

УДК 581.6

**О.М. Минаева¹, Е.Е. Акимова², К.М. Минаев³,
С.Ю. Семенов¹, А.Д. Писарчук¹**

¹Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)

²Научно-исследовательский институт биологии и биофизики
Томского государственного университета (г. Томск)

³Химический факультет Томского государственного университета (г. Томск)
E-mail: biotech@sibmail.com

**ПОГЛОЩЕНИЕ РЯДА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ
РАСТВОРОВ РАСТЕНИЯМИ ВОДНОГО ГИАЦИНТА
(*EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS)**

Аннотация. Изучено поглощение ионов меди, свинца, кадмия и цинка из водных растворов водным гиацинтом в модельных условиях. Отмечено, что растения выдерживают превышение ПДК данных элементов в воде, сохраняют жизнеспособность и успешно размножаются. За десять дней модельного эксперимента концентрация металлов снижается более чем в 5 раз для цинка, в 6 раз для кадмия, в 4 раза для свинца, в 8,5 раза для меди. При этом в вегетативной массе эйхорнии значительного накопления данных металлов не отмечено. Таким образом, показана эффективность использования растений водного гиацинта для очистки вод различного назначения от тяжелых металлов.

Ключевые слова: водный гиацинт; ПДК; тяжелые металлы; фиторемедиация; водные макрофиты.

Тяжелые металлы относят к числу наиболее опасных для природной среды химических загрязняющих веществ. Известно, что медь, свинец, кадмий, цинк являются опасными токсичными металлами. Избыток меди в организме человека и других теплокровных животных приводит к изменениям в тканях почек, печени и мозга [1]. Ионы свинца и его соединения тормозят синтез порфирина, вызывают нарушение функций центральной и периферической нервной системы. Растворимые соединения кадмия денатурируют белки, содержащиеся в стенках пищевого канала. Поступившие в кровь ионы кадмия соединяются с сульфгидрильными группами ферментов, нарушая их функции [2]. Токсичность цинка не так велика, и он не аккумулируется, а выводится организмом, прием внутрь соединений цинка может вызвать острое отравление. Основным источником поступающих в организм ионов меди, свинца, кадмия и цинка является вода, при этом содержание тяжелых металлов в сточных водах в последние годы возрастает [3]. Существуют различные способы очистки вод, в том числе и от тяжелых металлов [3]: механические, химические, физико-химические и биологические, но только комплексное внедрение всех методов позволит сделать этот процесс не только эффективным, но и более экономичным и экологичным.

Для биоремедиации очистки и доочистки сточных вод в настоящее время широко используются водные макрофиты, а в России одним из первых в промышленных условиях апробирован и применяется водный гиацинт (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) [4]. Указанные растения эффективно очищают водоемы, занесенные в список мертвых или находящихся на грани вымирания, малые реки, стоки, отстойники промышленного, хозяйственного и другого происхождения; заметно снижают в стоках содержание большинства элементов и уже за неделю полностью устраняют неприятный запах [4]. Эйхорния, как и большинство высших водных растений, способна в значительных количествах накапливать в себе тяжелые металлы (ТМ) (свинец, ртуть, медь, кадмий, никель, кобальт, олово, марганец, железо, цинк, хром), а также радионуклиды и таким образом изымать данные металлы из воды, делая ее пригодной для использования [4–6].

Целью данной работы являлось изучение потребления ряда тяжелых металлов (медь, свинец, кадмий и цинк) растениями водного гиацинта в лабораторных условиях.

