

УДК (574.583):(621.311.25:621.311.22)

А. А. Протасов¹, Г. А. Гурьянова¹, А. А. Силаева¹,
Н. Н. Ласковенко²

**ДИНАМИКА ЗООПЕРИФИТОНА НА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ В
УСЛОВИЯХ ПРИПЛОТИННОГО УЧАСТКА
КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Рассмотрены результаты исследований состава, показателей обилия и динамики зооперифитона на экспериментальных субстратах из различных материалов, в том числе с полимерным покрытием оригинального состава. Приведены данные о таксономическом богатстве и обилии зооперифитона в нижней части Киевского водохранилища (р. Днепр). Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой средств ограничения развития обрастания.

Ключевые слова: зооперифитон, обрастание, Киевское водохранилище, ГЭС, необрастающие покрытия.

Экологическая группировка гидробионтов перифитон, представляющая собой совокупность организмов, которые обитают на разделе жидкой (вода) и твердой (субстраты различной природы) фаз [6, 7], играет важную роль в водных экосистемах [13]. Эти сообщества формируются как из подвижных, так и прикрепленных форм. Спектр субстратов достаточно широк, они могут быть как естественными, так и антропогенными и обладать различными свойствами. Однако существует группа субстратов, на которых поселение и развитие перифитона крайне нежелательно с точки зрения человека. Это облицовки ложа каналов, системы трубопроводов водоснабжения, корпуса судов, фильтры, заградительные решетки, приборы, используемые под водой, и др. Технический термин, который используется для обозначения сообществ, обитающих на антропогенных субстратах, — «обрастание». Оно наносит огромный вред в различных сферах, связанных с водопользованием [4, 9—11]. Проблемы биологических помех, которые возникли в США и Канаде с появлением в Великих озерах дрейссены (сначала *Dreissena polymorpha* Pall., затем — *D. bugensis* Andr.), были весьма значительными [16, 17]. Так, в 1997 г. энергетические станции региона Великих озер затратили не менее 350 000 долларов на очистку систем водоснабжения. Эти вопросы актуальны и для Украины [2].

В континентальных водах наиболее уязвимыми при развитии обрастания и связанных с ними биологических помехах являются различные системы водоснабжения и гидросооружения [2, 3, 8, 16, 17]. В морской среде

© А. А. Протасов, Г. А. Гурьянова, А. А. Силаева, Н. Н. Ласковенко, 2015

основные проблемы возникают при обрастании судов. Мировой ущерб в море огромен, в начале 1970-х годов он составлял около 700 млн. долларов в год, в настоящее время — превышает 50 млрд. долларов, существуют тенденции его возрастания [4].

Биологические помехи в системах технического водоснабжения, в том числе и обрастание, обуславливаются развитием различных растительных и животных организмов, как правило обитающих в водоеме — источнике водоснабжения. Одним из перспективных способов его ограничения являются необрастающие покрытия [1, 5, 10, 14, 15].

Динамика формирования сообществ зооперифитона в Киевском водохранилище ранее не исследовалась. Результаты предварительных работ в этом районе опубликованы ранее [12]. Было установлено, что при экспозиции 2,5 мес на винипласте и нержавеющей стали доминировали гидры и дрейссена. В ноябре (экспозиция 191 сут) биомасса дрейссены достигала на этих субстратах близких значений — 1240 ± 474 г/м², в то время как на покрытиях ЭМПУ с добавкой соединений кремния, нанесенных на стальные пластины, она составляла всего 11 ± 6 г/м². Следует также отметить, что при определенном угнетении поселений дрейссены, такого же действия на губок отмечено не было. Можно сделать заключение, что в условиях нижней части Киевского водохранилища в районе ГЭС формируется почти чистое дрейссенное обрастание и меры борьбы с ним, в том числе и разработка необрастающих покрытий, — практически меры борьбы с поселением этого моллюска.

Целью работы был анализ динамики развития сообществ зооперифитона и некоторых его ключевых видов на экспериментальных субстратах с различным составом полимерного покрытия и оценка эффективности ограничения обрастания.

Материал и методика исследований. В исследованиях использовали следующие составы покрытий экспериментальных субстратов (ЭС):

— модифицированная полиуретановая эмаль ЭМПУ-1, в состав которой в качестве модификатора входит хлорсодержащий перхлорвиниловый полимер с добавкой солей олова, нанесенная на пластину из оцинкованной стали;

— полиуретановый лаковый (ПЛ) состав с добавкой наноструктурированного кремнийорганического олигомера, нанесенный на пластину из оцинкованной стали;

— пластины из оцинкованной стали (Цн).

