

УДК 628.315.23

Василюк Т. П., к.с.-г.н. (Житомирський національний  
агроекологічний університет, м. Житомир)

**АКУМУЛЯЦІЯ ТА РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У  
ФІТОМАСІ ГІДРОБІОНТІВ ВИДУ *EICHHORNIA CRASSIPES*  
(*MART.*) *SOLMS* ПРИ БІООЧИЩЕННІ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД**

У статті наведені результати досліджень накопичення важких металів у фітомасі рослин виду *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*. Досліджені закономірності його розподілу у фітомасі під час процесів очищення стічних вод. Визначені коефіцієнти переходу цинку, кадмію, купрум у та плумбуму у рослини ейхорнії.

**Ключові слова:** акумуляція, розподіл, ейхорнія, фітомаса, важкі метали, стічні води, очищення, коефіцієнт переходу.

**Вступ.** Процеси акумуляції та розподілу важких металів в рослинах є складними та залежать від багатьох факторів. Розуміння цих процесів має важливе значення при застосуванні рослин для очистки стоків [1, 2].

Вплив людини на біосферу складний і різноманітний, досить часто він веде до необоротних змін. Всі зміни антропогенної природи порушують природний баланс кожної екосистеми, яка формувалась поступово впродовж тривалого періоду часу. В різних компонентах біосфери проходить інтенсивне нагромадження рідких і розсіяних елементів у кількостях, які значно перевищують їх природний вміст. Серед неорганічних сполук значне місце займають токсичні важкі метали, надходження яких в біосферу може привести до її забруднення при збільшенні їх вмісту в десятки і сотні раз [1].

Більша частина всіх промислових викидів, яка надходить безпосередньо в водні об'єкти накопичується у гідробіонтах різного рівня. Тобто, водна флора та фауна виконує функції біологічного адсорбенту, руйнівника і нейтралізатора різних техногенних забруднювачів. Важкі метали, які нагромаджуються, повільно знищуються при вилуговуванні, споживанні рослинами тощо. Перший період напіврозпаду (тобто розпаду половини від початкової концентрації) важких металів сильно варіює: для цинку – від 70 до 510 років, для кадмію – від 13 до 1100 років, для купрум – від 310 до

1500 років і для плюмбуму від 740 до 5900 років [2].

Забруднення водойм важкими металами має різне походження: це і відходи металообробної промисловості; промислові викиди; продукти згоряння палива; автомобільні викиди відпрацьованих газів; засоби хімізації. Нарівні з промисловістю, комунальним господарством важливу, якщо не провідну, роль відіграє сільське господарство. Впливовим фактором дії на природу хімічними засобами стало широке використання пестицидів [1].

Поряд з використанням мінеральних добрив і пестицидів інтенсивна хімізація сільськогосподарського виробництва характеризується застосуванням мікроелементів – бору, купруму, цинку, заліза, молібдену, марганцю, кобальту та ін. Систематичне застосування пестицидів і мінеральних добрив також зумовлюють внесення значної кількості важких металів в ґрунт.

**Аналіз останніх досліджень.** Із важких металів, які надходять у водойми із поверхневими стоками сільськогосподарських угідь, найбільш токсичними є кадмій, потім нікель, купрум, цинк, плюмбум. Найбільш забруднені важкими металами фосфорні добрива. В 1 ц суперфосфату валовий вміст купруму – 3 г, цинку – 13,7 г, кадмію – 1,5 г, плюмбуму – 4,8 г, нікелю – 0,6 г [1]. Встановлено, що при систематичному використанні мінеральних добрив простежується тенденція до збільшення в прилеглих водних об'єктах валового вмісту цинку – від 28 до 38,2 мг/кг, купруму – від 8,9 до 15,3 мг/кг, олова – від 16 до 19,3 мг/кг, кадмію – від 0,51 до 0,79 мг/кг, стронцію – від 172 до 192 мг/кг [2].

В сільськогосподарських стоках щорічний вміст важких металів складає: кадмію – 18 т, хрому – 150 т, купруму – 420 т, нікелю – 40 т, плюмбуму – 140 т, цинку – 710 т [1]. Таким чином, виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що одним з основних джерел забруднення навколишнього природного середовища важкими металами на Поліссі є сільське господарство. Для сільськогосподарських угідь особливу небезпеку забруднення складає незбалансоване внесення мінеральних добрив і застосування хімічних засобів захисту рослин.