Материалы и методы

Для изучения качества очистки воды от тяжелых металлов растениями водного гиацинта была создана модельная искусственная экосистема. В качестве питательного субстрата для растений использовалась талая снеговая вода, в которую дополнительно вводили соли тяжелых металлов до расчетного уровня при сохранении нейтрального значения кислотности. Высадка растений проводилась из расчета: одно взрослое растение на литр очищаемой воды, покрытие водной поверхности составляло 75%. Освещение модельных систем проводилось лампами накаливания (3 500 Лк) при 12-часовом световом дне. Температура воды в экспериментах +22...24°C, окружающего воздуха +24...26°C. В качестве контроля был использован вариант без растений со снеговой водой с добавлением солей тяжелых металлов при тех же условиях, что и опытные варианты. По мере потребления воды гиацинтом и испарения с поверхности в опытных и контрольных сосудах проводился долив дистиллированной водой до первоначального уровня.

В ходе экспериментов проведены следующие анализы: снеговой воды до и после добавления стандартных солей металлов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}), после десятидневной очистки воды с помощью эйхорнии, а также зеленой массы растений по завершении экспериментов. Анализ содержания тяжелых металлов в пробах проводился методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Пробоподготовка и ход анализа. Минерализация проб проводилась с использованием СВЧ-минерализатора «Mars». Воду объемом 1,5 мл помещали в контейнер для минерализации, добавляли 1,0 мл HNO_3 конц. Минерализация проводилась при градиенте температур +120...200°C. Биомассу растений водного гиацинта массой 1,5 г с добавкой 1,5 мл HNO_3 предварительно оставляли на 12 ч, минерализация проводилась при тех же условиях, что и при подготовке воды. По окончании цикла облучения и удаления окисных паров объем минерализата доводили до 10 мл 0,5N HNO_3 конц. Определение про-

водили на атомно-адсорбционном спектрофотометре «Varian SpectrAA 220FS».

Результаты и обсуждение

Широкое использование водного гиацинта для доочистки сточных вод, содержащих значительные количества тяжелых металлов, а также для очистки городских и пригородных водоемов в настоящее время показывает несомненную эффективность растений эйхорнии [3–4]. Однако сведения о предельно допустимых концентрациях тяжелых металлов в воде, которые способен выдержать водный гиацинт, а также о скорости очистки воды от тяжелых металлов сведения либо недостаточны, либо противоречивы [6–13]. В связи со сказанным концентрация солей тяжелых металлов в эксперименте подбиралась эмпирически.

В качестве субстрата была выбрана талая вода из снега, собранного в центре г. Томска, в которой предполагалось наличие значительной концентрации тяжелых металлов, таких как свинец. Предварительно проведенный анализ показал отсутствие в воде ионов меди и кадмия, а концентрация свинца и цинка находилась на уровне, значительно превышающем ПДК для питьевых и рыбохозяйственных водных объектов, однако значительно ниже ПДК этих элементов, установленных для культурно-бытовых водоемов (табл. 1).

Исходя из литературных данных, свидетельствующих о накоплении в растениях эйхорнии металлов в концентрациях, в десятки раз превышающих содержание элементов в очищаемой воде [6–7], а соответственно и о способности водного гиацинта в десятки раз снижать содержание данных металлов в окружающей среде, а также учитывая чувствительность используемого метода анализа, в талую воду была введена стандартная добавка солей ТМ (см. табл. 3). Последующий анализ показал значительное превышение содержания указанных ТМ, по сравнению с ПДК, для культурно-бытовых водоемов для цинка, кадмия, свинца и меди [14].

Таблица 1

Содержание элементов в талой снеговой воде до и после введения стандартной добавки солей тяжелых металлов, мг/л

Определяемый элемент	Талая снеговая вода		ПДК для водоемов культурно-бытового назначения
	до введения стандартной добавки	после введения стандартной добавки	
Zn	0,17±0,04	16,8±0,9	1
Cd	–	0,11±0,04	0,001
Pb	0,082±0,05	0,76±0,09	0,01
Cu	–	25,7±1,2	1

В ряде литературных источников встречаются сведения о токсичном влиянии свинца, цинка, меди и кадмия на растения водного гиацинта [6–9]. Например, Stratford H. Kay с соавт. [6] указывают на токсичность для эйхорнии

ионов меди в концентрации свыше 2 мг/л, проявляющуюся в виде некрозов и хлорозов вегетативных органов, в статье M. Delgado с соавт. [8] описано токсичное действие ионов цинка в концентрации свыше 9×10^{-3} мг/л. Несмотря на то, что в наших модельных экспериментах концентрация указанных металлов значительно превышает указанные в качестве токсичных концентрации, растения не только перенесли значительное превышение концентрации данных элементов и сохранили свою жизнеспособность, но и вегетативно размножались.