В качестве контрольных использовали пластины из нержавеющей стали (НС) и винипласта (Вп).

Субстраты, закрепленные на стенде из алюминиевого уголка, экспонировались на глубине около 6 м, что соответствует горизонту, с которого происходит водозабор ГЭС для технических нужд.

Экспериментальные субстраты были выставлены 21 апреля 2010 г. Отбор проб проводили через 44, 83, 167 и 210 сут при подъеме стендов на поверхность. Пластины с обрастанием фиксировали 4%-ным раствором формальдегида. При выделении сообществ применяли принцип их названия по доминирующим видам, численность и/или биомасса которых отдельно или в сумме составляли 50% и более.

Результаты исследований и их обсуждение

При экспозиции 44 сут обрастание представляло собой поселения единичных организмов. Их численность была невысокой: на НС — 14 920, на Вп — 22 857 экз/м², биомасса на обоих субстратах достигала всего 1,3 ± 0,9 г/м². На ЭС, покрытых ЭМПУ-1, численность изменялась от 4 до 17 тыс. экз/м², составляя в среднем 8970, на ПЛ равнялась 6980 экз/м². Наименьшей численность была на Цн — 3490 экз/м², хотя биомасса здесь была наибольшей — 3,0 ± 2,1 г/м², в основном за счет личинок хирономид двух видов. Осевшие велигеры дрейссены встречались на всех типах субстратов, однако на Вп и НС их численность была на порядок выше, чем на других: 12—18 против 1 тыс. экз/м² на Цн. Основу численности (до 80—90%) на всех субстратах составляла молодь дрейссены, только на ПЛ она была достаточно высокой у олигохет.

Отмечен обратный характер распределения биомассы относительно численности. Молодь дрейссены на НС и Вп формировала 16—25% общей биомассы, а на токсичных субстратах (ЭМПУ-1, Цн) — всего 2—7%, то есть оседающие личинки дрейссены явно их избегали. Средняя масса ее особей изменялась от 1,7·10⁻⁵ (НС) до 3,8·10⁻⁵ г (Цн), иными словами осевшие особи не были угнетены в росте. На Вп этот показатель достигал 3,5·10⁻⁵ г. Основной вклад в общую биомассу на покрытиях и цинке вносили личинки хирономид *Endochironomus albipennis* Mg. и олигохеты *Stylaria lacustris* (L.). Всего же при этой экспозиции на всех субстратах было обнаружено 17 низших определяемых таксонов (НОТ), до видового уровня определены 15.

При экспозиции 83 сут значительного обрастания на ЭС при внешнем осмотре отмечено не было как на контроле (Вп и НС), так и на покрытиях и Цн. Однако при камеральной обработке на субстратах было обнаружено довольно много мелких организмов, численность которых составила на Цн от 26 до 83, на НС — до 189 тыс. экз/м². На субстратах с покрытием ЭМПУ-1 и ПЛ она была несколько ниже — соответственно 116 667 ± 16 173 и 117 083 ± 14 652 экз/м².

Доминирующими по численности, как и в июле, были осевшие велигеры дрейссены и гидры. Численность первых на НС составляла 142—184 тыс. экз/м², гидр — 9—12, а на ЭМПУ-1 — соответственно 59—127 и 24—61 тыс. экз/м², то есть численность гидр на нем была значительно выше.