Існують різні способи очищення вод, у тому числі і від важких металів [3]: механічні хімічні, фізико-хімічні і біологічні, але тільки комплексне впровадження всіх методів дозволить зробити цей процес ефективним. Для очищення і доочищення стічних вод в даний час широко використовуються гідробіонти (очерет, рогіз, ряска тощо), зокрема апробований і застосовується водний гіацинт (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) [3, 4, 6]. Вказані рослини ефективно очищають водойми, занесені в список мертвих або ті, що знаходяться на межі вимирання,

малі річки, стоки, відстійники промислового, госппобутового й іншого походження; помітно знижують в стоках вміст більшості елементів і вже за тиждень повністю усувають неприємний запах [3, 4, 5].

Ейхорнія, як і більшість вищих водних рослин, здатна в значних кількостях накопичувати в собі важкі метали (плюмбум, ртуть, купрум, кадмій, нікель кобальт, олово, марганець, залізо, цинк, хром), а також радіонукліди і таким чином вилучати дані метали з води, роблячи її придатною для використання [3, 4, 5, 6, 7].

**Методики досліджень** були загальноприйнятими. Вивчали накопичення та розподіл важких металів в рослинах виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, що зростали у водоймах біологічної очистки с. Стрижівка (Любарського району Житомирської області).

Екологічну характеристику фітоценозу водойми та відбір проб для аналізу проводили в період повного розвитку рослин (наприкінці серпня). Проби обробляли за стандартними методиками. Початковий вміст досліджуваних елементів у воді становив:  $\text{Cu}^{2+}$ —25,7±1,2 мг/л,  $\text{Zn}^{2+}$ —17,7±0,83 мг/л,  $\text{Cd}^{2+}$ —0,14±0,04 мг/л,  $\text{Pb}^{2+}$ —0,73±0,08 мг/л. Також у зеленій масі рослин після закінчення експериментів визначали зольність (неорганічний залишок) та вміст Zn, Cd, Pb и Cu (методом інверсної вольтамперметрії) в попередньо підготовлених рослинних зразках і пробах води.

*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms зростала в ставку осередками вздовж берегів, займала площу 0,04 га. Проективне покриття виду – 85%.

Температура води в експериментах +22-24°C, навколишнього повітря +24-26°C, визначалася термометром типу ТА.

**Метою даної роботи** було вивчення особливостей споживання, накопичення та розподілу ряду важких металів (купрум, плюмбум, кадмій і цинк) у фітомасі рослин виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms та визначення коефіцієнтів переходу цих елементів у вегетативну масу ейхорнії.

**Результати досліджень** показали ефективність використання водного гіацинта для доочистки стічних вод, що містять важкі метали у значних кількостях.

Як субстрат була вибрана вода, в якій передбачалася наявність значних концентрацій важких металів, таких як плюмбум, цинк, кадмій та купрум. Заздалегідь проведений аналіз показав значне перевищення вмісту важких металів, в порівнянні з ГДК, для культурно-побутових водоймищ для цинку, кадмію, плюмбуму і купруму [8].

У ряді літературних джерел зустрічаються відомості про токсичний вплив плюмбуму, цинку, купруму і кадмію на рослини водного гіацин-

та [4, 5]. Результати досліджень показали, що в умовах експерименту рослини не лише перенесли значне перевищення концентрації даних елементів і зберегли свою життєздатність, а й вегетативно розмножувалися.

Через десять днів з моменту висадки рослин був проведений повторний аналіз вмісту важких металів у воді в контрольних умовах (табл. 1).