Через десять дней с момента высадки растений был проведен повторный анализ содержания ТМ в воде в контрольных и опытных сосудах (табл. 2).

Таблица 2

Содержание элементов в воде в эксперименте, мг/л

Определяемый элемент	Вода до начала эксперимента	Контроль	Биочистка с помощью эйхорнии
Zn	16,8±0,9	16,4±0,9	3,1±0,5
Cd	0,11±0,04	0,11±0,04	0,018±0,03
Pb	0,76±0,09	0,72±0,09	0,18±0,02
Cu	25,7±1,2	26,0±1,2	3,0±0,2

Полученные данные свидетельствуют о том, что за десять дней концентрация изучаемых элементов в модели с растениями водного гиацинта значительно снизилась (более чем в 5 раз для цинка, в 6 раз для кадмия, в 4 раза для свинца, в 8,5 раза для меди), тогда как в контроле осталась на том же уровне, что и в начале эксперимента.

Учитывая скорость очистки воды растениями водного гиацинта, можно заключить, что через три-четыре недели вода станет соответствовать нормативам СанПиН, предъявляемым к культурно-бытовым водоемам.

Кроме воды через десять дней с начала эксперимента было также проанализировано содержание указанных ТМ в растительной ткани. Для анализа отбирались листья эйхорнии, выросшие непосредственно в эксперименте, т.к. мобильностью в растительной ткани, как правило, обладают только макроэлементы (табл. 3).

Таблица 3

Содержание элементов в листьях эйхорнии, мг/кг а.с.б.

Определяемый элемент	Концентрация в растительной ткани	ПДК для кормов с/х животных
Zn	0,17±0,02	50,0
Cd	0,030±0,01	0,3
Pb	0,020±0,005	5,0
Cu	0,61±0,13	10,0

Примечание. а.с.б. – абсолютно сухая биомасса.

Примечательно, что несмотря на то, что растения находились на субстрате, в котором содержание меди, цинка, свинца и кадмия в 25, 16, 76 и 110 раз соответственно превышало установленные ПДК_{воды} данных металлов, расте-

ния в зеленой массе накопили данные элементы в незначительном количестве. Известно, что около 77% содержащихся в водном гиацинте металлов кадмия сохраняются в корнях растений и 23% – в вегетативной массе [15], т.е. основная масса элементов, поглощенных из воды, накопилась в корнях водного гиацинта. В целом, содержание тяжелых металлов в листьях не превышало установленные ПДК для кормов сельскохозяйственных животных. Кроме того, данные растения эйхорнии могли быть использованы даже в качестве сырья для изготовления препаратов ветеринарного значения.

Таким образом, установлена возможность использования растений водного гиацинта для очистки вод различного назначения от тяжелых металлов. При этом в вегетативной массе эйхорнии, выращенной на загрязненном субстрате в течение 10 дней, не происходит значительного накопления данных элементов, несмотря на то что снижение концентрации ТМ в воде происходит в 4–8 раз.

