

УДК :[574.586:62-757.7]:658.265

А. А. Протасов, И. А. Морозовская, Н. Н. Ласковенко

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ В МОНИТОРИНГЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕХ В РАБОТЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИИ НЕОБРАСТАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Приведены результаты исследований зооперифитона на экспериментальных субстратах в условиях различных водоемов, включая водоемы-охладители АЭС и ТЭС. Рассмотрены процессы формирования сообществ на экспериментальных субстратах и методические приемы в использовании экспериментальных субстратов для гидробиологического мониторинга.

Ключевые слова: зооперифитон, обрастание, экспериментальные субстраты, водоем-охладитель.

Перифитон (обрастание) – это совокупность организмов, обитающих на разделе жидкой (вода) и твердой (субстраты различной природы) фаз. Сообщества этих организмов формируются как из подвижных, так и прикрепленных форм. Развитие обрастания наносит большой вред деятельности человека в различных сферах, связанных с использованием [1–7]. В силу того, что в основе проблемы формирования обрастания лежит развитие живых организмов в тех или иных условиях, меры по ограничению обрастания должны учитывать биологические особенности организмов-обрастателей, периодичность их жизненных циклов. Мониторинг развития обрастания непосредственно в системах водоснабжения, как правило, затруднен из-за малой доступности. Использование экспериментальных субстратов (ЭС) позволяет получать гидробиологическое сообщество-аналог вне систем водоснабжения, проводить анализ состава, динамики и обилия. Одно из направлений в разработке мер по ограничению обрастания – это использование специальных необрастающих покрытий, которые могут применяться на различных субстратах, в тех или иных системах водоснабжения, при покраске теплообменных поверхностей. Они могут применяться в сочетании с антикоррозионными покрытиями. Тест на эффективность покрытий целесообразно проводить на контрольных экспериментальных субстратах. Мониторинг влияния АЭС на окружающую среду и гидробионтов, в частности, на организмы сообществ перифитона необходимо проводить в динамике. Эти задачи могут успешно решаться при помощи методов экспериментальных субстратов [8, 9].

Материалы и методы исследований. Исследования динамики обрастания на экспериментальных субстратах (прямоугольные пластины размером 8,0×2,6 см, закрепленные на специальном погруженном в воду стенде – фото 1), проводились в нижней части Киевского водохранилища в 2010

году, в подводном канале водоема-охладителя Хмельницкой АЭС (2007-2008 гг.), на Каневском водохранилище в районе Жукова острова (2010-2014 гг.). В качестве относительно инертного материала использовали пластины из нержавеющей стали (НС) и винипласта. Также применяли субстраты из оцинкованной стали (ОС).

Были испытаны на предмет защиты от обрастания некоторые составы, разработанные в Институте химии высокомолекулярных соединений НАНУ. На Каневском водохранилище использовались: модифицированная полиуретановая эмаль (ЭМПУ), ОС+ЭМПУ, полиуретановый (ПУ) лак УР-167, полиуретановая эмаль (ПУЭ)+хром+антисептик, ПУ-лак УР-167+цинк+антисептик1234, ПУ-лак УР167+цинк, ПУЭ+хром, ПУЭ+цинк. На водоем-охладителе Хмельницкой АЭС выставляли пластины из нержавеющей стали без покрытия. На Киевском водохранилище пластины были из нержавеющей стали, винипласта, оцинкованной стали, а также с покрытием НС+ЭМПУ+Si. Отбор проб на водоем-охладителе ХАЭС осуществлялся водолазами. На Каневском и на Киевском водохранилищах пробы отбирали при кратковременном подъеме стенов из воды [9].



Фото 1. Общий вид установки для экспонирования субстратов в воде на Каневском водохранилище, дата установки стенда 5.06.2014

Результаты исследований. На Киевском водохранилище проводили исследования с целью оценки эффективности ограничения обрастания на экспериментальных субстратах с различным составом полимерного покрытия, а также исследования динамики развития сообществ (таблица 1).

