологически, и физиологически специализированные — гетерозооиды, в их числе овицеллы, где происходит созревание половых продуктов, кенозооиды, несущие часто опорную функцию, авикулярии (защитная функция), вибраккулярии (повидимому, обеспечивающие ток воды над колонией) и некоторые другие типы.

Субстратом для мшанок служат камни, водные растения, затонувшая древесина, раковины моллюсков, панцири раков, а также другие объекты и подводные конструкции. Представители Gymnolaemata и Phylactolaemata питаются пищей, приносимой током воды, который создается ресничным аппаратом щупалец. Пища состоит из бактерий, одноклеточных водорослей, коловраток, простейших, мелких ракообразных. В связи с прозрачностью стенок полипида у аутозооидов цвет пищи может определять их окраску. Кроме того, окраска наблюдается в случаях симбиоза с бактериями и водорослями. Большинство Phylactolaemata предпочитают более или менее затененные местообитания, могут обитать в трубах в условиях темноты. Phylactolaemata, в основном, имеют положительный стереотаксис, хотя у некоторых видов и вариететов есть тенденция давать прямостоячие ветви, что указывает на обратный ответ по отношению к стереотаксису. Щупальца обладают отрицательным стереотаксисом и имеют тенденцию избегать касания друг друга и щупалец соседних лофофоров. Plumatellidae с толстой кутикулой могут в определенной степени противостоять осушению на короткий период. Температура воды — важный фактор среды, контролирующий рост и выживание колоний Phylactolaemata. Обычно в умеренных широтах колонии отмирают зимой, а развиваются весной из переживших зиму статобластов. Большинство видов умеренных широт имеют ежегодно два поколения колоний. Половое размножение происходит только один раз в году и длится в природе 3 или 4 недели. Половое размножение часто отсутствует в северном климате, бесполое почкование продолжается весь сезон роста во всех колониях.

Подобно другим прикрепленным животным, колонии Phylactolaemata служат местом для прикрепления и обитания многочисленных беспозвоночных, многие из которых питаются полипидами и статобластами. Мшанки могут образовывать совместные поселения с пресноводными губками. Мшанки мало используются рыбами как пищевой объект. Они могут выступать агентами биологических помех — развитие их колоний («трубный мох») значительно уменьшает просвет в трубопроводах, фрагменты колоний могут забивать разнообразные решетки и фильтры. Мшанки в ряде случаев, как активные фильтраторы, при обильном развитии играют определенную роль в самоочищении водоема.

МЕТОДЫ СБОРА И СОХРАНЕНИЯ В КОЛЛЕКЦИЯХ

Сбор зоариев, плавающих и прикрепленных статобластов проводится по общепринятой методике гидробиологических исследований перифитона, бентоса и планктона. Просмотр проб под бинокуляром, взятой любой посудой в прибойной зоне, особенно в зарослях макрофитов, дает возможность обнаружить статобласты и их фрагменты, а просмотр разного рода субстратов, извлеченных из воды — зоарии. Количественный учет проводится при снятии перифитона скребком с субстрата, или снятия другим способом с определенной площади.

Мшанок следует фиксировать спиртом 70 % или 4 % формалином, причем второе предпочтительней, если зоарии хитиновые, так как в спирте эти колонии и статобласты становятся хрупкими. Обыкновенные мшанки, наоборот, лучше хранятся в спирте. Крупные зоарии могут высушиваться на субстратах.

Существующий «Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Мшанки», изданный почти 20 лет назад, уже не отвечает современным требованиям в систематическом отношении и нуждается в усовершенствовании (Гонтарь, Виноградов, 1994). Имеется ряд исследований по экологии перифитона (Протасов, 1994; Скальская, 2002; Шаропова, 2008), но в них, в основном, рассмотрены экологические аспекты существования мшанок. Два определителя иностранных авторов (Mundy, 1980; Wood, Okamura, 2005) на английском языке малодоступны и редко используются в практике русскоязычными исследователями перифитона. Предложенный вниманию исследователей определитель мшанок континентальных вод содержит усовершенствованный ключ для определения, современные рисунки, включающие и электронные фотографии, соответствует современным представлениям о систематическом положении мшанок, которые играют важную роль в сообществах перифитона.

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА МШАНОК КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ

1. Зоарий с явно выраженной хитиновой кутикулой, темно-коричневый или просвечивающий, стекловидный, или желатинизированный. Зоарий состоит из трубочек, которые могут быть свободными, или близко расположенными, компактными, либо слившимися. Венчик щупалец на лофоре подковообразный, овальный или округлый (таблица, 1). Щупальца в нижней трети окружены межщупальцевой перепонкой, ротовое отверстие прикрывается эпистомом. Имеются статобласты.

Надкласс Покрыторотые Phylactolaemata Allman, 1856

4

- Зоарии мелкие, ветви очень тонкие, полупрозрачные, колония однорядная, в виде цепочки, отдельные цистиды аутозооидов удлинённой конусовидной или веретенообразной формы и разделены внутренними перегородками. Венчик щупалец на лофоре круглый. Эпистом отсутствует. Могут образовываться гибернакулы.

Надкласс Голоротые Gymnolaemata Allman, 1856

2

2. Кутикула цистиды у зооидов хитинизирована или желатинизирована, орифиций окружен воротничком (или колларом). Иногда воротничок отсутствует.

Отряд Гребнеротые *Ctenostomata* Busk, 1852

3

3. Ветви зоария тонкие, полупрозрачные, иногда блестящие. Нет трубчатых столон. Трубчатые аутозооиды могут быть ползущими или прямостоячими, и отделены друг от друга внутренними перегородками, ответвляются друг от друга под косым или почти прямым углом. Цистид не имеет шипов по краю отверстия, орифиций цистиды четырехугольный. Щупальцев от 10 до 20. Образуют покоящиеся почки с хитиновым покрытием (гибернакулы).

Семейство *Paludicellidae* Allman, 1885.Род Болотница — *Paludicella* Gervais, 1836.Болотница членистая — *Paludicella articulata* Ehrenberg, 1810 (таблица, 2—4)

- Четырехугольное отверстие цистиды с шипами на его углах.

Семейство *Hislopiidae* Jullien, 1885Род *Hislopia* Carter, 1858Хислопия пластинкообразная — *Hislopia placoides* (Korotneff, 1901) (таблица, 5)

4. Статобласты без прикрепительных образований (шипов, крючков). Зоарий прикрепленный к субстрату, ветвящийся или грибообразный. Лофофор округлый 5
 — Статобласты (спинобласты) с прикрепительными образованиями (шипами), свободно плавающие. Колония удлиненная, компактная, не прикрепленная к субстрату (ползающая). Зоарий не ветвящийся, желатинизированный. Лофофор подковообразный с двумя рядами щупалец 16
 5. Лофофор округлый, с одним рядом щупалец и эпистомом. Имеются только сессобласты. В сухом виде они выглядят гладкими и блестящими. Все сессобласты прикреплены к стенкам цистиды.

Семейство *Fredericellidae* Allman, 1856.Род *Fredericella* Gervais, 1836

6

- Имеются сессобласты и флотобласты. Зоарий ветвящийся или грибообразный. Лофофор подковообразный.

Семейство *Plumatellidae* Allman, 1856

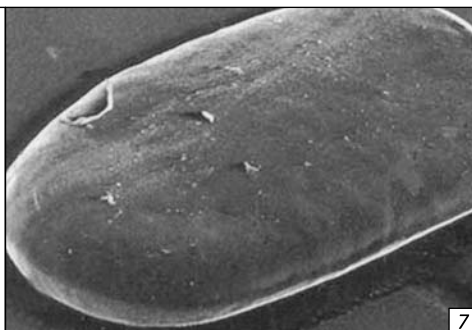
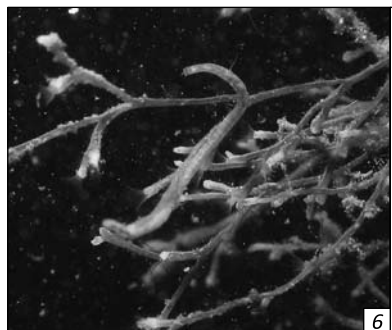
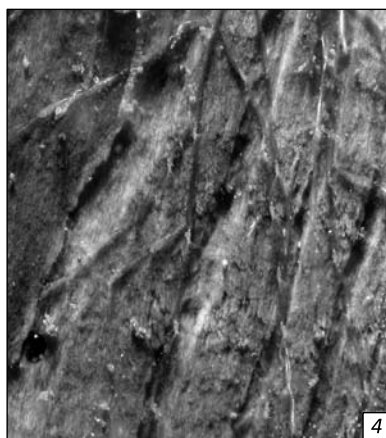
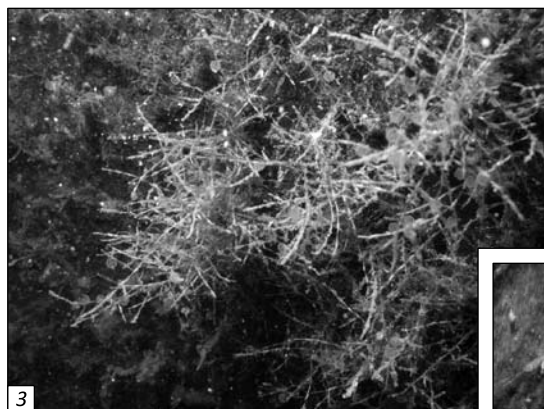
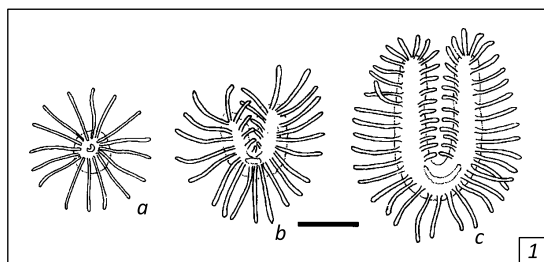
7

