

УДК 544.7:628.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (МЕДИ И КАДМИЯ) С БИОМАССОЙ БРИОФИТО- ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА: НА ПУТИ К ФИТОТЕХНОЛОГИИ ОЧИЩЕНИЯ ВОДЫ

© 2012 г. А.Е. Жбанов, С.А. Остроумов

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

Ключевые слова: медь, кадмий, водный микрокосм, связывание, иммобилизация, биомасса.

С помощью метода атомно-абсорбционной спектрометрии концентрации нескольких элементов (Cu, Cd, Fe, Mn, Ni, As) были измерены в биомассе сообщества бриофитов ОСТ-1, на которых росли синезеленые водоросли (*Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp.). Биомассу бриофито-цианобактериального сообщества инкубировали в водной среде с добавлением меди Cu (4 мг/кг) и кадмия Cd (0,01 мг/кг). В отличие от Cu и Cd, железо (Fe), марганец (Mn), никель (Ni) и мышьяк (As) в водную среду микрокосма не добавляли. Было обнаружено, что после инкубации концентрации Cu и Cd в образцах биомассы увеличилась. Концентрации Fe, Mn, Ni, As в ходе инкубации не изменились. Результаты вносят вклад в научные основы экотехнологии фиторемедиации.



А.Е. Жбанов



С.А. Остроумов

Введение

Большие масштабы химического загрязнения вод делают целесообразным поиск и разработку технологий очистки вод [1–11], которые обладают комплексом полезных характеристик: низкими стоимостью и потреблением энергии, применимостью в случае загрязнения вод несколькими веществами.

Водное хозяйство России № 1, 2012

Водное хозяйство России

Среди технологий, обладающих этими характеристиками – технологии, основанные на применении растений (фитотехнологии, фиторемедиация).

Одним из важных типов химического загрязнения вод является загрязнение тяжелыми металлами [8, 9, 12–14]. С учетом задач разработки фитотехнологии очищения воды от тяжелых металлов были исследованы несколько видов водных растений и была выявлена их способность снижать содержание в воде меди и кадмия [1–4].

Было показано, что наличие в водных микрокосмах, которые моделировали водные экосистемы, биомассы этих водных растений способствовало снижению концентрации добавленных в водную среду тяжелых металлов [1–4], что свидетельствует о потенциальной способности растений иммобилизовывать эти металлы. Представляет интерес расширение сведений о способности и других растений или компонентов модельной водной экосистемы иммобилизовывать тяжелые металлы.

В водных экосистемах иногда наблюдается образование сообщества цианобактерий на поверхности макроскопических водных растений (макрофитов). Представляет интерес получение информации о том, может ли комплекс видов, включающий и макрофит, и цианобактерии на его поверхности, иммобилизовывать тяжелые металлы и тем самым способствовать снижению концентрации тяжелых металлов в воде.

Цель данного краткого сообщения – изложить результаты изучения взаимодействия водной среды, содержащей медь и кадмий, с биомассой бриофито-цианобактериального сообщества в условиях модельной водной экосистемы (микрокосма). Биомасса была представлена бриофитом ОСТ-1 [5, 14] и растущими на поверхности бриофита цианобактериями *Phormidium* и *Oscillatoria*.

Методика

Методика проведения опытов описана в публикациях [3, 4]. Проводили инкубацию биомассы в присутствии смеси тяжелых металлов (Cu, Cd). Состав микрокосмов во время инкубации приведен в табл. 1.

Выбор концентраций тяжелых металлов был сделан с учетом того факта, что значения ПДК на кадмий устанавливаются значительно меньшими, чем на медь, а также с учетом ранее проведенных экспериментов [4]. Подробнее о выборе концентраций – в следующем разделе (результаты).

В качестве исходных водных растворов ионов металлов использовали ГСО (государственные стандартные образцы) с массовой концентрацией 1 мг/см³ при температуре 20 °С. Были использованы следующие ГСО: Cd ГСО 7773 2000 в 1 М азотной кислоте, Cu ГСО 7764 2000 в 0,5 М серной кислоте. С использованием последовательных разведений был приготовлен раствор, внесенный в систему с биомассой сообщества.

