



Водоподготовка и водоочистка

УДК 628.54

К разработке биотехнологии очищения воды с использованием ацидофильных водорослей: результаты анализа методом ICP-MS

В. В. ПУХОВ, канд. геол.-мин. наук; **Т. Н. ЛУБКОВА**, канд. геол.-мин. наук;
Т. В. ШЕСТАКОВА, канд. хим. наук; **И. В. ТРОПИН**, канд. биол. наук;
С. В. КОТЕЛЕВЦЕВ, д-р биол. наук; **С. А. ОСТРОУМОВ**, д-р биол. наук
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

Токсичные металлы входят в число загрязняющих веществ, наиболее опасных для водных экосистем. Взаимодействие меди и других тяжелых металлов с биомассой водорослей представляет интерес для экологии и биотехнологии. Ведутся разработки технологии очищения воды на основе явления сорбции загрязняющих воду веществ сорбентами биологического происхождения. Рассмотрено взаимодействие уникальной одноклеточной экстремофильной (термофильной, ацидофильной) водоросли *Galdieria sulphuraria* с металлами в водной среде. Этот одноклеточный эукариотный организм обнаружен в горячих (геотермальных) источниках. Изложены результаты экспериментов с биомассой этого организма. Для измерения концентрации тяжелых металлов использовали метод ICP-MS (масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой). Этим методом была обнаружена биосорбция некоторых (но не всех из числа изученных) токсичных металлов биомассой этого организма после инкубации в водной среде с добавленными металлами. Результаты представляют интерес для разработки новых биотехнологий очищения водной среды от токсичных металлов.

Ключевые слова: биосорбция, водоросли, *Galdieria sulphuraria*, металлы, кобальт, цинк, никель, кадмий, медь, свинец, биомасса, ICP-MS.

Металлы входят в число веществ, содержащихся в водах, загрязненных в результате промышленного производства [1—3]. Тяжелые металлы обладают выраженной токсичностью [1—3] и являются опасными загрязнителями водной среды [3]. Задачи химической безопасности делают необходимой разработку

научных основ новых технологий снижения загрязнения водной среды тяжелыми металлами. Одним из направлений поиска новых экологических биотехнологий является изучение способности биомассы различного происхождения сорбировать и тем самым удалять из водной среды токсичные загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы [2]. Активно изучается сорбция тяжелых металлов биомассой растительного происхождения, включая биомассу водорослей [4].

Изучение взаимодействия металлов с водорослями из экстремальных местообитаний (горячих источников) представляет интерес и для познания адаптаций к неблагоприятным экологическим условиям, и с точки зрения экологической биотехнологии [4]. Данная работа представляет собой развитие этих исследований. Для изучения возможности сорбции металлов биомассой был использован ранее недостаточно

Пухов Валерий Викторович, зав. отделом.
Лубкова Татьяна Николаевна, старший научный сотрудник.
Шестакова Татьяна Владимировна, старший научный сотрудник.
Тропин Иван Владимирович, старший научный сотрудник.
Котелевцев Сергей Васильевич, ведущий научный сотрудник.
Остроумов Сергей Андреевич, ведущий научный сотрудник.
E-mail: ar55@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2015 г.

© Пухов В. В., Лубкова Т. Н., Шестакова Т. В., Тропин И. В., Котелевцев С. В., Остроумов С. А., 2015

изученный биологический объект — красная экстремофильная водоросль *Galdieria sulphuraria* (Galdieri) Merola. Этот уникальный вид водных организмов обнаружен в экосистемах горячих источников (hot springs and geothermal habitats) с низкими значениями pH водной среды. Особенности этого вида водорослей охарактеризованы в [5—9].

В предыдущих работах авторами исследовались вопросы биосорбции химических элементов образцами биомассы других водных организмов, а именно высших водных растений [10, 11].

Целью проведенной работы было расширить круг изучаемых видов водных организмов (источников получения биомассы) и проверить, возможна ли биосорбция некоторых тяжелых металлов биомассой водорослей *Galdieria sulphuraria*, используя высокочувствительный метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) (ICP-MS) [12]. Новые результаты о биосорбции химических элементов (на примере тяжелых металлов) дополняют работы по изучению химико-биотических взаимодействий в биосфере [13—30], являются существенными для прикладной экологии и укрепления экологической безопасности.