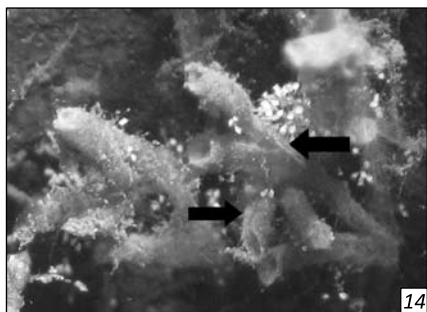
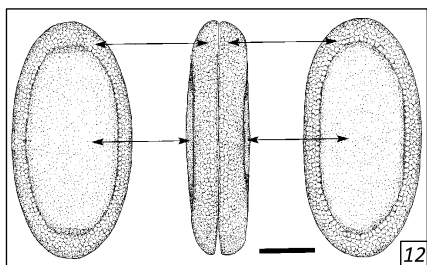
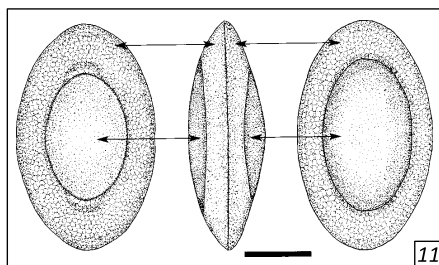
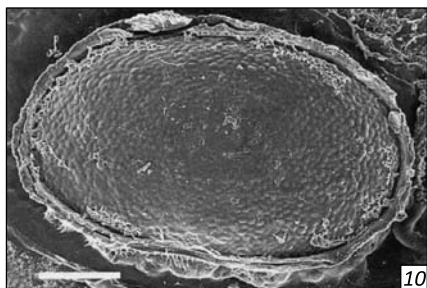
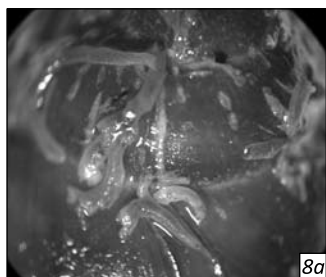
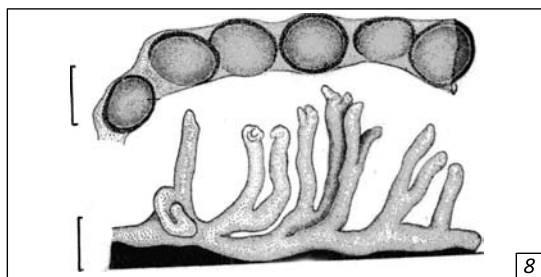
6. Зоарий ветвящийся, у начала ветви имеется септа. Щупалец от 16 до 28. Щупальца во втянутом положении выдаются за край цистиды. Статобласты (сессобласты) вытянутые, овальные или почковидные, или очень удлинённые, со светлой, тонкой, гибкой кутикулой. В сухом состоянии они гладкие и блестящие. Их диаметр почти соответствует внутреннему диаметру зооида. Форма и размер сессобласта зависит от ширины цистиды зооида.

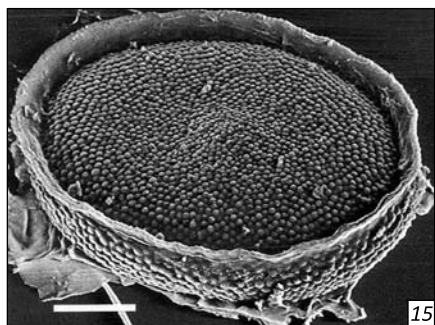
Фредерицелла венценосная — *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779) (таблица, 6, 7)

- У начала ветви колонии септа отсутствует. Колонии сначала прикреплены своим основанием, затем образуют вертикальные ветви в виде рогов или почти дихотомически ветвящиеся. Трубки зооидов более широкие, полипид более короткий, лофофор эллиптический или почти округлый, щупальца более короткие и не выдаются за край цистиды. Количество щупальцев от 24 до 30. Статобласты (сессобласты) округлые или широкоэллиптические ($L = 320\text{—}542$ мкм и $B = 320\text{—}370$ мкм), короче и шире, чем у *F. sultana*, гладкие, под электронным микроскопом с сетчатой структурой и центральным выдающимся узелком, с темной прочной кутикулой.

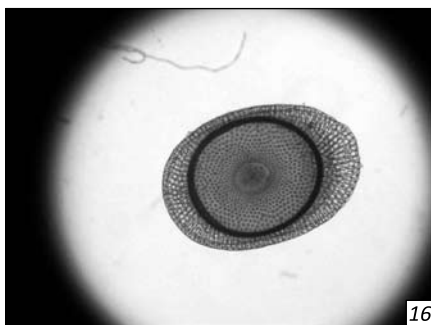
Фредерицелла южная — *Fredericella australiensis* Goddard 1909 (таблица, 8, 8a)