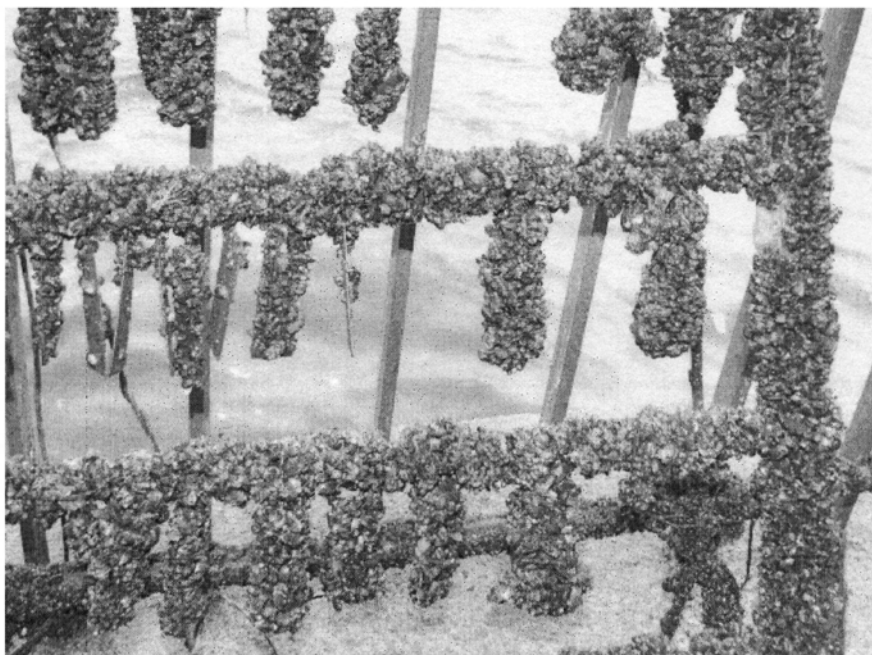
Общая биомасса беспозвоночных была максимальной ($111,9 \pm 30,9$ г/м²) на винипласте, а минимальной ($8,8 \pm 5,4$ г/м²) — на Цн, на остальных субстратах она колебалась от 34,1 (ЭМПУ-1) до 67,3 г/м² (НС). Биомасса дрейссенид была наибольшей на одной из Вп пластин — 135,6 г/м², а наименьшей на Цн — всего 3,8 г/м², то есть практически не изменилась относительно предыдущей съемки.

При экспозиции 167 сут значительное обрастание, в основном дрейссеной, было отмечено на большинстве ЭС и на каркасе установки, которая была покрыта ЭМПУ-1. Биомасса перифитона на НС составляла $48\ 182 \pm 460,9$ г/м², на остальных субстратах, кроме Цн, — от 3380 до 4550 г/м². На оцинкованных пластинах она составляла всего 168,7 г/м², при этом распределение было очень неравномерным (коэффициент вариации *CV* равен 81,4%). Дрейссениды представлены разноразмерными особями, встречались моллюски длиной до 18 мм, однако в основном размер не превышал 5—6 мм. Биомасса на ЭМПУ-1 была в два раза ниже, чем на Вп.

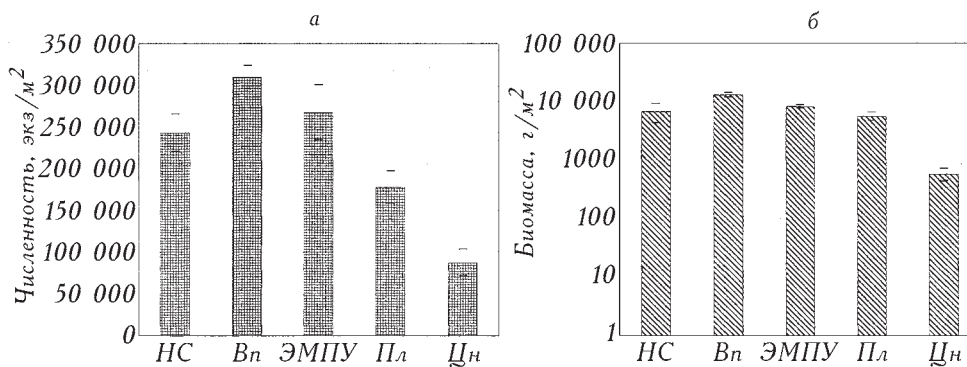
Средняя масса особи *D. polymorpha* по истечении 167 сут была на порядок выше, чем *D. bugensis*: $83,7 \pm 2,5$ мг против $9,1 \pm 0,5$ мг. При экспозиции 83 сут она различалась не так значительно: $12,7 \pm 1,5$ мг и $7,7 \pm 0,2$ мг. Следует отметить, что при экспозиции 167 сут средняя масса *D. polymorpha* на разных субстратах изменялась в довольно широких пределах: от $35,0 \pm 5,0$ мг на Цн до $83,7 \pm 9,2$ мг на НС, в то время как для *D. bugensis* этот показатель был более низким и достаточно близким — от $6,9 \pm 1,0$ на Цн до $10,2 \pm 4,5$ мг на Вп.