Выращивание водорослей с целью получения биомассы

Культуру клеток красных водорослей *Galdieria sulphuraria* выращивали в среде Аллена (M. Allen) [9], в качалке (90 об/мин) при температуре 34 °C при освещении белым светом (60 мкЕ/м², фотопериод: 10 ч — свет; 14 ч — темнота). Среда Аллена перед стерилизацией подкисляли серной кислотой до pH 2,6. Исходная концентрация клеток водорослей в водной среде составляла 1 млн на 1 мл. Клетки водорослей осаждали из суспензии центрифугированием 15 мин при 4 тыс. об/мин.

Инкубация в водной среде с повышенным содержанием металлов

Инкубацию проводили 90 мин в водной среде с добавками металлов при 24 °C. Для приготовления многоэлементного раствора для инкубации использовали бидистиллированную воду и аттестованные стандартные образцы металлов. Окончательный pH раствора — 2,4. Расчетные концентрации металлов в растворе: медь, цинк — 2 мг/л; кобальт, никель — 0,2 мг/л, кадмий, свинец — 0,1 мг/л.

В полученном растворе содержание металлов анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Результаты анализа: Cu 1,85 ppm; Zn 2,17 ppm; Co 0,19 ppm; Ni 0,19 ppm; Cd 0,09 ppm; Pb 0,10 ppm.

Концентрации металлов были выбраны с учетом степени относительной токсичности металлов и возможного наличия этих металлов в загрязненной воде водных экосистем.

Пробоподготовка образцов для дальнейших измерений концентрации химических элементов

В ходе проведения экспериментов получено четыре образца биомассы, которые были высушены до постоянного веса при 80 °C в сушильном шкафу, а затем проведено озоление с добавкой двух капель концентрированной азотной кислоты сначала на плитке, а затем в муфеле (muffle) при 450 °C в течение двух часов. Полученная после озоления зола твердых образцов была переведена в раствор методом кислотного выщелачивания (acid leaching) (концентрированная HCl, концентрированная HNO₃ и 1:1 H₂SO₄). Пробы после их разложения были перенесены в стерильные центрифужные мерные пробирки и доведены бидистиллированной водой до фиксированного объема.

Использованы образцы мортмассы, полученные из биомассы путем высушивания до постоянного веса (температура 90 °C, 4 ч). Перед высушиванием образцы хранились около 1,5 мес. в холодильнике при -15 °C. Высушенные образцы имели вид темно-коричневой витрифицированной (стекловидной) массы. Ее растирали пестиком в фарфоровой ступке в порошок перед проведением инкубации.

Измерения методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС, ICP-MS)

Применявшийся в экспериментах метод измерения — метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС, ICP-MS) — описан ранее [12]. Растворы были подготовлены для анализа методом ИСП-МС. Проведено разбавление по массе 3%-ой азотной кислотой особой чистоты и добавлен раствор индия (Indium ICP Standard CertiPUR 1002 мг/л +/-0,4 %) в качестве внутреннего стандарта (концентрация индия в каждой пробе составила 10 ppb). Измерения проводились с использованием масс-спектрометра высокого разрешения с индуктивно-связанной плазмой ELEMENT-2 фирмы Thermo Finnigan (Германия). Для калибровки прибора использовался мультиэлементный стандарт для ICP-MS (набор ICP-MS-68A, "High-Purity Standards", США). Относительное стандартное отклонение (по результатам 9 анализов каждой пробы прибором ELEMENT2) составило в среднем для Cu — 1,16 %, Pb — 1,31 %, Zn — 0,87 %, Cd — 7,83 %, Co — 1,68 %, Ni — 5,64 %.

Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы были измерены концентрации нескольких тяжелых металлов — меди, кобальта, кадмия, свинца и свинца — в образцах биомассы изученных водорослей *Galdieria sulphuraria*. Результаты измерения химических элементов в этих образцах водорослей, полученные с помощью метода ICP-MS, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения химических элементов в этих образцах водорослей, полученные с помощью метода ICP-MS

Образцы материала (водоросли <i>Galdieria sulphuraria</i>), в которых измеряли содержание химических элементов	Химические элементы					
	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Биомасса водорослей <i>Galdieria sulphuraria</i> после инкубации	12	7,0	7,4	0,49	0,54	< 0,01
Биомасса водорослей <i>Galdieria sulphuraria</i> без инкубации (контроль)	6	0,8	1,4	1,2	0,55	0,071
Мортмасса водорослей <i>Galdieria sulphuraria</i> после инкубации	23	5	0,32	0,28	<0,04	< 0,01
Мортмасса водорослей <i>Galdieria sulphuraria</i> без инкубации (контроль)	12	10	0,32	0,45	<0,04	<0,01

Среднее содержание химических элементов в сухом веществе образцов *Galdieria sulphuraria* после и без инкубации, по результатам измерений методом ICP-MS. Измерения химических элементов проводили девять раз, в табл. 1 приведены средние значения. Относительное стандартное отклонение указано в методической части статьи. Единицы измерений концентраций элементов: ppm (мкг/г).

Из табл. 1 видно, что после инкубации концентрация меди, цинка и кобальта в биомассе значительно увеличилась. Прироста концентрации меди и кобальта (иммобилизации) в мортмассе не наблюдалось. Прироста концентрации других элементов — свинца, кадмия, никеля — в биомассе или мортмассе не выявлено. Содержание меди в образцах биомассы было также измерено другим методом (инверсионная вольтамперометрия), который подтвердил увеличение концентрации этого металла в биомассе после инкубации в водном растворе металлов. Методом инверсионной вольтамперометрии было также подтверждено отсутствие биосорбции свинца и кадмия.

Прирост концентрации некоторых металлов (меди, цинка, кобальта) в биомассе свидетельствует о способности биомассы к биосорбции этих металлов из водной среды, что означает соответствующее уменьшение содержания этих химических элементов в водной среде. Именно это представляет особый интерес для разработки научных основ экологических биотехнологий очищения водной среды от загрязняющих ее химических веществ [4, 6, 8].

Полученные результаты измерений дополняют и детализируют представления о многофункциональном (*multifunctional*) участии живых организмов (и образуемой ими биомассы, которая может служить сорбентом) в детоксицирующей системе биосферы [13—16], конкретизируют положения теории биотического самоочищения воды в экосистемах [17].

Полученные результаты интересно сопоставить с данными экспериментов других авторов, проведенных на других биологических объектах в целях выявления способности биомассы к биосорбции металлов из водной среды [18—24]. Так, сорбция меди биомассой водорослей была показана на нескольких видах [18—21], в том числе при изучении следующих водорослей: *Sargassum* sp. [18, 19, 21], *Padina* sp. [18], *Fucus spiralis* [20], *Ascophyllum nodosum* [20].

Показана сорбция свинца биомассой ряда видов водорослей, в том числе *Sargassum* sp. [18], *Padina* sp. [18], *Fucus vesiculosus* [24] и др.

Способность сорбировать цинк показана для биомассы следующих видов водорослей: *Sargassum* sp. [18], *Padina* sp. [18], *Fucus spiralis* [20], *Ascophyllum nodosum* [20], *Sargassum filipendula* [22], *Macrocystis pyrifera* [23].

Установлена биосорбция металлов биогенным материалом и других видов организмов (например, [10, 11, 15], а также [25—28]).

Результаты измерения содержания химических элементов в биомассе водоросли *Galdieria sulphuraria* показывают следующий важный факт. Выявилось, что в условиях проведенной инкубации не было универсальной, тотальной биосорбции всех металлов, которые присутствовали в среде инкубации в повышенной концентрации (так, биосорбции никеля, свинца и кадмия в условиях опыта не наблюдали).

Выявленные авторами отличия в поведении металлов и их совершенно различная подверженность биосорбции указывают на то, что существуют индивидуальные особенности химических элементов в их взаимодействии с биомассой и мортмассой растительных организмов (на примере водоросли *Galdieria sulphuraria*).

