

# ФИТО-ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА: потенциал фиторемедиации **ВОДНОЙ СРЕДЫ**

**Изучено взаимодействие фито-цианобактериальной биомассы с водной средой, содержащей тяжелые металлы в растворенной форме. С помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии концентрации нескольких элементов (Cu, Cd, Fe, Mn, Ni, As) были измерены в биомассе сообщества бриофитов ОСТ-1, на которых росли сине-зеленые водоросли (*Phormidium sp.*, *Oscillatoria sp.*). Биомассу бриофито-цианобактериального сообщества инкубировали в водной среде с добавленными Cu (4 мг/л) и Cd (0,01 мг/л). Fe, Mn, Ni и As в водную среду микрокосма не добавляли. Было обнаружено, что после инкубации концентрации Cu и Cd в образцах биомассы увеличились, Fe, Mn, Ni, As в ходе инкубации не изменились. Результаты вносят вклад в научные основы экотехнологии фиторемедиации, а также в исследования химико-биотических взаимодействий в водной среде.**



## Введение

**Б**ольшие масштабы химического загрязнения вод делают целесообразным поиск и разработку технологий очищения вод, которые обладают комплексом полезных характеристик: низкой стоимостью, низким потреблением энергии, применимостью в случае загрязнения вод несколькими веществами. Такими характеристиками обладают технологии, основанные на применении растений (фитотехнологии, фиторемедиация).

Одним из важных типов химического загрязнения вод является загрязнение тяжелыми металлами (ТМ).

С учетом задач разработки фитотехнологии очищения воды от ТМ исследованы несколько видов водных растений и была выявлена их способность снижать содержание в воде Cu и Cd [1-4].

Было показано, что наличие биомассы этих растений в водных микрокосмах, которые моделировали водные экосистемы, способст-

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

**А.Е. Жбанов**,  
аспирант биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

вовало снижению концентрации добавленных в водную среду ТМ [1-4]. Это свидетельствовало о потенциальной способности растений иммобилизовывать эти металлы. Необходимо расширение сведений о способности и других растений или компонентов модельной водной экосистемы иммобилизовывать ТМ.

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 ТМ и тем самым способствовать снижению их концентрации в воде.

Цель данного краткого сообщения - изложить результаты изучения взаимодействия

\* Адрес для корреспонденции: Ar55@yandex.ru

**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

водной среды, содержащей Cu и Cd, с биомассой бриофито-цианобактериального сообщества в условиях модельной водной экосистемы (микрокосма). Биомасса была представлена бриофитом ОСТ-1 [5] и растущими на поверхности бриофита цианобактериями *Phormidium* и *Oscillatoria*.

### Материалы и методы исследования

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

Инкубацию проводили в течение 24 ч при температуре 14 °С.

После инкубации (24 ч, 14 °С) был проведен анализ элементного состава биомассы бриофито-цианобактериального сообщества методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Перед проведением анализа биомассу бриофито-цианобактериального сообщества промывали деионизованной водой («Millipore» DirectQ3, 18mΩ, 25 °С), высушивали на воздухе, а затем при температуре 110 °С до постоянного веса (3 ч). К сухим образцам биомассы, количественно перенесенным 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 Cu, Mn и Fe в пяти повторностях) и «Varian 240 Z» (электротермическая атомизация, определение Cd, Ni и As в трех повторностях). Для калибровки использовался

стандартный мультиэлементный раствор металлов в азотной кислоте («Merck», ICP multi-element standard solution IV).

### Результаты и их обсуждение

Результаты измерений содержания элементов приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что содержание добавленных в среду Cu и Cd в биомассе бриофито-цианобактериального сообщества после инкубации значительно выросло. Среднее содержание Cu увеличилось с 67,55 до 273,55 мкг/г сухого веса, т.е. более чем в 4 раза. Среднее содержание Cd выросло с 1,4 до 9,15 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 Fe в биомассе в контроле и опыте была практически одинаковой, 1561-1674 мкг/г сухого веса биомассы. Содержание нескольких других элементов, которые не добавляли в среду инкубации (Mn, Ni, As), также практически не изменилось.

### Заключение

Полученные данные свидетельствуют о способности биомассы бриофито-цианобактериального сообщества осуществлять иммобилизацию растворенных в водной среде металлов (Cu и Cd). Результаты согласуются с ранее проведенными опытами на других видах растений [1-4], где также наблюдали иммобилизацию этих металлов биомассой. Результаты опытов вносят вклад в базу данных о взаимодействии организмов с загрязняющими веществами [6-15], в том числе о взаимодействии вод-

**Таблица 2**

Содержание элементов 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
<b>Среднее (контроль)</b>	<b>67,55</b>	<b>1,4</b>	<b>158,35</b>	<b>11,7</b>	<b>25,2</b>	<b>1673,6</b>
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
<b>Среднее (опыт)</b>	<b>273,55</b>	<b>9,15</b>	<b>157,1</b>	<b>8,12</b>	<b>18,55</b>	<b>1560,5</b>

ных растений и сообществ с ТМ, что полезно для разработки научных основ фиторемедиации загрязненных водных сред [6].

Полученные данные дополняют научные сведения о сопряжении гидробиологических и геохимических процессов, что представляет собой один из фундаментальных вопросов современных наук о биосфере [16-22].