Для объяснения различий в средней массе приемлемым выглядит предположение, что личинки *D. polymorpha* оседают на субстрат гораздо раньше, чем личинки *D. bugensis*. Если при меньшей экспозиции возможно почти одновременное заселение субстрата личинками, то моллюски *D. polymorpha* растут более интенсивно. Средняя масса особей двух видов на ЭМПУ-1 при экспозиции 167 сут различалась не столь значительно, как на НС — $43,7 \pm 2,1$ мг у *D. polymorpha* и $10,1 \pm 2,8$ мг у *D. bugensis*. Сходная картина наблюдалась на Цн: средняя масса особи *D. bugensis* была в пять раз меньше, чем *D. polymorpha*.

При экспозиции 210 сут массивное обрастание, в основном дрейссеной, было отмечено на экспериментальных субстратах и всей установке (рис. 1). Численность беспозвоночных была высокой — до 308 ± 24 тыс. экз/м² на Вп, на отдельных пластинах Цн она не превышала 200 тыс. экз/м², составляя в среднем 88 ± 15 тыс. экз/м². Распределение численности по субстратам было аналогичным таковому при самой малой экспозиции (рис. 2). Биомасса изменялась от 0,5 до 12,7 кг/м², кроме ПЛ и Цн (см. рис. 2, б). Наибольшей ($12\ 687,1 \pm 1037,9$ г/м²) она была на Вп, наименьшей ($565,7 \pm 137,1$ г/м²) — на цинке. Так же, как и в предыдущих экспозициях, *CV* был наибольшим на Цн и ПЛ, то есть на относительно неблагоприятных субстратах: соответственно 54,1 и 36,6 против 16,1% на Вп. Неожиданно низкой оказалась биомасса на НС — $6604,7 \pm 2330,5$ г/м² (от 1947,5 до 9096,6 г/м²).



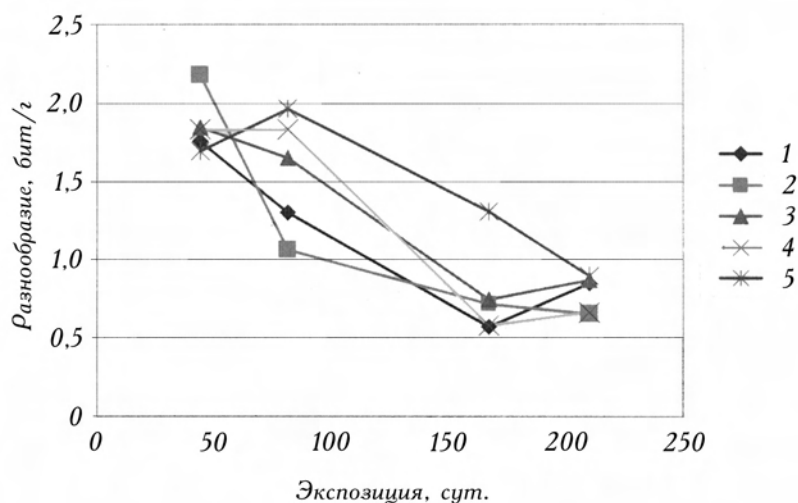
1. Общий вид установки и экспериментальных субстратов при экспозиции 210 суток.



2. Численность (а) и биомасса (б) беспозвоночных на экспериментальных субстратах при экспозиции 210 суток.

Численность и биомасса дрейссены были существенно выше, чем всех других организмов. Доля ее численности на всех субстратах, кроме цинка, была 61%, на цинке, где преобладали гидры, — всего 22%. В то же время средняя по всем субстратам доля дрейссены в биомассе составила 99,3%.

В целом за период исследований на ЭС было отмечено 40 НОТ беспозвоночных из 14 групп. Наибольшим богатством отличались личинки хирономид — 14 видов и форм, из которых чаще всего встречался *Limnochironomus*



3. Динамика разнообразия (бит/г) в сообществах перифитона на разных субстратах. Здесь и на рис. 4—6: 1 — нержавеющая сталь; 2 — винипласт; 3 — покрытие ЭМПУ-1; 4 — лаковое покрытие; 5 — оцинкованная сталь.

nervosus Staeg. Из олигохет, которых было отмечено 9 НОТ, самой распространенной была *Stylaria lacustris* (L.). Кроме того, встречались губки, турбеллярии, гидры, пиявки, два вида гаммарид (*Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald) и *Chaetogammarus ischnus* Stebbing), личинки ручейников трех видов и два вида дрейссенид.