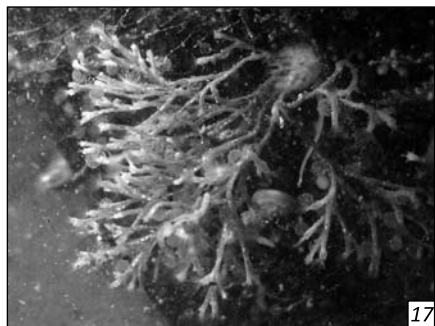




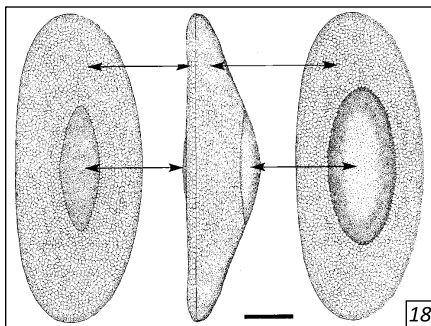
15



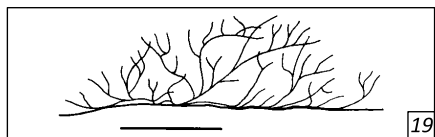
16



17



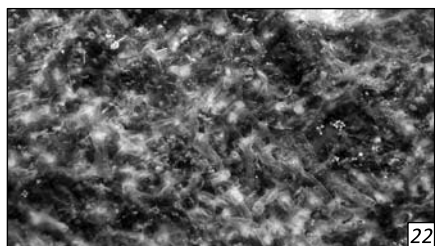
18



19



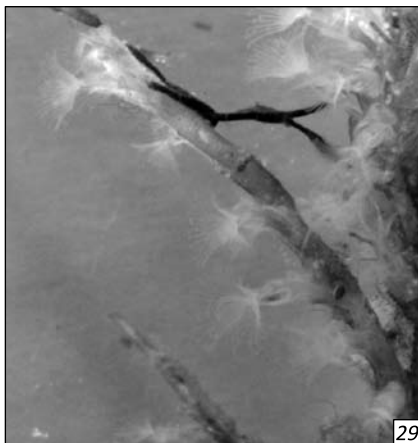
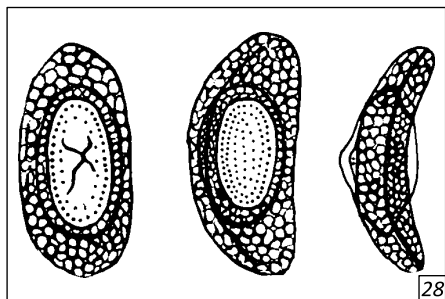
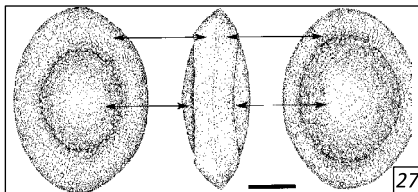
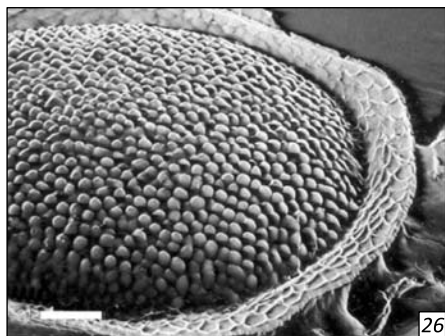
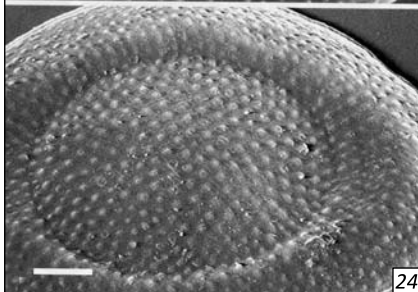
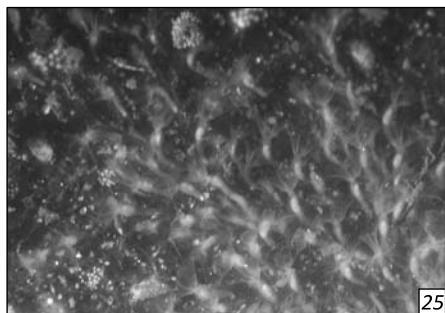
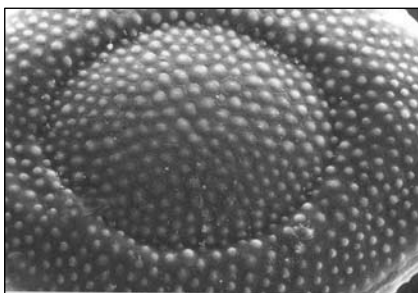
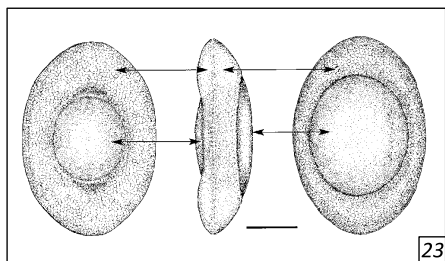
21

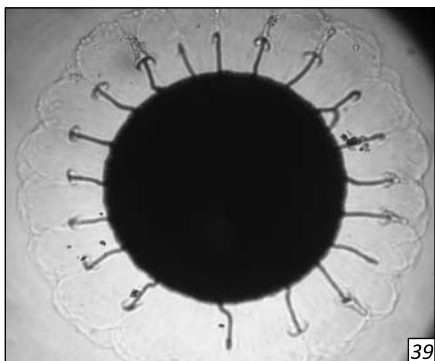
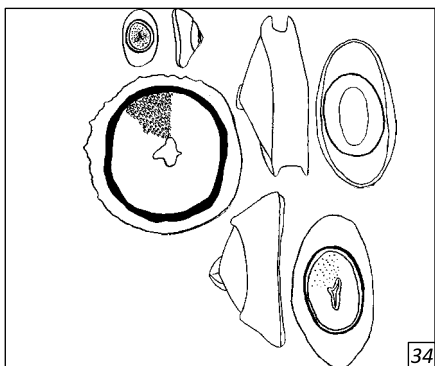
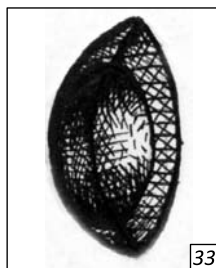
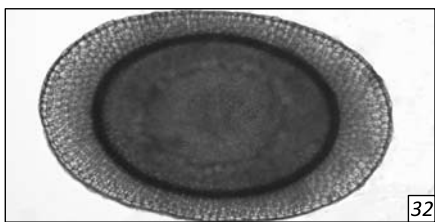
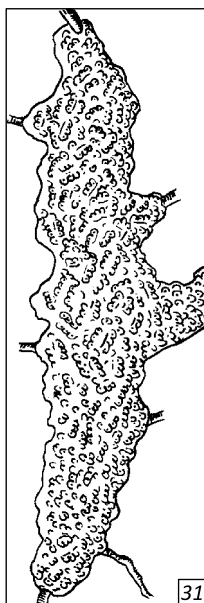
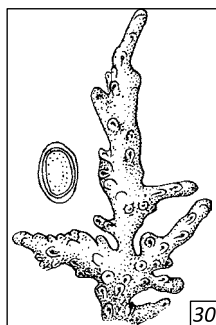


22



20





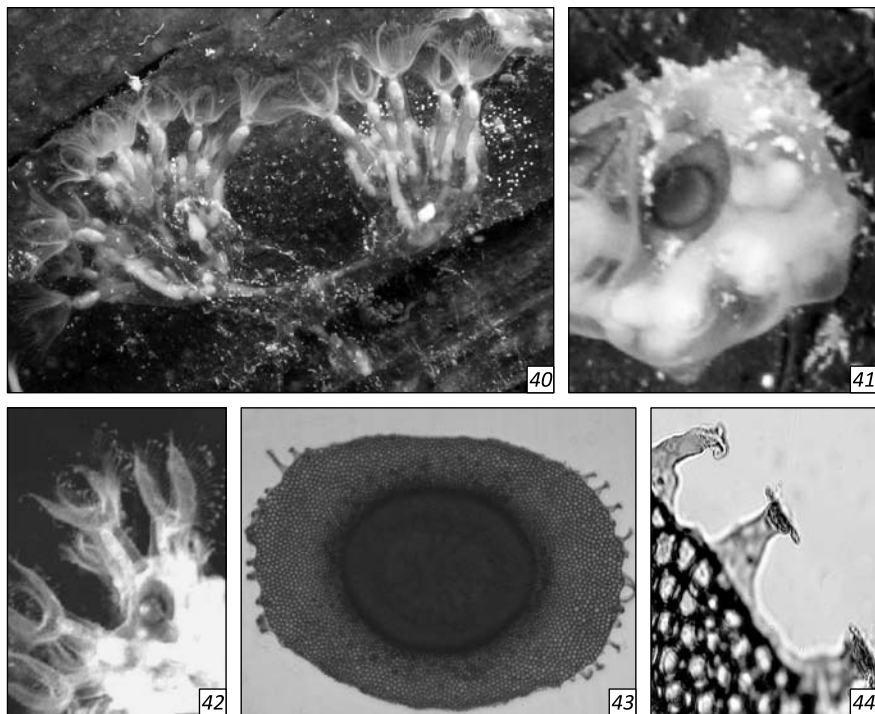


Таблица иллюстраций. 1 — венчик щупалец у *Fredericella* (a), *Plumatella* (b), *Cristatella* (c) (по Wood, Okamura, 2005); 2—4 — *Paludicella articulata*: различная форма колоний и форма зооидов (2 — по Т.А. Шараповой; 3, 4 — по М. van der Waaij); 5 — *Hislopia placoides*: колонии и форма зооидов; 6 — *Fredericella sultana*, колония (фото М. van der Waaij); 7 — *Fredericella sultana*, сессобласт (по Wood, Okamura, 2005); 8 — *Fredericella australiensis*: стабобласты и колония (по Rogick, 1945), 8a — колония (фото Л.В. Яныгиной); 9 — *Plumatella casmiana*: колония; 10 — сессобласт; 11, 12 — фрибласты (по Wood, Okamura, 2005); 13 — *Plumatella emarginata*: колония; 14 — стрелочкой указан край (margin) (фото М. van der Waaij); 15 — сессобласт (по Wood, Okamura, 2005); 16 — флотобласт (фото Л.В. Яныгиной); 17 — *Plumatella fruticosa*, колония (фото М. van der Waaij); 18 — *Plumatella fruticosa*, фрибласт (по Wood, Okamura, 2005); 19 — *Plumatella coralloides* (схема колонии по Mundy, 1980); 20 — *Plumatella coralloides*, флотобласт (фото А.В. Виноградова); 21 — *Plumatella fungosa*: колония грибовидной формы; 22 — колония стелется тонким слоем по субстрату («стратегия бега»); 23 — фрибласт (по Wood, Okamura, 2005), 24 — сессобласт (фото М. van der Waaij); 25 — *Plumatella repens*: колония (фото М. van der Waaij); 26 — *Plumatella repens*, сессобласт; 27 — *Plumatella repens*, фрибласт (по Wood, Okamura, 2005); 28 — *Austrellella indica*, стабобласты; 29 — *Hyalinella punctata*, колония (фото М. van der Waaij); 30 — *Hyalinella minuta*: колония и рядом с колонией увеличенный фрибласт; 31 — *Austrellella indica*, колония; 32 — *H. punctata*, фрибласт (фото Т.А. Шараповой); 33 — *Austrellella indica*, фрибласт; 34 — *Gelatinella toanensis*, спинобласты; 35 — *Cristatella muscoides*: колония со спинобластами; 36 — молодая колония; 37 — спинобласт; 38 — шип спинобласта (по Wood, Okamura, 2005); 39 — спинобласт (фото М. van der Waaij); 40 — *Lophopus cristallinus*: две колонии, недавно отделившиеся друг от друга, возникшие из одной материнской колонии; 41 — *Lophopus cristallinus*, спинобласт в центре снимка (фото М. van der Waaij); 42 — *Lophopodella carteri*, колония; 43 — *Lophopodella carteri*, спинобласт; 44 — *Lophopodella carteri*, шип спинобласта (по Ю.О. Санжак и др., 2011). Масштаб 0,1 мм

7. Кутикула зооидальных трубок не желатинизирована. Колонии ветвящиеся или грибовидные.