Было отмечено, что при экспозиции 2,5 месяца (с 21.04.2010 по 13.07.2010) на винилпласте и нержавеющей стали доминировали гидра и дрейссена [10]. В ноябре биомасса дрейссены на этих субстратах достигала 1240 ± 474 г/м², в то время как на покрытиях ЭМПУ с добавкой соединений кремния, нанесенных на стальные пластины биомасса была всего 11 ± 6 г/м². Важно отметить, что при определенном угнетении поселений дрейссены на покрытии, не было отмечено такого же действия на губок. В период исследований формировалось почти чистое дрейссенное обрастание (фото 3 А). Из двух видов дрейссены по биомассе преобладала *Dreissena polymorpha* Pall. – $4511,0$ г/м² против показателей биомассы *Dreissena bugensis* Andr. – $402,4$ г/м². Так как обрастание состояло почти только из дрейссены, то и меры борьбы с обрастанием, а также разработка необрастающих покрытий, могут быть направлены на борьбу с поселением этого моллюска. На сороулавливающих решетках водозабора ГЭС было отмечено значительное обрастание, состоящее почти полностью из моллюсков-дрейсенид. Также как и на внутренних поверхностях фильтров систем воздушного охлаждения.

Исследования обрастания на Каневском водохранилище проводили с целью оценки эффективности необрастающих покрытий, а также изучения динамики формирования сообществ (таблица 2).

Динамика формирования сообществ на Каневском водохранилище была следующей. В августе пластины из винилпласта были покрыты колониями мшанки. На субстратах из винилпласта обрастание было достаточно неравномерным. Биомасса обрастания была $1167,2$ г/м², основу биомассы составляла мшанка *Plumatella fungosa* Pallas – $1077,3$ г/м². Также на пластинах была отмечена дрейссена – $67,1$ г/м². Пластины с покрытием ПУЭ+хром+антисептик и ПУ-лакУР167+цинк+антисептик были заселены организмами обрастания крайне неравномерно. Один субстрат имел 100% покрытие одного вида мшанки, второй – мощное развитие колоний двух видов, на остальных субстратах мшанки почти не было. Биомасса обрастания на этих субстратах формировалась в основном за счет мшанки *P. fungosa* (биомасса мшанки *P. fungosa* на двух субстратах была $2272,0$ и $2811,3$ г/м², на субстрате ПУ-лакУР167+цинк+антисептик1234 биомассу определял и второй вид мшанки *Hyallinella punctata* Jullien – $1793,3$ г/м²) – фото 2.



Фото 2. Общий вид экспериментальных субстратов с покрытием ПУ-лак УР-167+Zn+антисептик1234 при 57-суточной экспозиции на Каневском водохранилище, 2014 г. На одной из пластин отмечена крупная колония мшанки *Hyallinella punctata* Jullien

В конце сентября произошло отмирание мшанки, что повлияло на снижение биомассы обрастания. Наибольшая биомасса $554,4$ г/м² была отмечена на винилпласте. Доминантами были *D. polymorpha* и *P. fungosa* с биомассой $413,0$ и $116,3$ г/м², соответственно. Несколько ниже была биомасса на субстрате ПУЭ+хром – $519,1$ г/м², но доминировала кроме дрейссены не мшанка, а губка ($280,1$ г/м² и $136,7$ г/м², соответственно). В начале ноября характерным для общего габитуса экспериментальных субстратов было очень незначительное обрастание и в большей или меньшей мере присутствие на пластинах дрейссены.

Таким образом, до начала августа на пластинах формировались группировки с доминированием мшанки (фото 3 Б), которая достигала высоких значений биомассы. Но уже к концу августа – началу сентября на пластинах происходило отмирание колоний мшанки, и отмечалось формирование колоний губок, покрытие субстрата до 50%, на некоторых пластинах, кроме губок доминировала и дрейссена. В начале ноября на пластинах было очень незначительное обрастание дрейссеной, отмечены отдельные зоарии мшанки и небольшие колонии губок.

Исследования на подводном канале Хмельницкой АЭС были начаты в весенний период. Задачей при постановке ЭС было выяснение динамики формирования обрастания, при этом предполагалось, что характер динамики на ЭС близок к таковому в системах водоснабжения, куда доступ весьма затруднен.

В весенний период на экспериментальных субстратах отмечалось незначительное количество организмов (рисунок 1, экспозиция 35–40 сут). Численность и биомасса формировались в основном за счет гидр – $86,5$ – $90,8\%$ покрытия.