Анализ сходства состава группировок на различных субстратах четырех серий съемки показал определенную закономерность его развития. Значения индекса сходства Серенсена более 0,7 были характерны для разноименных субстратов в одной экспозиции. Использование метода таксономического анализа Е. С. Смирнова позволило установить, что все группировки беспозвоночных на субстратах обладали высокой степенью сходства (t_{xy} от 27 до 80). Небольшая отрицательная связь ($t_{xy} = -2$) была отмечена между группировками на НС и ПЛ. Что касается биотических группировок на одном субстрате при двух последовательных съемках, то здесь можно говорить о континууме связей, хотя отмечались и отрицательные, например между группировкам на цинке, Вп и НС.

На дендрограмме, построенной на основании расчетов сходства встречаемости по методу Брай — Куртиса, также выделяются три кластера: первой экспозиции, второй и двух последних, хотя группировки на Вп (3-я экспозиция) и ЭМПУ-1 (4-я) имели некоторое сходство с аналогичными второй экспозиции. Группировки на Цн, имевшие тех же доминантов, выделялись по показателям обилия и видовому составу, особенно при экспозиции 210 сут.

На основании анализа сходства может быть выделено три биоценотические группировки, которые существенно различались по характеристикам и последовательно сменяли друг друга в перифитоне на ЭС (таблица).

Структурно-функциональные показатели ценологических группировок (сообществ) зооперифитона на экспериментальных субстратах при разной экспозиции

Сообщества	Экспозиция, сут	N	B	R	n	H _N	H _B
<i>D. polymorpha</i> + <i>D. bugensis</i> + <i>S. laeustris</i> + <i>L. nervosus</i> + <i>E. albiripennis</i>	44	11444 ± 2057	2,68 ± 0,34	23,39 ± 2,91	15	1,893	2,868
<i>D. polymorpha</i>	83	117600 ± 15103	56,64 ± 10,52	218,0 ± 24,0	25	1,511	1,522
<i>Hydra</i> sp. + <i>D. polymorpha</i>	167 + 210	209602 ± 12649	5271,86 ± 643,75	2157,3 ± 323,5	34	1,840	0,741

Примечание. N — средняя численность, экз/м²; B — средняя биомасса, г/м²; R — средняя деструкция, Дж/м²·ч; H_N — индекс Шеннона, рассчитанный по численности, бит/экз; H_B — индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, бит/г; n — количество НОТ.

Уже к середине июля (экспозиция 83 сут) сформировалось сообщество с полным доминированием по биомассе одного вида — *D. polymorpha*. При этом биомасса возросла по сравнению с таковой предыдущей съемки всего на порядок, а к осени (167 и 201 сут) — на два порядка, но не на всех субстратах. Так, при экспозиции 83 сут биомасса на цинке составляла 5,7—14,3 г/м², в среднем 8,8 г/м², а на остальных субстратах — в среднем 68,6 г/м², при 167-суточной экспозиции — соответственно — 168,8 г/м² и около 4,5 кг/м².

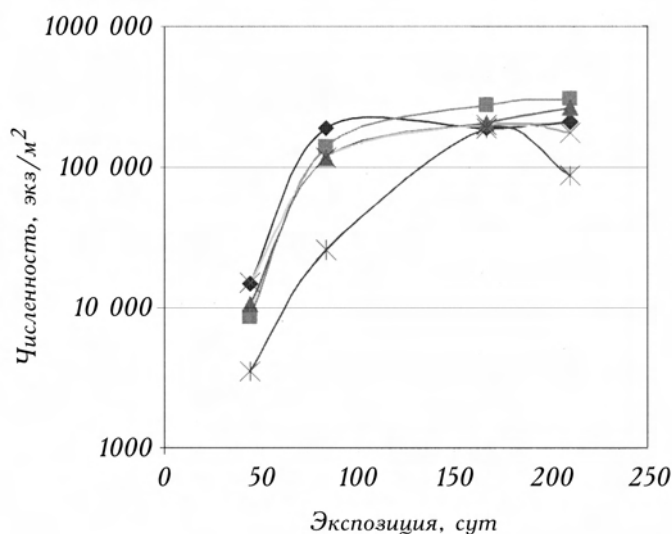
Динамика структуры сообществ была сходной на всех субстратах и отражала постепенное усиление доминирования одного вида, что приводило к снижению разнообразия сообществ (рис. 3).