Род *Plumatella* Lamarck, 1816

8

- Кутикула трубок желатинизирована. Колонии линейные, радиальные или компактные пузыревидные, желатинизированные, бесцветные, изредка коричневатые.

Род *Hyalinella* Jullien, 1885

14

8. Колония компактная, с короткими, густо ветвящимися трубочками, может быть полупрозрачной или матовой. Аутозооиды по всей своей длине прикреплены к субстрату, но при большой плотности могут быть вертикальными. Лофофор относительно небольшой, с менее чем 30 щупальцами. Имеются сессобласты и флотобласты, последние с тонкой пленчатой кутикулой (лептобласты). Средние размеры флотобластов составляют: длина — 370 мкм, ширина — 245 мкм, индекс L/B — 1,51.

Плюмателла касмиана — *Plumatella casmiana* Oka, 1907 (таблица, 9—12)

- Имеются только флотобласты с прочной хитиновой кутикулой 9

9. Флотобласты сильно вытянутые, отношение длины к ширине (L/B) более 1,65 10

- Флотобласты широко овальные, L/B менее 1,5 11

10. L/B флотобласта от 2,0 до 2,8. Дорзальная сторона флотобластов не сильно отличается от вентральной. Сбоку флотобласт выглядит как невысокое куполовидное образование. Колония с длинными, тонкими, свободными ветвями. Аутозооиды удалены друг от друга.

Плюмателла кустистая — *Plumatella fruticosa* Allman, 1844 (таблица, 17, 18)

- L/B флотобласта = 1,65. Дорзальная сторона флотобласта почти плоская, а вентральная сильно выпуклая и немного больше дорзальной. На дорзальной стороне плавательное кольцо с мелкой пузырьковидной структурой сильно заходит на капсулу, кольцо серебристое. Колонии могут быть компактными, или ветвистыми со свободными ветвями.

Плюмателла окаймленная — *Plumatella emarginata* Allman, 1844 (таблица, 13—16)

11. L/B флотобласта равно 1,4 12

- L/B флотобласта 1,3—1,4, чаще 1,3. Сбоку дорзальная и вентральная стороны флотобласта почти одинаково выпуклые. Имеются сессобласты с сетчатой структурой плавательного кольца. Трубочки (цистиды зооидов) колонии прикреплены к субстрату на большей части своей длины. Стенки колонии прозрачные с легкой инкрустацией.

Плюмателла ползучая — *Plumatella repens* (L., 1758) (таблица, 25—27)

12. Зоарий обычно имеет кустовидные выросты. Средние размеры флотобластов *Plumatella coralloides* составляют: длина — 340 мкм, ширина — 245 мкм, индекс L/B — 1,39—1,40.

Плюмателла кораллоидная — *Plumatella coralloides* Allman, 1850 (таблица, 19, 20)

- Статобласты округло-овальные. У флотобластов дорзальная сторона равномерно покрыта мелкими пузырьковидными образованиями. Имеются сессобласты с хорошо развитым плавательным кольцом и покрытые мелкими выростами (tubercles). Зоарий (взрослый) крупный, компактный, грибовидный, губкообразный, вначале прозрачный, затем становится янтарного цвета, позднее корич-

невеет. Молодые колонии могут стелиться по субстрату (running strategy), либо ветвиться близко к субстрату. Цистиды у зооидов могут сливаться.

Плюмателла грибовидная — *Plumatella fungosa* (Pallas, 1768) (таблица, 21—24)

13. Флотобласты округло-овальные, дисковидные, почти одинаковые с дорзальной и вентральной стороны **14**

— Флотобласты округло-овальные, с различной дорзальной и вентральной стороной **15**

14. Лофофор подковообразный с двумя рядами щупалец. Сессобласты имеются. Размер флотобластов значительно варьирует (L от 0,23 до 0,50 мм). Множественное почкование не обязательно приводит к образованию ветвей, а зооиды из различных почкующихся рядов могут сосуществовать в одной ветви.

Род Стекловидка *Hyalinella* Jullien, 1885

Хиалинелла точечная — *Hyalinella punctata* Jullien, 1885 (таблица, 29, 32)

— Сессобласты не обнаружены (возможно имеются, но редко встречаются), флотобласты мелкие (265—300 мкм), зооии найдены только компактные. Встречаются на Дальнем Востоке.

Хиалинелла малая — *Hyalinella minuta* Toriumi, 1955 (таблица, 30)

15. Флотобласты с якоревидным шипом в центре на капсуле статобласта.

Род *Gelatinella* Toriumi, 1955.

— Якоревидный шип с крючками расположен перпендикулярно поверхности капсулы спинобласта. Колония *Gelatinella toanensis* отличается сложными ветвями, каждая из которых состоит осевой ветви, составленной рядом первых зооидов и низких боковых мелких веточек.

Желатинелла тоанская — *Gelatinella toanensis* (Hozawa et Toriumi, 1940) (таблица, 34)

— Флотобласты изогнутые в дорзо-вентральном направлении, чашевидные (длина 460 мкм и ширина 290 мкм, длина капсулы 250 мкм и ширина 187 мкм). Колония состоит из широких ветвей. Цистид ослизненный, бесцветный. Полипид крючковидный, маленький. Щупалец 40—50. Встречается на Дальнем Востоке.

Род *Austrellella*

Австралелла индийская — *Austrellella indica* Annandale, 1915 (таблица, 28, 31, 33)

16. Спинобласты круглые, примерно 1 мм в диаметре, снабжены двумя кольцами шипов. От центральной капсулы по обе стороны плавательного кольца отходят шипы с крючками, одно кольцо дорзальное, одно вентральное. Зооии свободно ползающий, гусеницевидный (ценозоеций), билатерально симметричный. Колония состоит обычно по краям из двух-трех рядов полипидов, окружающих прозрачное пространство внутри ценозоеция. Внутри ценозоеция могут также просвечивать формирующиеся спинобласты.

Семейство *Cristatellidae* Allman, 1856.

Род Хохлатка — *Cristatella* Cuvier, 1798

Хохлатка слизистая — *Cristatella mucedo* Cuvier, 1798 (таблица, 35—39)

— Колонии маленькие. Шипы располагаются преимущественно на полюсах спинобласта, по периметру плавательного кольца.

17. Колония простирается по субстрату, веерообразная. Лофофор подковообразный с двумя рядами щупалец. Спинобласт овальной формы, но сбоку кажется веретеновидным, так как оба полюса по периметру спинобласта вытянуты в заостренный шип, краевые крючки на шипах отсутствуют.

Род Подковник — *Lophopus Dumotier, 1835*

Подковник кристалльный — *Lophopus crystallinus (Pallas, 1768)* (таблица, 40, 41)

- Колония мешковидная, иногда шарообразная или дольчатая. Лофофор подковообразный. Спинобласт широко овальной формы, кажется седловидным сбоку, с слегка усеченными или широко округлыми полюсами. Каждый полюс спинобласта с несколькими шипами (от 6 до 10), несущими обычно крючки (1—4 пары).

Род Подкововидка — *Lophopodella Rousselet, 1904.*

Подкововидка Картера — *Lophopodella carteri (Hyatt, 1866)* (таблица, 42—44)

Брем А. Жизнь животных. М.: АСТ, 2011. 1568 с.

Гонтарь В.И., Виноградов А.В. Мшанки / Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1: Низшие беспозвоночные. СПб.: Наука, 1994. С. 140—144. Табл. 105—111.

Санжак Ю.О., Ляшенко А.В., Гонтарь В.И. Первая находка пресноводной мшанки *Lophopodella carteri* Hyatt, 1866 (Phylactolaemata) в Килийской дельте Дуная. Российский журн. биол. инвазий, 2011. № 4. С. 43—48.

Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск, 2002. 255 с.

Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наук. думка, 1994. 305 с.

Шарапова Т.А. Состав и распределение мшанок Тюменской области / «Человек и Север: Антропология, археология, экология»: Материалы всерос. конф., г. Тюмень, 24—26 марта 2009 г. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2008. Вып. 1. 382 с.

Mundy S.P. British and European Freshwater Bryozoans. Freshwater Biol. Assoc., Sci. publ., 1980. N. 41. 32 p.

Rogick M.D. Studies on fresh-water Bryozoa. 16. *Fredericella australiensis* var. *browni* n. var. Biol. Bull. 1945. V. 89. Woods Hole. P. 215—228.

Wood T.S., Okamura B. A new key to the freshwater bryozoans of Britain, Ireland and continental Europe, with notes on their ecology. Freshwater Biol. Assoc., Sci. publ., 2005. N 63. 113 p.

- Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан. Активные поверхности и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 192 с.
- Акатов В.В. 60 лет теории динамического равновесия островной биогеографии: проблемы тестирования, результаты полевых исследований, прикладное значение // Журн. общ. биол. 2012. Т. 73, № 3. С. 163—182.
- Алеев Ю.Г. Экоморфология. Киев: Наук. думка, 1986. 423 с.
- Алеев Ю.Г. Топологические категории и экоморфы гидробионтов // Гидробиол. журн. 1990. Т. 26. № 1. С. 3—7.
- Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двусторчатых моллюсков. Л.: Наука, 1981. 248 с.
- Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
- Алтунин В.С., Белавцева Т.М. Контроль качества воды. М.: Колос, 1993. 367 с.
- Астраускас А.С., Рачюнас Л.А. Гидробиологический режим водохранилища-охладителя Литовской ГРЭС // Гидробиол. журн. 1975. Т. 9, № 1. С. 19—27.
- Афанасьев С.А., Протасов А.А. Особенности популяции дрейссены в перифитоне водоема-охладителя АЭС // Гидробиол. журн. 1987. Т. 23, № 6. С. 44—51.
- Афанасьев С.А., Слепнев А.Е., Панькова Н.Г., Волков В.В. Зообентос водоемов-охладителей ТЭС юго-востока Украины // Гидробиол. журн. 1993. 68 с. Деп. в ВИНТИ 13.05.93. № 1273-В93.
- Баканов А.И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М., 1997. С. 278—282.
- Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Нарушение стратификации водоемов как источник их загрязнения // Природо-

- обустройство и экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации. М.: МГУП, 1999. С. 60—61.
- Безносков В.Н., Суздалева А.Л.* Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов // Антропогенное влияние на водные экосистемы. М.: Тов-во научных изданий КМК. 2005. С. 120—128.
- Беклемишев В.Н.* Организм и сообщество (К постановке проблемы индивидуальности в биоценологии) // Тр. Биол. науч.-исслед. ин-та и Биол. ст. при Пермском ун-те. 1928. Т. 1, вып. 2—3. С.127—14.
- Беклемишев В.Н.* О классификации биоценологических (симфизиологических) связей // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1951. Т. 56, № 5. С. 3—30.
- Беклемишев В.Н.* Биоценозы реки и речной долины в составе живого покрова Земли // Тр. ВГБО. 1956. Т. VII. С. 77—97.
- Беклемишев В.Н.* Об общих принципах организации жизни // Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1964. Т. 69. Вып. 2. С. 22—38.
- Бенинг Л.* К изучению придонной жизни реки Волги // Монографии Волжской биологической станции. Саратов. 1924. 398 с.
- Богоров В.Г.* Планктон Мирового океана. М.: Наука, 1974. 320 с.
- Богоров В.Г., Зенкевич Л.А.* Биологическая структура океана // Экология водных организмов. М.: Наука, 1966. С. 3—14.
- Брайко В.Д.* Обращение в Черном море. Киев: Наук. думка, 1985. 123 с.
- Бурковский И.В.* Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ (на примере беломорской песчаной литорали). М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1992. 208 с.
- Бурковский И.В.* Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2006. 285 с.
- Васенко А.Г.* Зообентос озера Лиман и влияние на него сбросных подогретых вод Змиевской ГРЭС: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Киев, 1979. 22 с.
- Васенко О.Г.* Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці. Харків: УкрНДІЕП, 2000. 243 с.
- Величко И.М.* Продукция перифитона и зеленых нитчатых водорослей // Мелководья Кременчугского водохранилища. Киев: Наук. думка, 1979. С. 133—146.
- Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1987. 339 с.
- Вернадский В.И.* Живое вещество и биосфера. М.: Мысль, 1994. 672 с.
- Викторов А.С.* Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 178 с.
- Водна Рамкова Директива ЕС 2000/60/ЕС.* Основні терміни та їх визначення. К.: Б. в., 2006. 240 с.
- Водоем-охладитель* Ладыжинской ГРЭС. Киев: Наук. думка, 1978. 132 с.
- Воликов Ю.Н., Ляшенко А.В., Слепнев А.Е.* Зооперифитон водных объектов зоны влияния Южно-Украинского энергокомплекса (ЮУЭК) // Современные пробл. гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований: Материалы Междунар. науч. конф. Херсон, 2006. С. 34—37.
- Воликов Ю.Н., Ляшенко А.В., Слепнев А.Е.* Оценка качественных показателей развития макрозооперифитона водных объектов зоны влияния Южно-Украинского энергокомплекса (ЮУЭК) // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы III Междунар. науч. конф., Минск — Нарочь, 17—22 сент. 2007 г. Минск: Изд-во Центр БГУ, 2007. С. 209.
- Воронин М.Ю., Ермохин М.В.* Сообщества макрозообентоса в градиенте температуры водоема-охладителя Балаковской АЭС // Поволжский экол. журн. 2005. № 3. С. 207—213.

- Герд С.В. Биоценозы бентоса больших озер Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карело-Финского гос. ун-та, 1949. 197 с.
- Гидробиологическая, гидрохимическая и гидрологическая характеристики водоема-охладителя Криворожской ГРЭС / Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.А и др. 1988. 162 с. Деп. в ВИНТИ, № 9005-B88.
- Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред. М.Ф. Поливанная. Киев: Наук. думка, 1991. 191 с.
- Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / Отв. ред. М.А. Шевченко. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
- Гладышев М.И. Нейстон континентальных водоемов (Обзор) // Гидробиол. журн. 1986. Т. 22. № 5. С. 12—19.
- Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов / Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. СПб.: Наука, 2012. 369 с.
- Дрейссена. Систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. 240 с.
- Дьяченко Т.Н., Насвит О.И. Макрофиты водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 3. С. 9—14.
- Егоров Ю.А., Леонов С.В., Погребняк В.Н. Анализ гидрологических процессов и состояния экосистем водоемов-охладителей при обосновании экологической безопасности АЭС // Экология регионов атомных станций. 1999. Вып. 2. С. 106—140.
- Иванова М.Б. Изучение воздействия абиотических факторов среды на развитие гидробионтов в озерах и значение сравнительно-лимнологических исследований // Продукционно-гидробиологические исследования. Л.: Наука, 1987. С. 35—44.
- Жадин В.И. Донная фауна Волги от Свияги до Жигулей и ее возможные изменения // Сб. работ по проблеме реконструкции фауны Волги / Тр. ЗИН АН СССР. 1948. Т. 8. Вып. 3. С. 413—466.
- Жадин В.И. Общие вопросы, основные понятия и задачи гидробиологии // Жизнь пресных вод СССР / Ред. Е.Н. Павловский, В.И. Жадин. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 3. С. 7—112.
- Жукова И.В., Остапеня А.П. Влияние на экосистему Нарочанских озер вселенца моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha* Pallas // Озерные экосистемы: Материалы II науч. конф., Минск — Нарочь, 20—26 сент. 2003 г. Минск: Изд-во центр БГУ, 2003. С. 438—440.
- Зайцев Ю.П. Морская нейстонология. Киев: Наук. думка, 1970. 264 с.
- Зайцев Ю.П. Контуробионты в мониторинге океана // Комплексный глобальный мониторинг Мирового океана: Тр. Междунар. симп. Л.: Гидрометеиздат, 1985. Т. 2. С. 76—83.
- Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. Одесса: Эвен, 2006. 224 с.
- Зайцев Ю.П. Сообщество микроорганизмов поровых вод песчаных пляжей Черного моря. Факты и гипотезы // Мікробіологія і біотехнологія. 2008. № 2 (3). С. 8—19.
- Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / Ред. А.Ф. Алимов, М.Б. Иванова. М.: Научный мир, 2004. 296 с.
- Зарубін О.Л. Проблема поводження з водоймою-охолоджувачем після закриття ЧАЕС // Бюл. екол. стану зони відчуження. 2001. № 2 (20). С. 17—21.
- Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2005. 432 с.
- Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В. Морские техноэкосистемы энергетических станций. Владивосток: Дальнаука, 2010. 343 с.