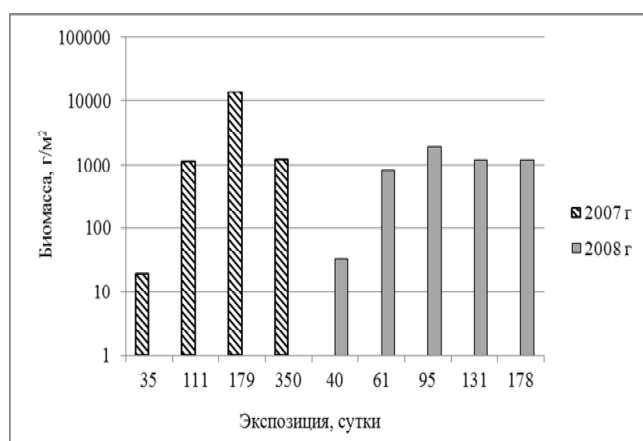


Рисунок 1. Динамика біомаси організмів перифітона на експериментальних субстратах водоема-охладителя ХАЭС в 2007–2008 гг.

В летний период в большем количестве появлялась дрейссена (в 2007 г.) и губка (2008 г.). Происходило усложнение пространственной структуры. В 2007 г. на субстратах формировались сообщества с доминированием дрейссены, до 99% покрытия субстрата. В 2008 г. в этот же период вместо дрейссены, пластины были покрыты губкой (в отдельных случаях покрытие субстрата до 90%), толщина колонии достигала 2,0 см. На субстратах, которые были покрыты губкой, дрейссена почти полностью отсутствовала. Кроме этого, формировались сообщества с доминированием дрейссены, численность которой достигала 66,1%, а биомасса – 72,1%. В осенний период губка практически отсутствовала. По численности доминировали гидры – 80,2%, по биомассе – дрейссена (97,2%).



А



Б

Фото 3. Стенд с экспериментальными субстратами: А – Киевское водохранилище, экспозиция 210 суток (дата съемки 17.11.2010), доминирование дрейссены; Б – Каневское водохранилище, экспозиция 57 суток (дата съемки 01.08.2014), доминирование мшанки

Таблица 1. Характер обрастания ЭС при разных экспозициях на Киевском водохранилище

| Начало экспозиции, дата | Время экспозиции, сут | Субстрат | Биомасса обрастания, г/м ² | Характер сообщества (общий габитус, доминирующие макроформы) |
|-------------------------|-----------------------|-----------|---------------------------------------|---|
| 13.07.2010 | 83 | Цинк | 8,8 | Обрастание незначительное: гидры, велигеры и молодь дрейссены |
| | | Винипласт | 111,9 | |
| 5.10.2010 | 167 | НС | 5037,9 | Скопления особей дрейссены |
| 17.11.2010 | 210 | Винипласт | 12687,1 | Массивное обрастание дрейссеной |

Обсуждение. Исследования на Киевском водохранилище показали, что в качестве контрольного субстрата целесообразно использовать винипласт, поскольку на нем развивается наиболее интенсивное обрастание. Испытуемые покрытия показали определенные антиобрастающие свойства, однако, по мере увеличения экспозиции эти свойства ослабевали. Контроль динамики формирования обрастания показал, что обрастание формируется достаточно быстро и на экспериментальных субстратах сформировалось сообщество, сходное по составу доминантов с теми, что отмечены в системах водоснабжения.

В отличие от Киевского водохранилища, где дрейссена изначально была доминантом, на Каневском водохранилище была получена сложная динамика формирования сообществ, с доминированием как одного, так и двух видов-субэдификаторов, в частности, дрейссены и мшанки. На Хмельницкой АЭС формировались сообщества в основном с доминированием дрейссены, однако именно на экспериментальных субстратах было установлено, что губка может вытеснять прикрепленных моллюсков с субстрата. В дальнейших исследованиях это подтвердилось.