Следует обратить внимание на некоторые особенности динамики разнообразия на цинке, особенно в двух последних экспозициях. После минимальных значений разнообразия в третьей на всех субстратах, кроме цинка, отмечено его некоторое возрастание, что было связано с увеличением выравненности, при этом показатели богатства НОТ к 210-м суткам либо снижались, либо оставались без изменений (4—5 на цинке и 7—11 на других субстратах).

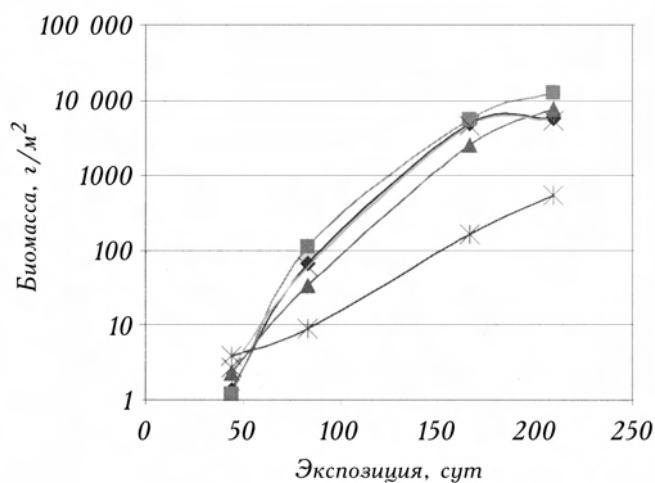
Численность и биомасса беспозвоночных практически на всех субстратах медленно нарастала в течение первых 40 сут и затем резко увеличивалась (рис. 4, 5). Фактически динамика биомассы отражала рост дрейссены в сообществе, однако на Цн биомасса увеличивалась гораздо менее интенсивно. На исследуемых пластинах и покрытиях она была ниже, чем на контрольных.

Поскольку, как было показано выше, основу обрастания составляла дрейссена, являющаяся основным источником биологических помех, целесообразно рассматривать динамику ее обилия на экспериментальных субстратах с покрытием по сравнению с контрольными.

Биомасса дрейссены на Вп была выше, чем на остальных субстратах (см. рис. 6), лишь на лаковом покрытии при экспозиции 167 сут она составляла 85% таковой на винипласте. Отмечена вполне четкая тенденция снижения различий между биомассой на винипласте и всех субстратах по мере возрастания экспозиции, лишь Цн оставался незначительно заселенным дрейссеной. Это свидетельствует о том, что заселение организмами обрастания иммобилизует биоцидное покрытие и впоследствии рост биомассы обрастания уже мало им лимитируется. При хорошо выраженной биоцидности, как, например, у цинка, если на первых этапах колонизации субстрат остается достаточно свободным от обрастания, то и в дальнейшем развитии обрастания не происходит. Это связано и с определенной периодичностью размножения дрейссены.

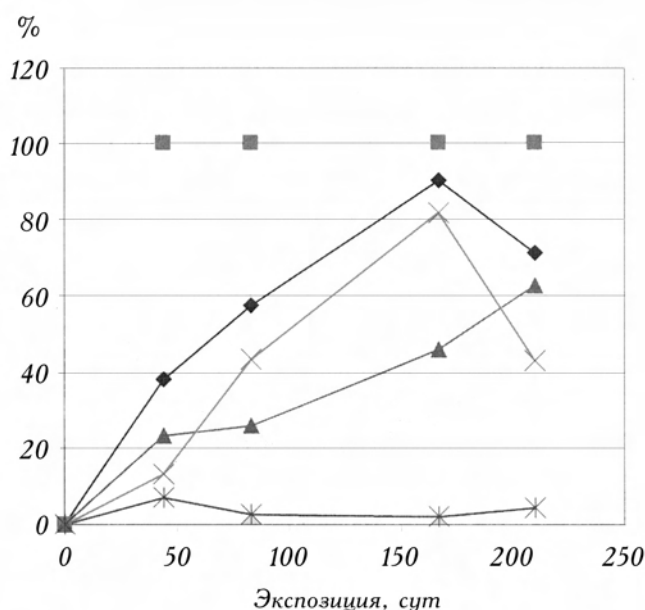


4. Динамика численности беспозвоночных на разных субстратах.