Таблица 1. Состав микрокосмов, в которых проводили инкубацию биомассы бриофито-цианобактериального сообщества

Номер микрокосма	Добавление тяжелых металлов	Общий объем водной среды в микрокосме, мл	Биомасса сообщества бриофита и цианобактерий, г, сухой вес
1	Нет (контроль)	100	1,16
2	Нет (контроль)	100	0,94
3	Cu – 4 мг/л; Cd – 0,01 мг/л	100	0,91
4	Cu – 4 мг/л; Cd – 0,01 мг/л	100	1,38

Инкубацию проводили в течение 24 часов при температуре 14 °С. После инкубации был проведен анализ элементного состава биомассы бриофито-цианобактериального сообщества методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Перед проведением анализа биомассу бриофито-цианобактериального сообщества промывали деионизованной водой (Millipore DirectQ3, 18 МΩ · см, 25 °С), высушивали на воздухе, а затем при температуре 110 °С до постоянного веса (3 ч). К сухим образцам биомассы, количественно перенесенными во фторопластовые стаканы для кислотной минерализации, добавляли 3 мл воды и 6 мл концентрированной азотной кислоты (Merck, Nitric acid 65 % Suprapur), выдерживали 2 ч при комнатной температуре, затем подвергали автоклавному нагреву 2 ч при температуре 180 °С.

Анализ проводили на спектрометрах Varian 240 FS (пламенная атомизация, определение меди, марганца и железа; в пяти повторностях) и Varian 240 Z (электротермическая атомизация, определение кадмия, никеля и мышьяка; в трех повторностях). Для калибровки использовался стандартный мультиэлементный раствор металлов в азотной кислоте (Merck, ICP multi-element standard solution IV).

Результаты

Использованные в данной работе концентрации меди и кадмия были взяты на основе предыдущих экспериментов [4] и с учетом существующих ПДК. ПДК кадмия для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 0,001 мг/л, т. е. в 1000 раз меньше, чем соответствующее значение ПДК меди (для меди эта величина установлена на уровне 1 мг/л) [4]. В соответствии с этим и в данном эксперименте

концентрация кадмия была меньше, чем для меди. Медь была взята в значительной концентрации еще и потому, что в реальных сточных водах ее концентрации могут достигать больших величин [13].

Для создания возможности сопоставления, концентрации меди и кадмия были взяты именно такими, как в предыдущих экспериментах, которые дали примечательные результаты. В опытах, описанных в [4], до контакта с биомассой концентрации металлов в водной среде были значительно выше ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: концентрация меди превышала ПДК в два раза, концентрация кадмия превышала ПДК в 10 раз. После контакта с биомассой концентрации в водной среде понизились. А именно, концентрация меди стала ниже ПДК; концентрация кадмия снизилась в 5 раз и превышала ПДК, но значительно меньше, чем в начале инкубации – после 10 дней инкубации уровень кадмия в воде превышал ПДК всего лишь в 2 раза (а не в 10 раз, как при добавлении кадмия в водную среду в начале инкубации) [4].

Новый эксперимент выявил следующие результаты измерений содержания элементов в биомассе, которые приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что содержание обоих элементов (меди и кадмия) в биомассе бриофито-цианобактериального сообщества после инкубации значительно выросло. Среднее содержание меди увеличилось с 67,6 до 273,6 мкг/г сухого веса, т. е. более чем в 4 раза. Среднее содержание кадмия выросло с 1,4 до 9,2 мкг/г сухого веса, т. е. более чем в 6 раз.

Среднее содержание в биомассе бриофито-цианобактериального сообщества других элементов, которые не добавлялись в среду инкубации, не увеличивалось. Так, средняя концентрация железа в биомассе в контроле и опыте было практически одинаковым 1561–1674 мкг/г сухого веса биомассы. Содержание нескольких других элементов, которые не добавляли в среду инкубации (Mn, Ni, As), также практически не изменилось.

