

ИЗУЧЕНИЕ фиторемедиационного ПОТЕНЦИАЛА ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ *Lilaeopsis brasiliensis* и *Utricularia gibba*

Изучены изменения концентраций тяжелых металлов в растворах экспериментальных систем. Концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) измеряли методом инверсионной вольтамперометрии. После двух суток инкубации, концентрации тяжелых металлов во всех микрокосмах с макрофитами (*Lilaeopsis brasiliensis*, *Utricularia gibba*) уменьшались.

Введение

Исследование антропогенных воздействий на водные экосистемы – одно из важнейших направлений современной науки, необходимых для устойчивого социально-экономического развития и экологической безопасности. Среди потенциально опасных воздействий на водные экосистемы – загрязнение их химическими веществами [1-5].

При анализе проблем химического загрязнения водоемов и водотоков среди важнейших загрязняющих веществ с полным основанием рассматривают тяжелые металлы (ТМ), пестициды, нефтепродукты, хлорорганические соединения и ряд других веществ, которые являются приоритетными при экологическом и гидробиологическом мониторинге [1, 3, 5].

В последнее время все острее стоит проблема загрязнения окружающей среды вредными компонентами. К их числу прежде всего относятся некоторые ТМ [1, 4-6]. Было установлено, что основным путем (до 70 %) поступления их в организм человека являются пищевые продукты [5].

Вследствие антропогенного влияния в окружающую среду, и в частности в пресноводные системы, в глобальном масштабе поступают большие количества токсичных металлов, включая особо опасные: Hg, Cu, Zn, Pb, Cd и др. [1-4].

Ранее были опубликованы работы по изучению взаимодействия ТМ с водными макрофитами [4].

В.А. Поклонов*,

аспирант
биологического
факультета, ГОУ ВПО
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

С.А. Котелевцев,

доктор биол. наук,
ведущий научный
сотрудник
биологического
факультета, ГОУ ВПО
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

Т.В. Шестакова,

кандидат химических
наук, старший
научный сотрудник
геологического
факультета, ГОУ ВПО
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова



Цель работы – изучить фиторемедиационный потенциал двух видов макрофитов в микрокосмах с ТМ.

Материалы и методы исследования

В работе использовали два вида макрофитов: лилеопсис бразильский (*Lilaeopsis brasiliensis* Affolter) и пузырчатку горбатую (*Utricularia gibba* Linne).

Использован исходный раствор металлов следующего состава: Zn (3 мг/л), Cu (3 мг/л), Pb (0,2 мг/л), Cd (0,1 мг/л); pH раствора 6,5.

Температура растворов в микрокосмах во время эксперимента составляла $20,5 \pm 2,5$ °С. Были созданы семь микрокосмов. Из них 3 микрокосма содержали *Lilaeopsis brasiliensis*, 3 микрокосма – *Utricularia gibba* и один микрокосм был без растений, но с раствором ТМ. (табл. 1). В микрокосмы добавляли растворы ТМ (начальные концентрации в микрокосмах: Zn 3 мг/л, Cu 3 мг/л, Pb 0,2 мг/л, Cd 0,1 мг/л). В микрокосме без растений тоже содержался этот раствор. Во всех мик-

* Адрес для корреспонденции: ar55@yandex.ru

рокосмах было по 100 мл водной среды. Микрокосмы инкубировали в течение 2 сут. Из воды микрокосмов и контрольных инкубационных сосудов отбирались образцы для проведения химического анализа. За время инкубации образцы для анализа брали 3 раза – спустя 3 ч после начала инкубации, далее через 1 и 2 сут. Анализ проводился на инверсионном вольтамперометрическом анализаторе АКВ-07МК (ООО Аквилон, РФ) с трехэлектродной системой, представленной следующими электродами:

- 1) вращающийся углеситаловый измерительный электрод;
- 2) хлорсеребряный электрод сравнения, заполненный насыщенным раствором КСl;
- 3) третьим электродом служил стеклоуглеродный тигель, в котором происходил электролиз [4].

Результаты и их обсуждение

Наблюдения показали, что во время инкубации испытуемые макрофиты сохраняли жизнеспособность.