- Здановский Б.З., Протасов А.А., Афанасьев С.А., Сеницына О.О. Структурные и функциональные особенности группировок бентоса и перифитона Конинских озер // Гидробиол. журн. 1996. Т. 32, № 1. С. 36—48.
- Зенкевич Л.А. О задачах, объекте и методе морской биогеографии // Зоол. журн. 1947. Т. 26, № 3. С. 201—220.
- Зернов С.А. Общая гидробиология. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 587 с.
- Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Протасов А.А., Сеницына О.О. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС // Гидробиол. журн. 1998. Т. 32, № 1. С. 15—25.
- Каратаев А.Ю., Бурлакова Л.Е. Роль дрейссены в озерных экосистемах // Экология. 1995. № 3. С. 232—236.
- Каратаев А.Ю., Каратаева И.В. Влияние сброса теплых вод на макрозообентос литорали водоема-охладителя // Вестн. Белорус. ун-та. 1987. Сер. 2. № 1. С. 46—49.
- Каратаев А.Ю., Тищиков Г.М. Взаимоотношение *Dreissena polymorpha* Pallas и Unionidae в озерных экосистемах // Биол. основы освоения, реконструкции и охраны живот. мира Белоруссии: Тез. докл. IV зоол. конф., 20—21 дек. 1983 г. Минск, 1983. С. 10—11.
- Карашев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 416 с.
- Кафтанникова О.Г. Беспозвоночные каналов СССР. Киев: Наук. думка, 1975. 164 с.
- Кафтанникова О.Г., Коробейников В.Л., Калиниченко Р.А. та ін. Санітарно-біологічний режим водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС // Вісн. АН УРСР. 1982. № 3. С. 86—93.
- Кафтанникова О.Г., Протасов А.А. Зоологические обрастания бетонных сооружений в районе сброса подогретых вод тепловой электростанции // Освоение теплых вод энергетических объектов. Киев: Наук. думка, 1979. С. 112—116.
- Кафтанникова О.Г., Протасов А.А. Влияние подогретых сбросных вод тепловой электростанции на развитие зооперифитона // Гидробиол. журн. 1980. Т. 16, № 4. С. 87—88.
- Кафтанникова О.Г., Протасов А.А., Сергеева О.А. и др. Экология водоема-охладителя атомной электростанции // Гидробиол. журн. 1987. 96 с. Деп. в ВИНТИ 03.04.87, № 4553-87.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 395 с.
- Коргина Е.М., Мордухай-Болтовской Ф.Д. Влияние подогретых вод Конаковской ГРЭС на личинок хирономид Ивановского водохранилища // Гидробиол. журн. 1979. Т. 15, № 2. С. 47—51.
- Курашов Е.А. Мейобентос как компонент озерной экосистемы. СПб.: Алга-Фонд, 1994. 224 с.
- Лукашев Д.В. Современное состояние популяций дрейссены в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. 2001. Т. 37, № 3. С. 40—45.
- Лукашев Д.В. Особенности распределения *Dreissena polymorpha* Pallas и *Dr. bugensis* Andr. в перифитоне водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: Материалы докл. Междунар. симп., Тюмень, 3—5 февр., 2003 г. Тюмень: Опцион ТМ-Холдинг, 2003. С. 38—39.
- Лукашев Д.В., Северенчук Н.С. Изменение структуры макрозообентоса водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в условиях уменьшения тепловой нагрузки на экосистему // Гидробиол. журн. 2004. Т. 40, № 4. С. 64—72.

- Лукашенко Н.С. Оценка воздействия антропогенного фактора на теплозапас Каневского водохранилища // Метеорологія, кліматологія і гідрологія. 2008. Вип. 50. С. 341—343.
- Ляшенко А.В. Слепнёв А.Е. Находка *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) в водоеме-охладителе Южно-Украинской атомной электростанции // Эколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження молюсків, їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища. Зб. наук. праць. Житомир: Вид-во Житомир. пед. ун-ту, 2006. Вип. 2. С. 187—190.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. К.: Логос, 2006. 408 с.
- Михаевич Т.В. Питание мшанки *Plumatella fungosa* из системы водоема-охладителя Березовской ГРЭС // Биол. ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря: Материалы 22-й конф. по изучению водоемов Прибалтики. Вильнюс. 1987. С. 127—128.
- Модельні групи безхребетних тварин як індикатори радіоактивного забруднення екосистем / П.Г. Балан, Р.В. Вексларський, Ю.Г. Вервес та ін. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 204 с.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Формы воздействия тепловых и атомных электростанций на жизнь водоемов: Материалы II симп. «Влияние тепловых электростанций на гидрологический и биологический режим водоемов». Борок, 1974. С. 107—110.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов // Экология организмов водохранилищ-охладителей. Л.: Наука, 1975. С. 7—69.
- Мощенко А.В. Роль микромасштабной турбулентности в распределении и изменчивости бентосных животных. Владивосток: Дальнаука, 2006. 321 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Оксиук О.П. К вопросу о типизации каналов // Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев: Наук. думка, 1976. С. 13—33.
- Оксиук О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А., Плигин Ю.В., Ляшенко А.В. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон, зоофитос // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, № 4. С. 31—35.
- Остапеня А.П. Деэвтрофикация или бентификация? // Озерные экосистемы. Материалы III Междунар. конф. Минск — Нарочь, 17—22 сент. 2007 г. Минск: Изд-во центр БГУ. 2007. С. 31—32.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 188 с.
- Пидгайко М.Л., Гринь В.Г., Поливанная М.Ф., Виноградская Э.А., Сергеева О.А., Петрук Г.Ф., Бабко М.Н. Гидробиологический режим водоемов-охладителей ТЭС Украины // Гидробиол. журн. 1967. Т. 3, № 5. С. 81—92.
- <п>Пикун Н.В. Влияние сбросных вод Трипольской ГРЭС на термический режим Днепра // Гидробиол. журн. 1975. Т. 11, № 1. С. 79—81.
- Плигин Ю.В. Формирование и современное состояние макрозообентоса Каневского водохранилища // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 5. С. 24—44.
- Порядок разработки регламента гидробиологического мониторинга водоема-охладителя, систем охлаждения и системы технического водоснабжения АЭС с реакторами типа ВВЭР: Методические указания. Стандарт предприятия. СТП 0.03.088.-2010 ГП НАЭК «ЭНЕРГОАТОМ». Киев, 2010. 48 с.
- Протасов А.А. Некоторые закономерности развития зоообрастания на Каневском водохранилище в районе Трипольской ГРЭС // Биол. повреждения промышленных и строительных материалов. Киев: Наук. думка, 1978. С. 117—122.

- Протасов А.А. Динамика видового богатства зооперифитона на экспериментальных субстратах в условиях влияния подогретых вод ТЭС // Гидробиол. журн. 1979. Т. 15, № 4. С. 47—49.
- Протасов А.А. К вопросу о распределении *Urnatella gracilis* Leidy в связи со сбросами подогретых вод теплоэлектростанциями // Зоол. журн. 1980. № 10. С. 1569—1571.
- Протасов А.А. Влияние вод, подогретых электростанциями на зооперифитон // Докл. МОИП. Сер. Биология. 1981. Вып. 5. С. 72—73.
- Протасов А.А. Методы исследования перифитона // Гидробиол. журн. 1987. 35 с. Деп. в ВИНТИ, N 2164-B87.
- Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наук. думка, 1994. 307 с.
- Протасов А.А. Распространение *Urnatella gracilis* Leidy в связи со сбросами подогретых вод // Вестн. зоологии. 1996. № 4—5. С. 35—38.
- Протасов А.А. Фенотипическое разнообразие популяции *Dreissena polymorpha* в озерной системе, используемой в качестве охладителя // Вестн. зоологии. 2002. Т. 36, № 4. С. 23—33.
- Протасов А.А. О топических отношениях и консортивных связях в сообществах. Сибирский экол. журн. 2006. № 1. С. 97—103.
- Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология / Институт гидробиологии НАНУ. Киев, 2008. 106 с.
- Протасов А.А. О структуре и задачах технической гидробиологии // X съезд Гидробиол. об-ва при РАН: Тез. докл., г. Владивосток, 28 сент. — 03 окт. 2009 г. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 326—327.
- Протасов А.А. О структуре фундаментальной и прикладной гидробиологии. Морской экол. жур. 2010. Т. IX, № 3. С. 5—13.
- Протасов А.А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академ-периодика, 2011. 704 с.
- Протасов А.А. О взаимосвязи разнообразия со структурными показателями сообществ гидробионтов // Биол. внутр. вод. 2012. № 4. С. 5—10.
- Протасов А.А., Афанасьев С.А. Изменения структуры сообществ перифитона водоема-охладителя АЭС за трехлетний период исследования / Проблемы экологии Прибайкалья. Иркутск, 1982. С. 107—108.
- Протасов А.А., Стародуб К.Д., Афанасьев С.А. Водолазный метод исследования пресноводного перифитона // Гидробиол. журн. 1982. № 4. С. 91—93.
- Протасов А.А., Афанасьев С.А., Иванова О.О. Распределение и роль дрейссены полиморфной в перифитоне водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Моллюски: Систематика, экология, закономерности распространения. Л.: Наука, 1983а. С. 120—122.
- Протасов А.А., Стародуб К.Д., Афанасьев С.А. Видовой состав зооперифитона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. 1983б. № 2. С. 51—55.
- Протасов А.А., Афанасьев С.А. О пространственных типах поселений дрейссены в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Журн. общ. биологии. 1984. № 2. С. 282—287.
- Протасов А.А., Синицына О.О., Коломиец А.В. Метод изучения кислородного метаболизма сообществ перифитона на крупномасштабных подводных субстратах // Булл. ИБВВ. 1987. № 76. С. 62—65.
- Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. Экологическая характеристика водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС // Гидробиол. журн. 1988. Деп. в ВИНТИ, N1730-B88. С. 17.