Таблица 2. Характер обрастания ЭС при разных экспозициях на Каневском водохранилище

| Начало экспозиции, дата | Время экспозиции, сут | Субстрат | Биомасса обрастания, г/м ² | Характер сообщества (общий габитус, доминирующие макроформы) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1.08.2014 | 57 | Винипласт | 1167,2 | Слизистые комки мшанки, маленькие колонии губки, единичная дрейссена, доминант – <i>Plumatella fungosa</i> L. |
| | | ПУЭ+хром+антисептик | 2284,3 | Однослойные и многослойные колонии мшанки, доминант – <i>P. fungosa</i> Pallas |
| | | ПУ-лак УР167+цинк+антисептик1234 | 4613,8 | Мощное развитие колоний мшанки, доминанты – <i>P. fungosa</i> и <i>Hyalinella punctata</i> Hanning |
| | | ПУ-лакУР167+цинк | 2447,0 | Многослойные колонии мшанки и единичная дрейссена, доминант – <i>P. fungosa</i> |
| 7.11.2014 | 156 | Винипласт | 290,6 | Зоарии мшанки, колонии губки, друзы дрейссены, доминант |
| | | ПУЭ+хром | 949,8 | Колонии губки, друзы дрейссены |
| 7.11.2014 | 156 | ПУЭ+цинк | 324,5 | Маленькие колонии губки, домики личинок двукрылых, отдельные колонии губки |
| | | ПУЭ+хром+ антисептик | 415,0 | Отдельные особи дрейссены, небольшие колонии губки |

Выводы и рекомендации

Таким образом, на основании результатов исследований динамики обрастания экспериментальных субстратов в водоеме-водоисточнике, подводившем канале можно судить о процессах, которые происходят и в системах водоснабжения АЭС или ГЭС. Было выяснено, что в обрастании исследованных водных объектах имеется три основных группы беспозвоночных, которые доминируют в сообществах: дрейссена, мшанки и губки. Следует применять необрастающие покрытия, ориентированные на ограничение развития каждой из этих групп. Следует учитывать, что такие важные организмы-обрастатели как мшанки имеют быстро растущие колонии, в то же время они довольно быстро отмирают и разрушаются. Необходи-

димо учитывать роль биоценологических связей в оценках эффективности покрытия, поскольку некоторые организмы не развиваются на субстратах не из-за влияния субстрата, а из-за взаимодействия с другими организмами. Необходима разработка покрытий не только с токсичными добавками, но и имеющих малоадгезионные свойства. Такие покрытия, как ПУ-лак УР-167+цинк, ПУЭ+хром, ПУЭ+цинк можно считать наиболее перспективными, обрастания на этих субстратах были меньше чем в контроле. В качестве контрольного субстрата целесообразно использовать винипласт, поскольку на нем развивается наиболее интенсивное обрастание. Перспективным можно считать пластины из оцинкованного металла, на которых обрастание развивалось в минимальном количестве.

Список использованной литературы

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. Лебедева Г.Д. Экология обрастаний в пресных водах // Экологические основы защиты от биоповреждений. – М.: Наука, 1985. – С. 78–85.
3. Разумов А.С. Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и борьбы с ним. – М.: Наука, 1969. – 53 с.
4. Раилкин А. И. Колонизация твердых тел бентосными организмами. – СПб: Изд-во СПб. ун-та, 2008. – 427 с.
5. 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.
6. Smith A.L., Muya R.A. Identify and control microbiological organisms in cooling Water systems // Power. – 1973. – Vol. 117, N 7. – P. 17–19, 91–93.
7. Морозовская И.А., Протасов А.А. Зооперифитон и обрастание в водоемах-охладителях атомных и тепловых электростанций. – Ядерная энергетика та довкілля. – 2013. – № 2. – С. 55–58.
8. Протасов А.А. Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. – К.: Наук. Думка, 1994. – 307 с.
9. Методи гідробіологічних досліджень поверхневих

вод. Киев: Логос. – 2006. – С. 408

журн. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 88–99.

10. Протасов А.А., Гурьянова Г.А., Силаева А.А., Ласковенко Н.Н. Динамика зооперифитона на экспериментальных субстратах в условиях приплотинного участка Киевского водохранилища // Гидробиол.

Получено 15.02.2018

Работа выполнена при поддержке МОН Украины, проект М/22–2018 совместного Украинско-Белорусского сотрудничества.