Накопление и использование данных о биосорбции может быть полезным для усиления экологической безопасности, а именно, для разработки следующих направлений прикладной экологии [29—31] (табл. 2).

Таблица 2

Разработка некоторых направлений прикладной экологии с использованием новых результатов по биосорбции и химико-биотическим взаимодействиям в водных средах

Направление использования результатов по биосорбции	Примеры работ, полезных для разработки этого направления
Разработка технологий удаления токсичных веществ из водной среды	Новые результаты данной работы; [2], [4], [13], [15], [29], [30]
Прогнозирование судьбы химических веществ, поступающих в водную систему	[10], [11], [15], [29]
Выявление источника загрязнения водной экосистемы	[10], [15], [29]
Мониторинг и критический анализ данных о фоновом элементном составе организмов	[31]

Представляется целесообразным выделить и подчеркнуть важность следующих четырех направлений:

1. Технология удаления токсичных загрязняющих веществ. Значительная часть работ по биосорбции направлена именно на разработку научных основ очищения воды. В данной работе получены новые данные, полезные для разработки биотехнологии очищения воды от меди, кобальта и цинка.

2. Прогнозирование судьбы химических веществ, поступающих в водную систему. Такое прогнозирование необходимо при оценке опасности антропогенного воздействия, полезно при моделировании антропогенно измененной или искусственной водной системы.

3. Выявление загрязнения водной экосистемы после того, как прекратилось поступление загрязняющих веществ в водоток. Возможна ситуация, когда необходимо выявить источник загрязнения водоема или водотока тем или иным металлом и необходимо доказать сам факт загрязнения этим металлом после того, как поступление металла в водную среду уже прекратилось. Информация о биосорбции металлов водными организмами может помочь констатировать факт загрязнения воды в предыдущий период времени.

4. Мониторинг экологического состояния водоемов и водотоков и анализ данных о фоновых концентрациях химических элементов в составе организмов. Нередко в научной литературе встречаются публикации, где дают элементный анализ биомассы организмов из природной среды без должного внимания к тому, что эта среда может быть загрязнена теми или иными химическими элементами. Возможность биосорбции некоторых из этих элементов могут существенно исказить результаты определения фонового содержания элементов в биомассе биологических видов, поэтому познание закономерностей биосорбции может принести дополнительную практическую пользу.

Примеры конкретных публикаций, связанных с разработкой этих направлений, приведены в табл. 2.

Выводы

- Впервые с помощью метода ICP-MS выявлена и охарактеризована возможность биосорбции таких токсичных металлов, как медь, цинк и кобальт (Cu, Zn, Co) биомассой одноклеточной термофильной красной водоросли *Galdieria sulphuraria*. Выявлено, что биомасса водорослей этого вида иммобилизует эти элементы после инкубации в водной среде с добавленными тяжелыми металлами. В водную среду инкубации биомассы добавляли также никель, кадмий и свинец, но биосорбции этих элементов из водной среды в условиях опыта не обнаружено.

- Новые факты об биосорбции металлов (на примере цинка, кобальта, меди) биомассой водорослей (в том числе на примере водоросли *Galdieria sulphuraria*) вносят вклад в разработку вопросов химико-биотических взаимодействий в биосфере [3, 11, 14–17], а также вопросов биотехнологии очищения водной среды [2, 4, 30].

- При изучении витрифицированной мортмассы водоросли *Galdieria sulphuraria* методом ICP-MS было показано, что в условиях эксперимента не наблюдалось сорбции на витрифицированной мортмассе Cu, Co, Ni, Pb и Cd. Однако это не исключает возможно-

сти сорбции некоторых из этих элементов в других условиях.

- Полученные результаты измерений дополняют и детализируют теорию о полифункциональном участии живых организмов (и образуемой ими биомассы) в детоксицирующей системе биосферы [16] и водных экосистем [17, 31]. Приложение этой теории полезно для правильного экологического менеджмента водных экосистем, которые служат источниками водоснабжения для промышленности, а также принимают воды, прошедшие через технологические процессы в промышленном производстве.

