
ОБЩАЯ
БИОЛОГИЯ

УДК 574.6:574.635

**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; TX100; ТДТМА	[1, 6]
<i>Cucumis sativus</i> L.	SDS, ТДТМА, этоний	[1, 6]
<i>Lepidium sativum</i> L.	TX100	[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. TX100 – Тритон X100; 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.