

**УСКОРЕНИЕ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ МИКРОКОСМА
В ПРИСУТСТВИИ РАСТЕНИЙ:
ИННОВАЦИИ ДЛЯ ФИТОТЕХНОЛОГИИ**

© 2009 г. **Е. В. Лазарева, С. А. Остроумов**

Представлено академиком Г.В. Добровольским 26.09.2008 г.

Поступило 01.10.2008 г.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – важная группа поллютантов, обладающих мембранотропным действием [1, 2].

Высшие растения, в том числе водные, используются как основа для фитотехнологий очищения и ремедиации природной среды, загрязненной различными поллютантами [3]. Водные растения (макрофиты) могут выступать как факторы очищения воды, являясь важной частью природной системы самоочищения воды, проанализированной в работах [1, 2] и др.

Ранее нашей исследовательской группой были выявлены допустимые режимы длительных нагрузок синтетического поверхностно-активного вещества додецилсульфата натрия (SDS) на несколько видов водных растений, включая макрофит *OST1*, что рассматривается как основа для фитотехнологии очищения вод, содержащих это вещество из класса алкилсульфатов.

Однако представляло интерес получить доказательства того, что в присутствии макрофита действительно происходит изменение химического состава воды и снижение концентрации поллютанта. Измерение величины поверхностного натяжения воды позволяет проследить за судьбой добавленного в воду ПАВ. Рабочая гипотеза состоит в том, что макрофит способствует уменьшению концентрации ПАВ в воде и в этом случае после добавки ПАВ в экспериментальные микрокосмы с макрофитом возникает следующая ситуация. Вначале поступление в воду добавленного ПАВ вызывает немедленное снижение поверхностного натяжения воды. Последующее постепенное уменьшение концентрации добавленного ПАВ обуславливает плавный возврат к нормальному уровню поверхностного натяжения (сниженное под действием ПАВ поверхностное натя-

жение восстанавливается до уровня, характерного для чистой воды). Таким образом, если в присутствии макрофита концентрация добавленного в систему ПАВ снижается, то в эксперименте должно наблюдаться постепенное повышение поверхностного натяжения до величины, характерной для чистой воды.

Целью данной работы было подтвердить гипотезу о том, что в присутствии макрофитов может ускоряться процесс постепенного восстановления величины поверхностного натяжения воды после начального резкого снижения, вызванного поступлением в воду ПАВ додецилсульфата натрия.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В опытах использовали макрофиты, которые хорошо зарекомендовали себя в ранее проведенных экспериментах и проявляли достаточно высокую жизнеспособность и устойчивость в условиях воздействия ПАВ (более подробное описание и характеристика использованных водных растений готовятся к печати). В пластиковые сосуды емкостью 1.5 л помещали по 1 л отстоянной водопроводной воды. В сосуды 2, 3, 4 и 4А добавляли по 3 мл раствора SDS (концентрацией 2 г/л). Таким образом, добавляли по 6 мг ПАВ в каждый сосуд. (Добавление SDS в меньшей концентрации – 0.4 мг/л не позволило выявить каких-либо заметных изменений, так как измерения находились на пределе чувствительности метода). Температура в начале опыта 23°C.

В сосуды 4 и 4А, кроме добавления раствора SDS в той же концентрации, как и в сосуды 2 и 3, помещали живую фитомассу макрофита *OST1* (3 г сырой биомассы). В 5-й сосуд помещали фитомассу макрофита *OST1* без добавления SDS. Сосуды выдерживали при комнатной температуре и периодическом освещении лампами дневного света (8 ч в сутки). Через определенное время из сосудов отбирали количество воды, требуемое для