- Протасов А.А., Синицына О.О. О пространственной структуре перифитона // Гидробиол. журн. 1996. Т. 32, № 2. С. 11—22.
- Протасов А.А., Синицына О.О., Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Силаева А.А., Голубкова Е.Н. Планктон, бентос и перифитон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиол. журн. 2000. Т. 36, № 1. С. 14—29.
- Протасов А.А., Силаева А.А., Кошелева С.И., Калиниченко Р.А. Оценка качества воды и характеристика планктона и бентоса водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2001. Т. 2. С. 657—665.
- Протасов А.А., Силаева А.А., Лукашев Д.В. Изменения в составе и структуре зообентоса пруда-охладителя Чернобыльской АЭС // Биоразнообразие и роль зооценозов в естественных и антропогенных экосистемах: Материалы II Междунар. конф., Днепрпетровск, 28—31 окт. 2003 г. Днепрпетровск: Изд-во Днепрпетров. ун-та, 2003. С. 73—75.
- Протасов А.А., Силаева А.А. Сообщества беспозвоночных водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. Сообщение 2. Сообщества зооперифитона, их состав и структура // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 6. С. 13—26.
- Протасов А.А., Силаева А.А., Кошелева С.И. К оценке качества воды в р. Стырь в зоне Ровенской АЭС // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2005. Т. 8. С. 130—138.
- Протасов А.А., Силаева А.А. Сообщества беспозвоночных водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. Сообщение 3. Сообщества зообентоса, их состав и структура // Гидробиол. журн. 2006. Т. 42, № 1. С. 3—24.
- Пряничникова Е.Г. Структурно-функциональные характеристики дрейссенид Рыбинского водохранилища: Автореф. дисс... канд. наук. Борок, 2012. 21 с.
- Резниченко О.Г. Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания // Биология моря. 1978. № 4. С. 3—15.
- Силаева А.А., Протасов А.А. Зообентос водоема-охладителя Хмельницкой АЭС и оценка качества воды по донным беспозвоночным // Гидробиол. журн. 2002. Т. 38, № 6. С. 46—59.
- Силаева А.А., Протасов А.А. Состав и структура зообентоса р. Стырь в зоне Ровенской АЭС и оценка ее влияния на донные группировки // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 4. С. 25—45.
- Силаева А.А., Протасов А.А., Ярмошенко Л.П., Бабарига С.П. Инвазийные виды водорослей и беспозвоночных в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС // Гидробиол. журн. 2009. Т. 45, № 6. С. 13—24.
- Синицына О.О. Структурная организация популяций дрейссены из различных водоемов и её изменения при антропогенном воздействии на водные экосистемы // Биоразнообразие и качество среды антропогенно измененных гидроэкосистем Украины / Институт гидробиологии НАНУ. Киев, 2005. С. 54—75.
- Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск. 2002. 256 с.
- Слепнев А.Е., Ляшенко А.В., Воликов Ю.Н. Оценка качественных и количественных показателей развития донной макрофауны водных объектов зоны влияния Южно-Украинского энергокомплекса (ЮУЭК) // Тр. Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми охорони довкілля, раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод», м. Миргород, 23—27 квіт. 2007 р. К.: Знання України, 2007а. С. 124—127.
- Слепнев А.Е., Ляшенко А.В., Воликов Ю.Н. Биоразнообразие и развитие ценозов макрозообентоса водных объектов зоны влияния Южноукраинского энергокомплекс-

- са в летний период // Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали IV Міжнар. конф., Дніпропетровськ, 9—12 жовт. 2007 р. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 20076. С. 108—111.
- Слепнев А.Е., Силаева А.А. О натурализации *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) в водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС // Вестн. зоологии (В печати).
- Сон М.О. Моллюски-вселенцы в пресных и солоноватых водах Северного Причерноморья. Одесса: Друк, 2007. 132 с.
- Сукачев В.Н. Основные понятия лесной биоценологии // Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. С. 311—356.
- Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А.А. Протасова: Ин-т гидробиологии НАН Украины. Киев, 2011. 234 с.
- Трылис В.В., Бабарига С.П., Протасов А.А. Первая находка пресноводной губки *Eunapius carteri* (Porifera, Spongillidae) в Украине за пределами ее природного ареала в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС // Вестн. зоологии. 2009. Т. 43, № 4. С. 347—350.
- Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 327 с.
- Хайлов К.М. Что такое жизнь на земле? Одесса: Друк, 2001. 238 с.
- Чаплина А.М., Махонина А.В. Влияние подогретых вод Криворожской ГРЭС-2 на гидробиологический режим водохранилища // Материалы симп. по влиянию подогретых вод теплостанций на гидрологию и биологию водоемов. Борок, 1971. С. 61—62.
- Шарапова Т.А. Зооперифитон внутренних водоемов Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2007. 167 с.
- Шевцова Л.В. Роль беспозвоночных в накоплении органического вещества в облицованных каналах Украины // Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев: Наук. думка, 1976. С. 171—184.
- Шевцова Л.В. Донные животные каналов различных природных зон. Киев: Наук. думка, 1991. 220 с.
- Шевченко П.Г., Сытник Ю.М., Олексенко Н.В., Борбат Н.А. Гидрохимическое состояние Ташлыкского водоема-охладителя Южноукраинской АЭС // Рыбогосподарська наука України. 2009. № 2. С. 43—50.
- Шевченко Т.Ф. Термофильные сообщества водорослей перифитона в водоемах-охладителях тепловых и атомных электростанций Украины // Гидробиол. журн. 2012. Т. 48, № 3. С. 34—49.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
- Экосистема водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС / Митрахович П.А., Самойленко В.М., Карташевич З.К., Свирид А.А., Козлов Е.А., Королев Г.Н., Папко Н.А. Минск: Право и экономика, 2008. 144 с.
- Яковлев В.А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура, антропогенная динамика). Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН. 2005. Ч. 1. 161 с.; Ч. 2. 144 с.
- Afanasjev S., Protasov A. Interesujace znaleziska fauny dennej w jeziorach Koninskiach // Komunicaty rybckie. 1994. N 4. P. 10—11.
- Grigorovich I.A., Macisaac H.J., Shadrin N.V., Mills E.L. Patterns and mechanisms of aquatic invertebrate introductions in the Ponto-Caspian region // Can. J. of Fish. Aquat. Sci. 2002. Vol. 59. P. 1189—1208.
- Hutorowicz A. *Vallisneria spiralis* L. (Hydrocharitaceae) in lakes in vicinity of Konin lakes (Kujawy Lakland) // Biodiv. Res. Conserv. 2006. Vol. 1—2. P. 154—158.