Таблиця 1

Очищення стічних вод від важких металів за 10-денний період за участю водного гіацинту

Визначуваний елемент	Вміст важких металів до початку експерименту у воді, мг/дм <sup>3</sup>	Вміст важких металів після закінчення експерименту у воді, мг/дм <sup>3</sup>
Cd	0,14±0,010	0,021±0,002
Cu	26,30±0,130	5,00±0,200
Pb	0,73±0,005	0,20±0,030
Zn	17,70±0,020	3,30±0,400

Одержані дані свідчать про те, що за десять днів концентрація елементів, що вивчаються у варіанті з рослинами виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms значно знизилася (більш ніж в 11 разів для кадмію, в 5,3 разу для купруму, в 5,4 разів для цинку, в 3,6 рази для плумбуму), тоді як в контролі залишилася на тому ж рівні, що і на початку експерименту. Враховуючи швидкість очищення води рослинами ейхорнії, можна стверджувати, що через три-чотири тижні вода буде відповідати нормативам Санпін, що пред'являється до культурно-побутових водоймищ.

Окрім води, через десять днів з початку експерименту було також проаналізовано вміст вказаних важких металів в рослинній тканині. Для аналізу відбиралося листя та коренева система ейхорнії, що виростили безпосередньо в експерименті.

Дослідження показали, що концентрація важких металів в рослинах виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms коливалася в межах від 0,02 до 267,685 мг/кг сухої речовини (табл. 2). У цинку діапазон значень від 25,1 до 267,685 мг/кг, купруму – від 0,025 до 7,120 мг/кг, плумбуму – від 0,039 до 2,886 мг/кг. Концентрація кадмію коливалася в межах від 0 до 0,133 мг/кг.

Розподіл важких металів у фітомасі ейхорнії  
(\*Н.ч.м. – нижче чутливості методу)

Об'єкти досліджень	Зольність, %	Концентрація металів, мг/кг			
		Zn	Cd	Pb	Cu
Суцвіття	19,1	27,567	Н.ч.м.*	0,220	0,712
Рамети	16,6	91,245	Н.ч.м.*	0,041	7,120
Листкові пластинки раметів	11,2	25,111	Н.ч.м.*	0,065	0,709
Листкові пластинки ортетів	19,9	70,345	Н.ч.м.*	0,399	0,522
Черешки раметів	21,2	31,125	0,010	0,039	0,081
Черешки ортетів	29,8	73,228	0,012	0,311	0,025
Стебла (надводна частина)	8,1	29,980	0,051	0,519	1,778
Стебла (підводна частина)	18,1	267,685	0,131	0,621	1,987
Корені	28,9	241,391	0,133	2,886	2,100
Рослини загалом	12,4	37,167	0,084	0,199	0,905

В цілому отримані значення не перевищують фонового вмісту важких металів у водних рослинах [1]. У той же час, у деяких досліджених нами частинах рослин ейхорнії відмічений вміст цинку, що у декілька разів перевищує середню величину, в порівнянні з ейхорнією, що зростає в природних водоймах (контроль).

Найвищий вміст важких металів, зокрема цинку, характерний для підводної частини стебла та коренів ейхорнії. Це пов'язано з механізмами, що запобігають міграції важких металів в надводну частину [2]. Високі концентрації важких металів саме у підводній частині рослин обумовлені також тим, що основна їх маса накопичується у донних відкладах з якими корені безпосередньо контактують.

Нами встановлено, що найнижчий вміст важких металів характерний для генеративних органів (суцвіття) та для фотосинтетичного апарату рослин (листіків). У тих же частинах практично відсутній або у дуже низьких концентраціях міститься кадмій, що свідчить про більш інтенсивне поглинання кадмію кореневою системою та незначну міграцію його у інші частини рослин.

У старих листках, розміщених у нижній частині рослин ейхорнії,

або у ортетах (материнських рослинах) відмічався підвищений вміст цинку (майже у 3 рази), плюмбуму – у 6-7 разів в порівнянні з молодими, активно асимілюючими листками. Концентрація купруму навпаки зменшилася в 1,5 – 3 рази, що свідчить про його активну міграцію у інші частини рослин.

Таким чином, з отриманих даних видно, що між різними частинами рослин ейхорнії існує суттєва різниця у накопиченні ряду важких металів у різних частинах та органах рослин ейхорнії.