5. Динамика биомассы беспозвоночных на разных субстратах.

Представляет интерес сравнение полученных данных о развитии перифитона на экспериментальных субстратах и результатов обследования сооружений и некоторых агрегатов Киевской ГЭС. В июне 2008 г. при содействии сотрудников водозащитной станции гидроцеха было проведено обследование вертикальной стенки сопряжения откоса облицовки дамбы и сооружения ГЭС по левому берегу. Визуальный осмотр вертикального откоса пока-



6. Динамика биомассы дрейссены на разных субстратах. Биомасса на винилпласте принята за 100%.

увеличением глубины, на 10 м ее доля составляла более 90%. Максимальный размер *D. bugensis* (26,5 мм) был отмечен на глубине 10 м, а *D. polymorpha* — на глубине 3 м (22,7 мм).

Также было обследовано оборудование водоснабжения. При вскрытии фильтра очистки воды ФВ-4 на внутренних стенках верхней камеры и крышке отмечены значительные поселения дрейссены, на крышке моллюски образовывали висячие друзы (рис. 7). На вертикальных стенках верхней камеры фильтра отмечена колония губки, толщина слоя дрейссены на горизонтальной поверхности фильтра достигала 10—15 см.

Средние показатели обилия дрейссены на горизонтальной поверхности фильтра были выше, чем на вертикальной: биомасса составляла соответственно 32 161 и 10 620 г/м², численность — 480 616 и 55 140 экз/м² (рис. 8). Преобладание *D. bugensis* по биомассе было небольшим — около 60% общей. При этом доля *D. polymorpha*, представленной более крупными особями, в общей численности была ниже — около 19%. Колебания показателей обилия дрейссены обоих видов на горизонтальной поверхности были более значительными, чем на вертикальной, то есть слой моллюска на последней был равномернее.

В размерной структуре популяций дрейссены на всей поверхности верхней камеры фильтра доминировала *D. bugensis* размерной группы 6—10 мм: на горизонтальной поверхности — 59,3%, на вертикальной — 50,5%. Особи

зал, что друзы дрейссены начинаются с глубины 1 м, где ее покрытие достигало 80% площади субстрата, дальше, до глубины 15 м, покрытие бетона моллюсками было практически 100%-ным. Максимальная биомасса дрейссены — 14 962 г/м² отмечена на глубине 10 м. На глубине 3—5 м она была несколько ниже — 10—11 кг/м². При этом *D. polymorpha* в значительной степени преобладала по биомассе на глубине 3 м, с увеличением глубины количественные показатели снижались. Напротив, биомасса *D. bugensis* практически линейно возрастала с



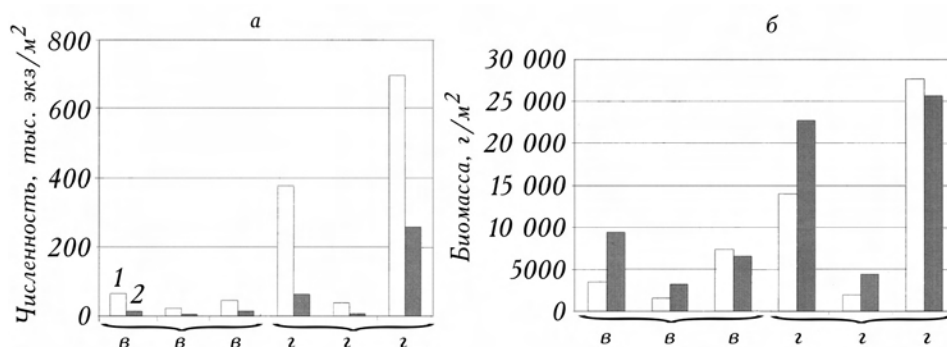
7. Друзы дрейссены на крышке фильтра очистки воды ФВ-4.

размерной группы 11—15 мм составили соответственно 23,6 и 34,1%. Максимальный размер раковины этого вида также был сходным — соответственно 20,2 и 23,6 мм.

Следует отметить, что если на бетонных сооружениях поселения дрейссены практически не оказывали биологических помех, то в фильтре помехи были весьма серьезными, поскольку отмершие и живые моллюски попадали в системы водоснабжения воздухоохладителей. Внутри трубок воздухоохладителей в равном количестве были представлены моллюски с длиной раковины 6—10 и 11—15 мм, максимальная составляла 25 мм, что сопоставимо с диаметром самих трубок, раковины этих размеров могут вызывать значительные биопомехи.