Литература

1. Бингам Ф.Т., Коста Э., Эйхенбергер Э. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 368 с.
2. Крамаренко В.Ф. Токсикологическая химия. Киев: Выща школа, 1989. 447 с.
3. Черников В.А. Агроэкология. М.: Колос, 2004. 398 с.
4. Дмитриев А. Г., Рыженко Б.Ф., Змиевец Ю.Ф., Сокол К. Г. Технология биологической очистки и доочистки малых рек, водоемов и истоков // Городское управление. 2000. № 10. С. 60–68. URL: <http://emsu.ru/um/default.asp?god=2000&nom=10>
5. Knipling E.B., West S.H., Haller W.T. Growth characteristics, yield potential and nutritive content of water hyacinths // Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla. 1971. Vol. 30. P. 51–63.
6. Stratford H. Kay, William T. Haller, Leon A. Garrard. Effects of heavy metals on water hyacinths (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) // Aquatic Toxicology. May 1984. Vol. 5, iss. 2. P. 117–128.
7. Schneiders I.A.H., Ribios J., Misrat M., Smith R.W. Eichhornia crassipes as biosorbent for heavy metal ions // Minerals Engineering. 1995. Vol. 8, № 9. P. 979–988.
8. Delgado M., Bigeriego M., Guardiola E. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths // Water Research. February 1993. Vol. 27, iss. 2. P. 269–272.
9. Hasan S.H., Talat M., Rai S. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) // Bioresource Technology. 2007. Vol. 98, iss. 4. P. 918–928.
10. Vesk P.A., Nockolds C.E., Allaway W.G. Metal localization in water hyacinth roots from an urban wetland // Plant Cell Environm. 1999. Vol. 22, № 2. P. 149–158.
11. Moenandir J., Murgito F. Kemampuan penyerapan logam berat oleh eceng gondok // Agrivita. 1994. Vol. 17, № 2. P. 61–64.
12. Moenandir J., Hidayat S. Peranan eceng gondok dan kangkung air pada peningkatan mutu air limbah // Agrivita. 1993. Vol. 16, № 2. P. 54–57.
13. Mazen A.M.A., el-Maghraby O.M.O. Accumulation of cadmium, lead and strontium, and a role of calcium oxalate in water hyacinth tolerance // Biol. Plantarum. 1997–1998. Vol. 40, № 3. P. 411–417.
14. Нормативы ПДК примесей в воде хозяйственного, питьевого и бытового назначения использования СанПиН 2.1.4.1074-01 // URL: <http://ozonika.ru/content/normativy-pdk-primesej-v-vode-hozjajstvennogo-pitevogo-i-bytovogo-naznachenija-ispolzovanija>
15. Cooley T.N., Martin D.F. Cadmium in naturally-occurring water hyacinths // Chemosphere. 1979. Vol. 8, iss. 2. P. 75–78.

Поступила в редакцию 29.07.2009

Oksana M. Minaeva¹, Elena E. Akimova², Konstantin M. Minaev³,
Sergei Yu. Semyonov¹, Anna D. Pisarchuk¹

¹Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Research Institute of Biology and Biophysics of TSU, Tomsk, Russia

³Department of Chemistry of Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: biotech@sibmail.com

**UPTAKE OF SOME HEAVY METALS FROM WATER BY WATER
HYACINTHS (*EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS)**

Summary. Studies are conducted to determine the uptake of copper, lead, cadmium and zinc ions by water hyacinths from water solution in artificial model conditions. Concentrations of Cu, Pb, Cd and Zn are determined in the leaves of the water hyacinths and solution. The possibility of using water hyacinths plants to purify waters of different purpose from heavy metals is shown. Plants are observed to be exposed to MPC excess of these elements in water, keeping viability and multiplying successfully. During ten days of experiment the concentration of heavy metals decreases more than 5 times for zinc, 6 times for cadmium, 4 times for lead and 8,5 times for copper whereas control shows no changes. Also, it is discovered that the vegetative mass of eichornia (leaves) is not prone to accumulation of these metals. So, the efficiency of the use of plants of the water hyacinth for the purification of waters of different purpose is demonstrated.

Key words: the water hyacinth; MPC (maximum permissible concentration); heavy metals; phytoremediation; aquatic macrophytes.

Received July 29, 2009