Таблица 1. Влияние макрофита OST1 на изменение поверхностного натяжения растворов SDS (мН/м)

| № опыта | Вариант опыта | Время экспозиции, ч (в скобках – температура, °С) | | | | | | | | | |
|---------|---|---|----------|----------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0.3 (24) | 0.8 (24) | 1.3 (24) | 22.3 (24) | 46 (23) | 70 (23) | 142 (24) | 238 (24) | 406 (24) | 646 (25) |
| 1 | Контроль (H ₂ O _{дист.}) | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 72.28 | 72.28 | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 71.97 |
| 2 | SDS | 68.59 | 69.24 | 68.92 | 68.92 | 68.70 | 69.02 | 68.70 | 69.89 | 72.19 | 71.85 |
| 3 | SDS | 68.59 | 69.24 | 68.92 | 68.92 | 68.70 | 69.35 | 69.24 | 70.22 | 72.19 | 71.84 |
| 4 | SDS + OST1 | 68.59 | 69.89 | 69.57 | 69.57 | 71.30 | 71.16 | 71.92 | 72.18 | 72.49 | 72.29 |
| 4A | SDS + OST1 | 69.24 | 69.89 | 69.24 | 69.24 | 71.63 | 72.28 | 71.92 | 72.18 | 72.49 | 72.29 |
| 5 | OST1 (без SDS) | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 72.28 | 72.28 | 72.18 | 72.18 | 72.18 | 72.29 |

измерения поверхностного натяжения. Поверхностное натяжение измерили методом Вильгельми (метод отрыва пластинки [4]). Этот метод широко применяется на практике для характеристики поверхностного натяжения вод, содержащих различные примеси [4]. Результаты измерений поверхностного натяжения в различные моменты времени (после экспозиции до 646 ч) представлены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных измерений показано, что в микрокосме с макрофитом OST1 происходило восстановление поверхностного натяжения воды до уровня, близкого к величине, характерной для чистой воды, менее чем за трое суток.

Уже через 46 ч инкубации системы, содержащей фитомассу растений, поверхностное натяжение существенно нарастает и приближается к значению дистиллированной воды, в то время как в контроле (без фитомассы растений) значение поверхностного натяжения (68.7 мН/м) остается близким к тому сниженному значению, которое наблюдалось сразу после добавления ПАВ (68.59 мН/м).

Восстановление поверхностного натяжения воды в сосудах без фитомассы растений происходит за значительно более длительный период времени – около 17 сут (табл. 1).

Полученные результаты показали, что в системах с добавленным SDS в присутствии фитомассы макрофита OST1 действительно происходит ускоренное восстановление нормального уровня поверхностного натяжения до величины, характерной для чистой воды. Это согласуется с предположением, что в присутствии макрофита ускоряется исчезновение из воды ПАВ.

Полученные результаты являются новым доказательством важности растений в процессах самоочищения воды и вписываются в предложенную ранее концепцию полифункциональной роли биоты в самоочищении вод [5–9]. Более полное понимание роли организмов в очищении и функционировании водных экосистем имеет значение

для детализации учения о биосфере [10, 11], включая представления об аппарате биосферы [12] и о роли организмов для стабилизации среды. Изучение этих вопросов остается в списке приоритетных задач экологии [13] и вносит вклад в разработку научной основы новых технологий очищения воды, устойчивого использования водных и водно-биологических ресурсов, экологизации экономики и основных сфер жизни общества [14, 15], что является предпосылкой устойчивого развития.

Итак, впервые показано, что в присутствии водных макрофитов происходит ускорение снижения концентрации синтетического ПАВ в водной среде. Выявленный факт может интерпретироваться как свидетельство перспективности использования изученных водных макрофитов для разработки фитотехнологии очищения воды. Авторы в течение нескольких лет ведут экспериментальные исследования, дающие информацию о параметрах устойчивости растений к поллютантам и факторах, важных для использования растений для инновационных экотехнологий. Эти работы были начаты с использованием наземных растений и затем продолжены на водных макрофитах (табл. 2).

Данное направление исследований ведет к разработке методов фиторемедиации и фитотехнологии очищения вод от синтетических ПАВ, которые содержатся в сточных водах многих типов и являются опасными загрязнителями среды [1, 6].

Вышеизложенные опыты вносят вклад в понимание роли растений в судьбе поступающих в воду поллютантов из класса синтетических ПАВ. В 2001 г. в работе [1] был сделан следующий вывод: “Обнаруженная в нашей работе сравнительно высокая толерантность ... растений к синтетическим поверхностно активным веществам может быть использована при фиторемедиации” (стр. 157). Результаты, полученные в опытах, описанных в данной публикации, подтверждают этот вывод.

В данной работе принимала участие аспирантка Е.А. Соломонова.