### Литература

1. Остроумов С.А. Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентраций 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. 58 – 67.
2. Остроумов С.А. Новое о фиторемедиационном потенциале: ускорение снижения концентраций тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) в воде в присутствии элодеи / С.А. Остроумов, С.В. Котелевцев, Т.В. Шестакова, Н.Н. Колотилова, В.А. Поклонов, Е.А. Соломонова // Экологическая химия, 2009. Т. 18. № 2. С. 111-119.
3. Остроумов С.А. Методические вопросы и оценка фитотоксичности смеси тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) для пяти видов макрофитов (*Utricularia gibba* и другие)

### Ключевые слова:

водные растения,  
цианобактерии,  
медь,  
кадмий,  
водный микрокосмос,  
связывание,  
иммобилизация,  
биомасса

в условиях микрокосмов / С.А. Остроумов, В. А. Поклонов, В.Л. Шелейковский, Т.В. Шестакова, С.В. Котелевцев, Ю.П. Козлов, // Ecological Studies, Hazards, Solutions, 2010, Т.15, С.87-91. (даты на англ. языке, единообразно)

4. Остроумов С.А. Снижение измеряемых концентраций Cu, Zn, Cd, Pb в воде экспериментальных систем с *Ceratophyllum demersum*: потенциал фиторемедиации / С. А. Остроумов, Т. В. Шестакова // Доклады Академии Наук, 2009. Т. 428. № 2. С.282-285.
5. Уланова А.Ю. Использование растений для фиторемедиации и изучение ассимиляционной емкости систем с макрофитами / А.Ю. Уланова, С.А. Остроумов // Водные экосистемы и организмы. М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 57.
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 / Под ред. Тодераш И.К., Остроумов С.А., Зубкова Е.И. 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 уче-



- ния о биосфере // Экологическая химия. 2007. Т.16 (3). С. 135–143.
8. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. 2009. М.: Наука. 400 с.
9. Моисеенко Т.И. Микроэлементы в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции / Т.И. Моисеенко, Н.А. Гашкина // 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. Всесторонний анализ токсикологической опасности поверхностно-активных веществ для гидробионтов / Л.П. Брагинский, Л.А. Сиренко // Гидробиологический журнал, 2003. Т. 39. № 3. С. 115-118.
12. Rand G. Fundamentals of Aquatic Toxicology. 2nd edition. Philadelphia: Taylor and Francis. 1995. 1126 p.
13. Остроумов С.А. Связь процессов самоочищения воды и экологической репарации // Вода: химия и экология. 2009. № 12. С. 29-34.
14. Остроумов С.А. Изучение водных микроскопов с моллюсками и растениями: содержание химических элементов в детрите / С.А. Остроумов, Г.М. Колесов, Ю.А. Моисеева // Вода: химия и экология, 2009. № 8. С. 18-24.
15. Добровольский Г.В. О развитии некоторых концепций учения о биосфере // Вода: технология и экология, 2007. № 1. С.63-68.
16. Скурлатов Ю.И. Введение в экологическую химию / Ю.И. Скурлатов, Г.Г. Дука, А. Мизити. М.: Высшая школа. 1994. 400 с.
17. Абакумов В.А. Новое в изучении водных экосистем и организмов: концепция экологической репарации // Вода: технология и экология. 2007. № 2. С.70-71.
18. Абакумов В.А. Новое о ремедиации и восстановлении загрязненных водных систем // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2007. № 2 (4). С. 98-100.
19. Федонкин М.А. Об исследованиях связи вопросов самоочищения воды и биогенной миграции элементов в биосфере // Экологическая химия, 2009. Т. 18(1). С. 60–61.
20. Остроумов С.А. Выявление урана и тория в компонентах водных экосистем методом нейтронно-активационного анализа / С.А. Остроумов, Г.М. Колесов // Вода: химия и экология, 2009. № 10. С. 36-40.
21. Остроумов С.А. Сопряжение геохимических и гидробиологических процессов / С.А. Остроумов, Л.Л. Демина, Г.М. Колесов, Т.В. Шестакова, А.А. Солдатов, И.К. Тодераш, Е.И. Зубкова // В сб. Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии. Материалы биогеохимических чтений памяти В.В. Ковальского. М., ГЕОХИ, 2010. С. 152-160.
22. Eisler R. Compendium of trace metals and marine biota, 2010. V. 1. Oxford: Elsevier. 638 p.



A.E Zhanov, S.A. Ostroumov

## PHYTO-CYANOBACTERIAL SYSTEM: POTENTIAL FOR WATER MEDIUM PHYTOREMEDIATION

Interactions between the phyto-cyanobacterial biomass and aquatic solution of heavy metals were studied. Using the method of atomic absorption spectrometry (AAS), the concentrations of some elements (Cu, Cd, Fe, Mn, Pb, Ni, and As) were measured in the biomass of a bryophyte OST-1 with cyanobacteria (*Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp.)

after its incubation in the aquatic medium with added Cu (4 mg/kg) and Cd (0.01 mg/kg). Fe, Mn, Pb, Ni, and As were not added to the aquatic medium. It was found that after the incubation the concentrations of Cu and Cd increased. The concentrations of Fe, Mn, Pb, Ni, and As in the biomass did not change in the course of the

incubation of the biomass. The results contribute to the scientific basis for developing phytoremediation, and studying chemico-biotic interactions in water.

**Key words:** aquatic plants, cyanobacteria, copper, cadmium, aquatic microcosm, binding, immobilization, biomass