Авторы благодарят коллег за советы и рекомендации. Авторы благодарят сотрудника Российской академии наук (РАН) за культуру красной водоросли *Galdieria sulphuraria*. Благодарим сотрудников Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН за обсуждение затронутых вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nordberg G. F., Fowler B. A., Nordberg M. (Eds.). Handbook on the Toxicology of Metals // Academic Press. 2014. — 1542 p.
2. Mudhoo A., Garg V. K., Wang S. Removal of heavy metals by biosorption // Environmental Chemistry Letters. 2012. V. 10(2). P. 109–117.
3. Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология. — М.: Наука, 2009. — 400 с.
4. He J., Chen J. P. A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools // Bioresource Technology. 2014. V. 160. P. 67–78.
5. Schönknecht G., Chen W. H., Ternes C. M., Barbier G. G., Shrestha R. P., Stanke M., Bräutigam A., Baker B. J., Banfield J. F., Garavito R. M., Carr K., Wilkerson C., Rensing S. A., Gagneul D., Dickenson N. E., Oesterhelt C., Lercher M. J., Weber A. P. Gene transfer from bacteria and archaea facilitated evolution of an extremophilic eukaryote // Science. 2013. V. 339 (6124). P. 1207–1210.
6. Minoda A., Sawada H., Suzuki S., Miyashita S. I., Inagaki K., Yamamoto T., Tsuzuki M. Recovery of rare earth elements from the sulfatophilic red alga *Galdieria sulphuraria* using aqueous acid // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2015. V. 99(3). P. 1513–1519.
7. Selvaratnam T., Pegallapati A. K., Reddy H., Kanapathipillai N., Nirmalakhandan N., Deng S., Lammers P. J. Algal biofuels from urban wastewaters: Maximizing biomass yield using nutrients recycled from hydrothermal processing of biomass // Bioresource Technology. 2015. V. 182. P. 232–238.
8. Selvaratnam T., Pegallapati A. K., Montelya F., Rodriguez G., Nirmalakhandan N., Van Voorhies W., Lammers P. J. Evaluation of a thermo-tolerant acidophilic alga, *Galdieria sulphuraria*, for nutrient removal from urban wastewaters // Bioresource Technology. 2014. V. 156. P. 395–399.
9. Allen M. B. Studies with *Cyanidium caldarium*, an anomalously pigmented chlorophyte // Arch. Mikrobiol. 1959. V. 32. P. 270–277.
10. Ostroumov S. A., Kolesov G. M. The aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* immobilizes Au nanoparticles after their addition to water // Doklady Biological Sciences. 2010. V. 431. P. 124–127.
11. Johnson M. E., Ostroumov S. A., Tyson J. F., Xing B. Study of the interactions between *Elodea canadensis* and CuO nanoparticles // Russian Journal of General Chemistry. 2011. V. 81. No. 13. P. 2688–2693.
12. Лубкова Т. Н., Яблонская Д. А., Шестакова Т. В., Пухов В. В. Геохимические особенности состава поверхностных вод Находкинского медно-порфирового рудного поля. Чукотка // Вода: химия и экология. 2013. № 12. С. 29–34.
13. Ostroumov S. A., Shestakova T. V. Decreasing the measurable concentrations of Cu, Zn, Cd, and Pb in the water of the experimental systems containing *Ceratophyllum demersum*: The phytoremediation potential // Doklady Biological Sciences. 2009. V. 428. P. 444–447.
14. Ostroumov S. A. Studying the fate of pollutants in the environment: binding and immobilization of nanoparticles and chemical elements // Ecologica. 2011. V. 18. No. 62. P. 129–132.