Таблица 2. Растения (водные и наземные макрофиты), изученные в экспериментальных системах, содержащих загрязняющие вещества (поллютанты)

| Вид растений | Поллютант | Примечание |
|---|------------------------------|---|
| Индивидуальные препараты – ПАВ | | |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench | SDS, сульфонол; ТХ100; ТДТМА | [1, 6] |
| <i>Cucumis sativus</i> L. | SDS, ТДТМА, этоний | [1, 6] |
| <i>Lepidium sativum</i> L. | ТХ100 | [1, 6] |
| <i>Sinapis alba</i> L. | SDS, сульфонол | [1, 6] |
| <i>Zea mays</i> L. | SDS | [1, 6] |
| <i>Elodea canadensis</i> Mchk., | SDS | [3]; в. м. |
| <i>Potamogeton crispus</i> L., | SDS | [3]; в. м. |
| <i>Najas guadelupensis</i> L. | SDS | [3]; в. м. |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> L., | SDS | [3]; в. м. |
| <i>Salvinia natans</i> L., | SDS | [3]; в. м. |
| <i>Salvinia auriculata</i> Aubl. | SDS | [3]; в. м. |
| Индивидуальные препараты – пестициды и др. | | |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench | Лонтрел | [1, 6] |
| <i>Sinapis alba</i> L. | ДНОК | [1, 6] |
| <i>Cucumis sativu</i> sL. | Лонтрел | [1, 6] |
| <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc. | Перхлорат | в. м.; новые результаты (с участием S. McCutcheon, V.A. Nzengung, D.D. Yifru) |
| Смесевые препараты | | |
| <i>Oryza sativa</i> L. | СМС, ПМС | [1, 6] |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench | СМС, ПМС | [1, 6] |
| <i>Cucumis sativus</i> L. | ПМС | [1, 6] |
| <i>Pistia stratiotes</i> L. | ПМС | [1, 6]; в. м. |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> L. | СМС | в. м.; новые результаты (с участием Е.А. Соломоновой) |

Примечание. ТХ100 – Тритон Х100; ТДТМА – тетрадецилтриметиламмоний бромид; СМС – синтетическое моющее средство; ПМС – пеномоющее средство; в. м. – водные макрофиты; ДНОК – динитроортокрезол (2,4-динитро-6-метилфенол).

Авторы благодарят сотрудников МГУ им. М.В. Ломоносова за содействие в выполнении опытов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Остроумов С.А.* Биологические эффекты при воздействии поверхностно-активных веществ на организмы. М.: МАКС-Пресс, 2001. 334 с.
2. *Остроумов С.А.* // ДАН. 2004. Т. 396. № 1. С. 136–141.
3. *Соломонова Е.А., Остроумов С.А.* // Вод. хоз-во России. 2006. № 6. С. 32–39.
4. *Шукин Е.Д.* Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 2006. 444 с.
5. *Ostroumov S.A.* // Riv. biol. 1998. V. 91. № 2. P. 221–232.
6. *Ostroumov S.A.* Biological Effects of Surfactants. Boca Raton; L.; N.Y.: CRC Press; Taylor & Francis, 2006. 279 p.
7. *Ostroumov S.A.* // Hydrobiologia. 2002. V. 469. № 1/3. P. 117–129.
8. *Ostroumov S.A.* // Hydrobiologia. 2002. V. 469. № 1/3. P. 203–204.
9. *Ostroumov S.A.* // Riv. biol. 2004. V. 97. P. 39–50.
10. *Добровольский Г.В.* // Экол. химия. 2007. Т. 16. № 3. С. 135–143.
11. *Добровольский Г.В.* // Вода: технология и экология. 2007. № 1. С. 63–68.
12. *Kapitsa A.P.* // Environ. Ecol. and Safety of Life Activity. 2007. № 1(37). P. 68–71.
13. *Ostroumov S.A., Dodson S., Hamilton D. et al.* // Riv. biol. 2003. V. 96. P. 327–332.
14. *Yablokov A.V., Ostroumov S.A.* Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends, Prospects. B.: Springer, 1991. 272 p.
15. *Яблоков А.В., Остроумов С.А.* Уровни охраны живой природы. М.: Наука, 1985. 176 с.