Незважаючи на те що рослини знаходилися на субстраті, в якому вміст купруму, цинку, плюмбуму і кадмію в 25, 16, 76 і 110 разів відповідно перевищував встановлені ГДК води даних металів, рослини в зеленій масі накопичили дані елементи в значних кількостях. Встановлено, що близько 64% металів кадмію, 78% купруму, близько 80% цинку та майже 70% плюмбуму, що містяться у водному розчині акумулюються в корінні рослин та 21% металів кадмію, майже 3% купруму, близько 1,5% цинку та майже 4% плюмбуму у вегетативній масі, тобто основна маса елементів, поглинених з води, накопичилася в корінні водного гіацинта. В цілому, вміст важких металів в листі не перевищував встановлені ГДК для кормів сільськогосподарських тварин.

За результатами аналізів вмісту важких металів у рослинних тканинах визначені коефіцієнти переходу цих речовин із води у листя та кореневу систему ейхорнії (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти переходу важких металів (мг/л)  
у тканини ейхорнії (мг/кг сухої речовини)

Визначуваний елемент	Кп у тканини листя рослин ейхорнії	Кп у тканини кореневої системи рослин ейхорнії
Cd	0,20	0,60
Cu	0,03	0,80
Pb	0,04	0,70
Zn	0,01	0,80

Таким чином, найвищі коефіцієнти переходу спостерігаються при міграції важких металів у кореневу систему, при цьому для купруму та цинку вони знаходяться на рівні 0,8, для плюмбуму та кадмію дещо нижчі – 0,7 та 0,6 відповідно. Коефіцієнти переходу важких металів у вегетативну масу ейхорнії значно нижчі: для цинку вони встановлені

на рівні 0,01, дещо вищі для плумбуму та купруму – в межах 0,03-0,04 та для кадмію коефіцієнт переходу знаходиться на рівні 0,2.

**Висновки.** У статті встановлена можливість використання рослин водного гіацинта для очищення води від важких металів. При цьому у вегетативній масі ейхорнії, вирощеній на забрудненому субстраті впродовж 10 днів, можуть накопичуватися важкі метали у значних кількостях. При цьому між різними частинами рослин ейхорнії існує суттєва різниця у накопиченні ряду важких металів у різних частинах та органах рослин ейхорнії, найкраще накопичують важкі метали підводна частина рослин (коренева система), найменше у суцвіттях і листі. Відмічене значне накопичення цинку та плумбуму у коренях і підводній частині стебел та вибіркоче поглинання купруму.

1. Дикиева Д. М. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие в них концентрацию минеральных веществ / Д. М. Дикиева, И. А. Петрова // Гидробиол. процессы в водоемах. – Л. : Наука, 1983. – С. 107-213.
2. Бингам Ф. Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Ф. Т. Бингам, Э. Коста, Э. Эйхенбергер. – М. : Мир, 1993. – 368 с.
3. Василюк Т. П. Особливості акумуляції важких металів гідробіонтами при біоочищенні сільськогосподарських стічних вод / Г. І. Васенков, Т. П. Василюк, В. М. Пазич, В. І. Максін // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – Київ, 2011. – № 1(3). – С. 39-44.
4. Stratford H. Kay. Effects of heavy metals on water hyacinths (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) / Stratford H. Kay, William T. Haller, Leon A. Garrard // *Aquatic Toxicology*. – 1984. – Vol. 5. – P. 117-128.
5. Schneiders I. A. *Eichhornia crassipes* as biosorbent for heavy metal ions / I. A. Schneiders, J. Ribios, M. Misrat, R.W. Smith // *Minerals Engineering*. – 1995. – Vol. 8, № 9. – P. 979-988.
6. Delgado M. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths / M. Delgado, M. Bigeriego, E. Guardiola // *Water Research*. February. – 1993. – Vol. 27. – P. 269-272.
7. Hasan S. H. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) / S. H. Hasan, M. Talat, S. Rai // *Bioresource Technology*. – 2007. – Vol. 98, iss. 4. – P. 918-928.
8. Нормативы ПДК примесей в воде хозяйственного, питьевого и бытового назначения использования СанПиН 2.1.4.1074-01 // URL: <http://ozonika.ru/content/normativy-pdkprimesej-v-vode-hozjajstvennogo-pitevogo-i-bytovogo-naznachenija-ispolzovanija>

Рецензент: д.с.-г.н., професор Клименко М. О. (НУВГП)