15. Остроумов С. А., Колесов Г. М., Котелевцев С. В., Моисеева Ю. А., Казаков Г. Ю. К изучению тяжелых металлов (включая хром и кобальт) в модельной водной экосистеме с использованием нейтронно-активационного анализа // Токсикологический вестник. 2010. № 6. С. 53—56.
16. Остроумов С. А. Обезвреживание токсичных элементов в биосфере и совершенствование экологического мониторинга // Экология промышленного производства. — М., 2012. № 1. С. 26—32.
17. Ostroumov S. A. On the Biotic Self-purification of Aquatic Ecosystems: Elements of the Theory // Doklady Biological Sciences. 2004. V. 396. P. 206—211.
18. Sheng P. X., Ting Y. P., Chen J. P., Hong L. Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms // J. Colloid Interface Sci. 2004. V. 275. P. 131—141.
19. Sheng P. X., Ting Y.-P., Chen J. P. Biosorption of heavy metal ions (Pb, Cu, and Cd) from aqueous solutions by the marine alga *Sargassum* sp. in single- and multiple-metal systems // Ind. Eng. Chem. Res. 2007. V. 46. P. 2438—2444.
20. Romera E., González F., Ballester A., Blázquez M. L., Muñoz J. A. Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae // Bioresour. Technol. 2007. V. 98. P. 3344—3353.
21. Kleinübing S. J., da Silva E. A., da Silva M. G. C., Guibal E. Equilibrium of Cu(II) and Ni(II) biosorption by marine alga *Sargassum filipendula* in a dynamic system: competitiveness and selectivity // Bioresour. Technol. 2011. V. 102. P. 4610—4617.
22. Luna A. S., Costa A. L. H., da Costa A. C. A., Henriques C. A. Competitive biosorption of cadmium(II) and zinc(II) ions from binary systems by *Sargassum filipendula* // Bioresour. Technol. 2010. V. 101 (14). P. 5104—5111.
23. Plaza Cazón J., Bernardelli C., Viera M., Donati E., Guibal E. Zinc and cadmium biosorption by untreated and calcium-treated *Macrocystis pyrifera* in a batch system // Bioresour. Technol. 2012. V. 116. P. 195—203.
24. Mata Y. N., Blázquez M. L., Ballester A., González F., Muñoz J. A. Characterization of the biosorption of cadmium, lead and copper with the brown alga *Fucus vesiculosus* // J. Hazard. Mater. 2008. V. 158. P. 316—323.
25. Fomina M., Gadd G. M. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application // Bioresource Technology. 2014. V. 160. P. 3—14.
26. Park D., Yun Y. S., Park J. M. The past, present, and future trends of biosorption. // Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2010. V. 15. P. 86—102.
27. Gadd G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2009. V. 84. P. 13—28.
28. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future // Biotechnology Advances. 2009. V. 27. P. 195—226.
29. Остроумов С. А., Демина Л. Л. Тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) в биогенном детрите микроскопов с водными организмами // Экология промышленного производства. 2010. № 2. С. 53—56 (сорбция детритом).
30. Тропин И. В., Шестакова Т. В., Остроумов С. А. Термофильные водоросли: взаимодействие с металлами как фактор воздействия на геохимическую среду // Black Sea Scientific Journal of Academic Research. 2015. V. 20. No. 2. P. 27—30.
31. Остроумов С. А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. — М.: МАКС. Пресс, 2008. — 200 с.

Toward developing biotechnology of water treatment using acidophilic algae: results of analysis by ICP-MS

V. V. PUKHOV, T. N. LUBKOVA, T. V. SHESTAKOVA, I. V. TROPIN,
S. V. KOTELEVTSSEV, S. A. OSTROUMOV
M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*Toxic metals are among the most important chemical pollutants of aquatic environments. Interaction of copper and other toxic metals with biomass of algae is of interest to modern ecology and biotechnology. In this paper, interactions of the biomass of a unique extremophilic (acidophilic, thermophilic) algae *Galdieria sulphuraria* with copper and other metals in aquatic environment were studied. This unicellular extremophilic, acidophilic eukaryotic organism is found in hot springs and geothermal habitats. In this paper the results of experiments with the biomass and mortmass of this organism were reported. Measurements were done using the method of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Biosorption of copper and some other metals by the biomass of this organism from an aquatic medium was discovered. The results are useful to develop new biotechnology to remove toxic metals from water.*

Keywords: biosorption, algae, *Galdieria sulphuraria*, metals, cobalt, zinc, nickel, cadmium, copper, lead, biomass, ICP-MS.

Bibliography — 31 references.

Received April 24, 2015