- Jenner H., Whitehouse J., Taylor C., Khalanski M. Cooling water management in European power stations. Biology and control of fouling // *Hydroecologie appliquée*. 1998. Vol. 10, N 1—2. P. 1—225.
- Jeziora Koninskie — 40 lat badan: stan aktualny oraz wnioski dla ochrony / Pod red. B. Zdanowskiego. Konin: Wojow. Inspekt. Ochrony Srodowiska w Koninie, 1998. 124 s.
- Jones C. G., Lawton J. H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers // *Oikos*. 1994. Vol. 69. P. 373—386.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E. Growth rates of the Zebra mussel under different abiotic conditions: Abstr. VI Intern. Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference. Detroit, 1996. P. 74.
- Karatayev A., Burlakova L., Padilla D. Impacts of Zebra mussels on aquatic communities and their role as ecosystem engineers // *Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management*. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002. P. 433—446.
- Krzyzanek E. Bottom macrofauna of the dam reservoir at Rybnik remaining under the influence of hot discharged waters from the hot power station // *Acta Hydrobiol.* 1979. Vol. 21, N 3. P. 243—259.
- Leszczynski L. Wplyw zrzutu wod podgrzanych na fauna denna jezior okolic Konina. I. Stosunki ilosciowe i sklad jakosciowy fauny dennej jezior Koninskich // *Roczniki nauk rolniczych*. 1976. H. 97, N 3. S. 7—28.
- Makarevich T.A., Mastitsky S.E., Savich I.V. Phytoperiphyton on the shells of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Lake Naroch // *Aquatic Invasions*. 2008. Vol. 3. P. 283—295.
- Mermillon-Blondin F., Rosenberg R. Ecosystem engineering: the impact of bioturbation on biogeochemical processes in marine and freshwater benthic habitats // *Aquat. Sci.* 2006. Vol. 68, N 4. P. 434—442.
- Neveh Z. Landscape ecology as an emergent branch of human ecosystem science // *Advances in Ecol. Research*. 1982. Vol. 12. P. 189—237.
- Odum E.P. The «techno-ecosystem» // *Bull. Ecol. Soc. Am.* 2001. Vol. 82, N 2. P. 137—138.
- Odum H., Odum B. Concepts and methods of ecological engineering // *Ecol. engineer.* 2003. Vol. 20. P. 339—361.
- Protasov A.A., Afanasjev S.A. Structure of Periphytic Communities in Cooling Pond of Nuclear Power Plant // *Int. Rev. Hydrobiol.* 1986. N 3. P. 335—346.
- Protasov A., Afanasjev S., Sinitsyna O., Zdanowski B. Composition and functioning of benthic communities // *Arch. of Polish Fisheries*. 1994a. Vol. 2, Fasc. 2. P. 257—284.
- Protasov A., Afanasjev S., Zdanowski B. Znaczenie *Anodonta* sp. w procesach samooczyszczania wod jezior Koninskich // XVI Zjazd Hydrobiologow Polskich. Wroclaw, 5—8 wrzesnia 1994. Wroclaw, 1994b. S. 119.
- Protasov A., Afanasjev S., Zdanowski B. Naturalne systemy samooczyszczania wod jezior Koninskich // *Komunikaty rybackie*. 1993. N 6. S. 6—9.
- Protasov A.A., Panasenko G.A., Babariga S.P. Biological Hindrances in Power Stations Exploitation, Their Typization and Main Hydrobiological of Control // *Hydrobiol. Journ.* 2009. Vol. 45, N 1. P. 32—46.
- Protasov A.A., Sinitsina O.O., Kolomiets A.V. Use of the WaCo (Water Communities) package to process the hydrobiological samples and create the databases on zoology and algology (FoxPro) // *Proc. Zool. Institute of RAS*. 1999. Vol. 278. P. 132.
- Protasov A., Zdanowski B., Sinitsyna O., Afanasjev S., Tunowski J. Structure and functioning of zooperiphyton and benthos communities of the channels of heated lakes of Koninski district // *Arch. of Pol. Fisheries*. 1997. Vol. 5, Fasc. 1. P. 77—99.

- Semenchenko V., Laenko T. First record of the invasive North American gastropod *Ferrisia fragilis* (Tryon, 1863) from the Pripyat River basin, Belarus // Aquatic Invasions. 2008. Vol. 3, Iss. 1. P. 80—82.
- Stanczykowska A., Lewandowski K., Ejsmont-Karabin J. The abundance and distribution of the mussel *Dreissena polymorpha* (Pall.) in heated lakes Konin (Poland) // Ecol. pol. 1988. Vol. 36, N 1—2. P. 261—273.
- Stanczykowska A., Lewandowski K. Thirty years of studies of *Dreissena polymorpha* Ecology in Mazurian Lakes of Northeastern Poland // *Zebra mussels. Biology, impacts, and control* / Ed. by Nalepa T.F., Schloesser D.W. Boca Raton: CRC Press, 1993. P 3—38.
- Vannote R.L., Minchall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. The river continuum concept // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. N 1. P. 130—137.
- Zdanowski B. Characteristic of heated Konin lakes, pollution sources, main results and conclusions // Arch. Pol. Fish. 1994. Vol. 2, Fusc. 2. P. 139—160.
- Zdanowski B., Korycka A., Gębicka A. Long-term variation in habitat and trophic factors in the Konin lakes (Poland) under the influence of heated-water discharge and pollution // Ecol. Pol. 1988. Vol. 36, N 1—2. P. 47—77.
- Zdanowski B.Z., Protasov A.A. Structura i funkcjonowanie podgrzanych jezior Koninских — wnioski dla ochrony i zagospodarowania zbiornikow // Jeziora Koninskie — 40 lat badan: stan aktualny oraz wnioski dla ochrony. Konin: Wojow. Inspekt. Ochrony Srodowiska w Koninie, 1998. S. 54—58.
- Zdanowski B., Prusik S. Temperature-oxygen relations and chemical composition of water in heated Konin lakes // Arch. of Polish Fisheries. 1994. Vol. 2, Fusc. 2. P. 161—178.
- Zhu B., Fitzgerald D.G., Mayer C.M., Rudstam L.G., Mills E.L. Alteration of Ecosystem Function by Zebra Mussels in Oneida Lake: Impacts on Submerged Macrophytes // Ecosystems. 2006. Vol. 9. P. 1017—1028.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
1. Техно–экосистема и контурные группировки в ней	11
Концепция техно–экосистемы	11
Концепция контурных, маргинальных биокосных систем	16
Концепция топической группировки гидробионтов. Контурные группировки	19
2. Контурные группировки техно–экосистем тепловых электростанций	24
Материалы и методы исследований	24
Зообентос и зооперифитон озера Лиман — водоема-охладителя Змиевской ТЭС	26
Зообентос водоема-охладителя Славянской ТЭС	32
Зообентос и зооперифитон водоема-охладителя Кураховской ТЭС	34
Зообентос и зооперифитон техно–экосистемы Криворожской ТЭС	38
Зообентос и зооперифитон Ладыжинского водохранилища — водоема-охладителя Ладыжинской ТЭС	54
Зообентос и зооперифитон Конинских озер — охлаждающей системы Конинской и Патновской ТЭС	64
Контурные группировки участка Каневского водохранилища в районе Трипольской ТЭС	84
3. Контурные группировки техно–экосистем атомных электростанций	94
Зообентос и зооперифитон водоема-охладителя Чернобыльской АЭС	94

Зообентос и зооперифитон Ташлыкского водохранилища — водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС	136
Зообентос и зооперифитон техно-экосистемы Ровенской АЭС и фонового водотока — р. Стырь	150
Зообентос и зооперифитон техно-экосистемы Запорожской АЭС	159
Зообентос и зооперифитон техно-экосистемы Хмельницкой АЭС	167
4. Сравнительный анализ контурных группировок техно-экосистем ТЭС и АЭС	199
Заключение	224
Conclusion	232
Приложение 1. Список таксонов зообентоса и зооперифитона (НОТ), зарегистрированных в водных объектах техно-экосистем АЭС Украины	235
Приложение 2. Список таксонов беспозвоночных понтокаспийского комплекса в исследованных водных объектах	247
Приложение 3. Мшанки (Bryozoa) континентальных вод <i>В.И. Гонтарь</i>	248
Литература	262

Наукове видання
Національна академія наук України
Інститут гідробіології



ПРОТАСОВ Олександр Олексійович
СИЛАЄВА Анжеліка Алімівна

**КОНТУРНІ
УГРУПОВАННЯ
ГІДРОБІОНТІВ
У
ТЕХНО-
ЕКОСИСТЕМАХ
ТЕС І АЕС**

Монографія російською мовою
Друкується в авторській редакції

Комп'ютерна верстка
С.А. Горбаненка

Підписано до друку 17.12.2012. Формат 60 × 84/16.
Папір офсетний. Друк ризограф., офсетн. Ум. друк. арк. 16,0.
Обл.-вид. арк. 21,24. Тираж 300 екз.

Тираж надруковано ДП «Українське державне аерогеодезичне підприємство» Центр оперативного друку та поліграфічних послуг «Поліграфцентр»

Україна, 03150, м. Київ, вул. Велика Васильківська, 69;
тел. 502-80-60

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 225
від 02.08.2005 р.