Оба вида макрофитов способствовали снижению концентрации металлов в водной среде (табл. 2 и 3). После 2 сут инкубации в микрокосмах с *L. brasiliensis* концентрация меди снижалась на 90,2 %, свинца – на 92,3%. В микрокосмах с *Utricularia gibba* концентрация меди снижалась на 88,8 %, концентрация свинца на 91,5 %. Макрофиты удаляли из воды цинк медленнее, чем остальные металлы. Удаление кадмия из воды макрофитами *L. brasiliensis* составило 71 %, *U. gibba* 68 %. Наибольшее количество цинка было удалено на 2 сут в микрокосмах с *Utricularia gibba* (70%). В микрокосм с *Lilaeopsis brasiliensis* максимальное удаление цинка было только на 40 %.

По результатам этого эксперимента можно провести ранжирование металлов по степени

Таблица 1

Макрофиты в экспериментальных микрокосмах, сырой вес растений. Указаны виды, использованные в эксперименте

№ микрокосма	Вид растения	Биомасса растений, сырой вес, г
1	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	6,9
2	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	5,6
3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	6,5
4	<i>Utricularia gibba</i>	4,6
5	<i>Utricularia gibba</i>	7,0
6	<i>Utricularia gibba</i>	5,0
7		0

В.Л. Шелейковский,
главный специалист,
Главный
ботанический сад
Российской
академии наук

С.А. Остроумов,
доктор биологических
наук, ведущий
научный сотрудник
биологического
факультета, ГОУ ВПО
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

их удаления макрофитами из водной среды. Ниже металлы расположены в ряд в порядке, который соответствует степени снижения их концентрации в водной среде в присутствии макрофитов. Ряды начинаются со свинца, снижение концентрации которого при инкубации было максимальным.

Для *U. gibba*: Pb > Cu > Zn > Cd.

Для *L. brasiliensis*: Pb > Cu > Cd > Zn.

Таким образом, особенно яркий фиторемедиационный эффект наблюдался для свинца и меди.

Необходимо отметить, что водные растения являются важным компонентом водных экосистем, существенным для их функционирования [7]. Высшие водные растения вносят вклад в функционирование системы самоочищения воды в водных экосистемах [8-10]. Поэтому получение дополнительной информации о роли двух конкретных видов водных растений в снижении концентрации опасных загрязняющих веществ (ТМ) в воде вносит вклад в дальнейшую детализацию представлений о биотическом самоочищении воды, подтверждает теорию, сформулированную в работах [8, 10].

Заключение

В условиях экспериментальных микрокосмов макрофиты *Lilaeopsis brasiliensis* и *Utricularia gibba* сохранили жизнеспособность при загрязнении водной среды растворами ТМ. Оба вида макрофитов продемонстрировали способность к эффективному удалению ТМ и могут использоваться для фиторемедиации.

Полученные результаты полезны для понимания экологической роли водных организмов – высших растений *Lilaeopsis brasiliensis* и *Utricularia gibba* при загрязнении водных экосистем ТМ для детализации теории их биотического самоочищения.



Таблица 2

Динамика концентраций тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd) в водной среде микрокосмов при инкубации в присутствии макрофитов двух видов

№ микрокосма	Виды макрофитов в составе микрокосмов	Концентрации тяжелых металлов, мг/л				Температура +°C	Длительность инкубации
		Cu	Zn	Pb	Cd		
7	Без макрофитов (контроль)	2,9	2,1	0,14	0,1	18	3 ч
1	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,9	1,43	0,09	0,06		
2	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	1	1,7	0,12	0,07		
3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,8	1,9	0,1	0,06		
	Среднее значение	0,9	1,67	0,1	0,06		
4	<i>Utricularia gibba</i>	1,3	1,4	0,14	0,04		
5	<i>Utricularia gibba</i>	1,5	1,6	0,09	0,045		
6	<i>Utricularia gibba</i>	1,3	1,6	0,09	0,055		
	Среднее значение	1,36	1,53	0,1	0,04		
7	Без растений (контроль)	2,7	2	0,13	0,076		
1	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,57	1,34	0,09	0,058		
2	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,53	1,68	0,1	0,065		
3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,49	1,9	0,1	0,059		
	Среднее значение	0,53	1,64	0,09	0,06		
4	<i>Utricularia gibba</i>	0,48	1,18	0,01	0,028		
5	<i>Utricularia gibba</i>	0,36	1,4	0,01	0,03		
6	<i>Utricularia gibba</i>	0,36	1,4	0,01	0,026		
	Среднее значение	0,4	1,32	0,01	0,028		
7	Без растений (контроль)	2,5	1,9	0,13	0,074	23	2 сут
1	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,24	0,95	0,01	0,022		
2	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,2	1,15	0,01	0,02		
3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	0,25	1,36	0,01	0,021		
	Среднее значение	0,23	1,15	0,01	0,021		
4	<i>Utricularia gibba</i>	0,3	0,8	0,013	0,025		
5	<i>Utricularia gibba</i>	0,28	0,5	0,01	0,02		
6	<i>Utricularia gibba</i>	0,28	0,4	0,012	0,024		
	Среднее значение	0,28	0,56	0,011	0,023		