Таблица 2. Содержание элементов (меди, кадмия, марганца, никеля, мышьяка, железа) в образцах биомассы бриофито-цианобактериального сообщества, мкг/г сухого веса

Номер микрокосма	Элементы					
	Cu	Cd	Mn	Ni	As	Fe
1	70,0	1,6	163,1	9,10	26,9	1737,7
2	65,1	1,2	153,6	14,30	23,5	1609,5
Среднее (контроль)	67,55	1,4	158,35	11,7	25,2	1673,6
3	306,1	10,4	162,2	7,84	20,8	1445,1
4	241,0	7,9	152,0	8,40	16,3	1675,9
Среднее (опыт)	273,55	9,15	157,1	8,12	18,55	1560,5

Полученные данные свидетельствуют о способности биомассы бриофито-цианобактериального сообщества осуществлять иммобилизацию растворенных в водной среде металлов (меди и кадмия).

Полученные результаты согласуются с ранее проведенными опытами на других видах растений [1–4], где также наблюдали снижение концентрации меди и кадмия в водной среде после инкубации этой водной среды вместе с биомассой водных растений. Результаты опытов вносят вклад в базу данных о взаимодействии организмов с загрязняющими веществами [6–12, 15], в т. ч. о взаимодействии водных растений и сообществ с тяжелыми металлами, что полезно для разработки научных основ фиторемедиации загрязненных водных сред [6, 14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Остроумов С.А., Шестакова Т.В., Котелевцев С.В., Соломонова Е.А., Головня Е.Г., Поклонов В.А.* Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентраций меди, свинца и других тяжелых металлов в воде // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 58–67.
2. *Остроумов С.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В., Колотилова Н.Н., Поклонов В.А., Соломонова Е.А.* Новое о фиторемедиационном потенциале: ускорение снижения концентраций тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) в воде в присутствии элодеи // Экологическая химия. 2009. Т. 18. № 2. С. 111–119.
3. *Остроумов С.А., Поклонов В.А., Шелейковский В.Л., Шестакова Т.В., Котелевцев С.В., Козлов Ю.П.* Методические вопросы и оценка фитотоксичности смеси тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) для пяти видов макрофитов (*Utricularia gibba* и другие) в условиях микрокосмов // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2010. Т. 15. Р. 87–91.
4. *Остроумов С.А., Шестакова Т.В.* Снижение измеряемых концентраций Cu, Zn, Cd, Pb в воде экспериментальных систем с *Ceratophyllum demersum*: потенциал фиторемедиации // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 2. С. 282–285.
5. *Уланова А.Ю., Остроумов С.А.* Использование растений для фиторемедиации и изучение ассимиляционной емкости систем с макрофитами // Водные экосистемы и организмы. М.: Диалог-МГУ, 1999. 57 с.
6. *Остроумов С.А.* Экологическая теория гидробиологического самоочищения вод. От теории биотического самоочищения вод к экотехнологии и фитотехнологии очищения и оздоровления водных объектов (фиторемедиация, биоремедиация, зооремедиация) // Проблемы экологии и гидробиологии. М.: МАКС Пресс, 2008. С. 3–16.
7. *Добровольский Г.В.* К 80-летию выхода в свет книги В.И. Вернадского «Биосфера». Развитие некоторых важных разделов учения о биосфере // Экологическая химия. 2007. Т. 16 (3). С. 135–143.
8. *Моисеенко Т.И.* Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
9. *Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А.* Микроэлементы в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции // Доклады Академии наук. 2005. Т. 405. № 3. С. 395–400.
10. *Ермаков В.В.* О книге «Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов» // Вода: химия и экология. 2009. № 8. С. 25–29.

11. Брагинский Л.П., Сиренко Л.А. Всесторонний анализ токсикологической опасности поверхностно-активных веществ для гидробионтов // Гидробиологический журнал. 2003. Т. 39. № 3. С. 115–118.
12. Rand G. Fundamentals of Aquatic Toxicology. Philadelphia: Taylor and Francis, 1995. 1126 p.
13. Янин Н.П. Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы: сб., М.: Наука, 2003. С. 37–75.
14. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. М.: МАКС Пресс, 2008. 200 с.
15. Химико-биотические взаимодействия // Библиографическая информация. Режим доступа: <http://www.scribd.com/doc/62341906/>

Сведения об авторах:

Остроумов Сергей Андреевич, д. б. н., ведущий научный сотрудник, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), 119991, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: Ar55@yandex.ru

Жбанов Алексей Евгеньевич, аспирант, биологический факультет, МГУ, Москва