Заключение

В результате исследований было установлено, что в качестве контрольного субстрата целесообразно использовать винипласт, поскольку на нем развивается наиболее интенсивное обрастание, а в качестве «антиконтроля» — оцинкованный металл, где обрастание было минимальным. Исследуемые покрытия обладают



8. Численность (а) и биомасса (б) дрейссены (в трех повторностях) на вертикальной (в) и горизонтальной (г) поверхностях фильтра очистки воды: 1 — *D. bugensis*; 2 — *D. polymorpha*.

определенными антиобрастающими свойствами, которые по мере экспозиции, постепенно ослабевают. В условиях нижней части Киевского водохранилища в перифитоне ЭС доминировали моллюски-дрейссениды, однако в других водоемах и местообитаниях могут преобладать другие организмы и сообщества могут иметь иную структуру.

В системах водоснабжения Киевской ГЭС уровень развития обрастания был значительным, в основном за счет двух видов дрейссенид. Оно оказывает негативное воздействие на работу оборудования, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования и поиск необрастающих покрытий.

**

Розглянуто результати досліджень складу, кількісних показників і динаміки зооперифітону на експериментальних субстратах з різних матеріалів, зокрема з полімерним покриттям оригінального складу. Наведено дані про таксономічне багатство і рясність зооперифітону в умовах нижньої частини Київського водосховища (р. Дніпро). Обговорено питання, пов'язані з розробкою засобів обмеження розвитку обростання.

**

The results of studies on composition, abundance and dynamics of zooperiphyton on experimental substrates of different materials, including polymer-coated of original composition. The data on the taxonomic richness and abundance of zooperiphyton of the lower part of the Kyiv reservoirs (Dnieper River) are given. The issues regarding development of fouling control measures are discussed.

**

1. Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и меры борьбы с ними / Под ред. Г. И. Долгова. — М.: Наука, 1969. — 110 с.
2. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Ред. М. Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.

3. *Дрейссена Dreissena polymorpha* (Pallas) (Bivalvia, Dreissenidae). Систематика, экология, практическое значение / Ред. Я. И. Старобогатов. — М.: Наука, 1994. — 240 с.
4. *Звягинцев А.Ю.* Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. — Владивосток: Дальнаука, 2005. — 432 с.
5. *Лебедева Г.Д.* Экология обрастаний в пресных водах // Экологические основы защиты от биоповреждений. — М.: Наука, 1985. — С. 78—85.
6. *Протасов А.А.* Пресноводный перифитон. — Киев: Наук. думка, 1994. — 307 с.
7. *Протасов А.А.* Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. — Киев: Академперіодика, 2011. — 704 с.
8. *Протасов А.А., Панасенко Г.А., Бабарига С.П.* Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 36—53.
9. *Раулкин А.И.* Процессы колонизации и защита от биообрастания. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1998. — 272 с.
10. *Раулкин А.И.* Колонизация твердых тел бентосными организмами. — СПб: Изд-во СПб. ун-та, 2008. — 427 с.
11. *Резниченко О.Г.* Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания // Биология моря. — 1978. — № 4. — С. 3—15.
12. *Русінчук Я.І., Протасов О.О., Силаєва А.А., Ласковенко Н.М.* Динаміка розвитку зооперифітону у Київському водосховищі та дослідження антиоброслаючої здатності покриттів // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. Гідроекологія. — 2010. — № 2 (43). — С. 427—430.
13. *Скальская И.А.* Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. — Рыбинск, 2002. — 256 с.
14. *Шиманский Б.А.* Биологические помехи в эксплуатации систем технического водоснабжения тепловых электростанций и методы борьбы с ними // Гидробиол. журн. — 1968. — Т. 4, № 3. — С. 93—94.
15. *Smith A.L., Muya R.A.* Identify and control microbiological organisms in cooling water systems // Power. — 1973. — Vol. 117, N 7. — P. 17—19.
16. *Zebra mussels. Biology, impacts, and control* // Ed. by T. Nalepa, D. Schloesser. — Boca Raton: Lewis publ., 1993. — 810 p.
17. *Quagga and Zebra mussels. Biology, impacts, and control* // Ed. by T. Nalepa, D. Schloesser. — Boca Raton: CRC press, 2014. — 816 p.

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ

² Інститут хімії високомолекулярних
соединений НАН України, Київ