Таблица 3

Средние значения концентраций тяжелых металлов в водной среде микрокосмов после 2 сут инкубации. В качестве контроля использовали микрокосм без макрофитов (микрокосм № 7)

№ № микрокосмов	Вид макрофитов в микрокосме	Единицы измерения концентрации металлов	Концентрация тяжелых металлов (в указанных слева единицах)			
			Cu	Zn	Pb	Cd
7	Без макрофитов (контроль)	мг/л	2,5	1,9	0,13	0,074
1, 2, 3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	мг/л	0,23	1,15	0,01	0,021
4, 5, 6	<i>Utricularia gibba</i>	мг/л	0,28	0,56	0,011	0,023
7	Без макрофитов (контроль)	% от контроля	100	100	100	100
1, 2, 3	<i>Lilaeopsis brasiliensis</i>	% от контроля	9,2	60,5	7,7	28,4
4, 5, 6	<i>Utricularia gibba</i>	% от контроля	11,2	29,5	8,5	31,1

Литература

1. Моисеенко Т.И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т.И. Моисеенко, Л.П. Кудрявцева, Н.А. Гашкина. М.: Наука, 2006. 261 с.
2. Остроумов С.А. Биологические эффекты при воздействии поверхностно-активных веществ на организмы. М.: МАКС Пресс, 2001. 334 с.
3. Остроумов С.А. Биологические эффекты поверхностно-активных веществ в связи с антропогенными воздействиями на биосферу. М.: МАКС Пресс, 2000. 116 с.
4. Остроумов С.А. Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентрации меди, свинца и других тяжелых металлов в воде / С.А. Остроумов, Т.В. Шестакова, С.В. Котелевцев, Е.А. Соломонова, Е.Г. Головня, В.А. Поклонов // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С.60-61.
5. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов: пер.с англ. / Под ред.

Ключевые слова:

водные макрофиты, фиторемедиация, *Lilaeopsis brasiliensis*, *Utricularia gibba*, Zn, Cu, Pb, Cd, тяжелые металлы, микрокосмы, инверсионная вольтамперометрия

- И.М. Скурихина. М.: Агропромиздат, 1985. 183 с.
6. Ягодин Б.А. Тяжелые металлы в системе почва – растение / Б.А. Ягодин, В.В. Кидин, Э.А. Цвирко, В.Н. Маркелова, С.М. Саблина // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С 43-45.
7. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
8. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. М.: МАКС Пресс, 2008. 200 с.
9. Ермаков В.В. О книге С.А.Остроумова «Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов» // Вода: химия и экология. 2009. № 8. С. 25-29.
10. Остроумов С.А. О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // ДАН. 2004., Т. 396. С. 136-141.



V.A. Poklonov, S.A. Kotelevtsev, T.V. Shestakova, V.L. Sheleykovsky, S.A. Ostroumov

STUDYING THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF AQUATIC PLANTS *LILAEOPSIS BRASILIENSIS* AND *UTRICULARIA GIBBA*

Changes in concentrations of heavy metals in the solutions of experimental systems have been studied. The concentrations of the heavy metals (Zn, Cu, Pb, Cd) were measured by the method of inversion

voltamperometry. After two days of incubation, the concentrations of the heavy metals in all microcosms with the macrophytes (*Lilaeopsis brasiliensis*, *Utricularia gibba*) decreased.

Key words: aquatic macrophytes, phytoremediation, *Lilaeopsis brasiliensis*, *Utricularia gibba*, Zn, Cu, Pb, Cd, heavy metals, microcosms, inversion voltamperometry