

СЪДЪРЖАНИЕ НА Pb, Zn И Cu В *PHRAGMITES AUSTRALIS* ОТ СЛАДКОВОДНАТА ЕКОСИСТЕМА НА БИОСФЕРЕН РЕЗЕРВАТ СРЕБЪРНА

Стефан Христов

Аграрен Университет - Пловдив, бул. Менделеев 12, Катедра Екология и опазване на околната среда, Факултет по Растителна защита и агроекология, 4000, Пловдив. България, stefanhrstov@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Проучено е съдържанието на Pb, Zn и Cu в корен стъбло и листа от доминиращия макрофит *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. от сладководната екосистема на ез. Сребърна. Проследени са взаимовръзките между съдържанието на изследваните елементи в макрофита, водата и седиментите. Оценен е фактора на биоконцентрация (BCF). Оценени са биоиндикаторните способности на *Phragmites australis* за проследяване степената на замърсяване на сладководни екосистеми с Zn, Pb и Cu.

Key words: биоиндикация, макрофити, тежки метали

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Резерватът “Сребърна” е защитената територия в нашата страна с най-многобройни международни признания. Той е паметник на световното природно наследство по Конвенцията за световното културно и природно наследство на ЮНЕСКО, влажна зона с международно значение по Рамсарската конвенция, биосферен резерват по програмата “Човек и биосфера” на ЮНЕСКО и орнитологично-важно място, включено в мрежата на Бърд Лайф Интернешънъл. След построяването на дига през 1948 г., която отделя ез. Сребърна от р. Дунав, езерната екосистема претърпява значителни промени поради засилване на сукцесионните процеси, предизвикани от силната еутрофикация и антропогенното влияние. Главните причини за това са прекъснатата връзка с р. Дунав, изпомпването на подземни води, промени в ползването на земеделските земи и други дейности, извършвани във водосборния басейн. След построяването на канал (1974), свързващ езерото с р. Дунав, започва намаляване на еутрофикацията и възстановяване на езерната екосистема. Тези изменения са довели и до значителни промени в биологичното разнообразие на ез. Сребърна. Възстановяването на връзката с р. Дунав и наличието на изследвания, свидетелстващи за повишено съдържание на тежки метали с антропогенен произход в реката, предполагат повлияване на сладководната екосистемата и възможност за повишаване на антропогенното натоварване в езерото. Водата, навлизаща от р. Дунав способства обаче, освен за обогатяване с кислород и хранителни вещества и за увеличаване нивото на замърсителите, в т.ч. тежки метали. Макрофитите са основни групи организми в Европейските програми и в Националната програма за биомониторинг. Изследванията върху съдържанието на тежки метали в макрофити от водоеми на Дунавския водосборен басейн в България са малко.

Ricking и Terytze (1999) и Niebaum и др. (2012) подчертават наличието на техногенно замърсяване на горния седиментен слой на езерото. Yurukova и Kochev (1996, 2000, 2002), Kochev и Yurukova (1996), Yurukova (2000), Yurukova (2004) изследват концентрациите на различни елементи вкл. тежки метали във водни обекти на територията на България. Авторите определят високи концентрации на редица тежки метали във водната растителност. Те установяват, че изследваните макрофити *S. demersum*, *P. australis* са добри индикатори на качеството на водите, поради техните изключителни способности да акумулират химични елементи. Авторите определят, че тежките метали са в по-високи стойности в подводните растения, отколкото в плаващите.

Изключителното биологично разнообразие на ез. Сребърна, множеството международни признания, но и значимите потенциални антропогенни заплахи пораждат интереса и необходимостта от задълбочено проучване на съдържанието на тежките метали, както и тяхното състояние при доминиращи групи макрофити в динамичната екосистема на ез. Сребърна.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

През периода 2009–2011 година са извършени изследвания върху съдържанието на Pb, Zn и Cu корен стъбло и листа от *P. australis* от езеро Сребърна (Фигура 1). За съдържание на Pb, Zn и Cu са изследвани общо 81 проби от тръстика *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) (хелиофит). Номенклатурата на макрофити е представена по Fauna Europaea (<http://www.faunaeur.org/>)

За събиране и изследване на макрофитите от езерната екосистема е приложен стандарт БДС EN 15460:2008. Пробите от макрофити са довеждани до сухо състояние и са съхранявани в хартиени пликове. Всяка проба предварително е описвана и номерирана.

Тъй като повечето изходни данни имат агрегирано разпределение, при проверка на хипотези са използвани главно непараметрични методи: коефициентът на рангова корелация на Spearman (r_S) е използван за проверка на асоциацията между променливите, т.е. за проверка на значимостта на връзката между съдържанието на тежки метали в тъканите на рибите, паразитите, макрофитите, макробезгръбначните, водите и седиментите, както и значимостта на тези стойности през различните сезони и години от периода на изследването и други. Всички резултати със стойности $p < 0,05$ се считат за значими. Сравняването на разпределенията на анализирания параметри е извършвано с тест на Kruskal-Wallis (H, Kruskal-Wallis Oneway Nonparametric AOV) и χ^2 - анализ. Тестовите са рангови и проверяват нулевата хипотеза, че сравняваните независими случайни извадки произлизат от съвкупности с еднакви разпределения и параметри на локализация. За статистическа обработка на данните са използвани програмните продукти, MS Excel (Microsoft, 2010), BioDiversity Pro (McAleece, 1997) и Statistica 10 (StatSoft, Inc., 2011).

3. РЕЗУЛТАТИ

В резултат на настоящото изследване са установени стойностите за съдържание на Pb, Zn и Cu в корен, стъбло и листа на *Phragmites australis* и тяхното вариране (Фигура 1).

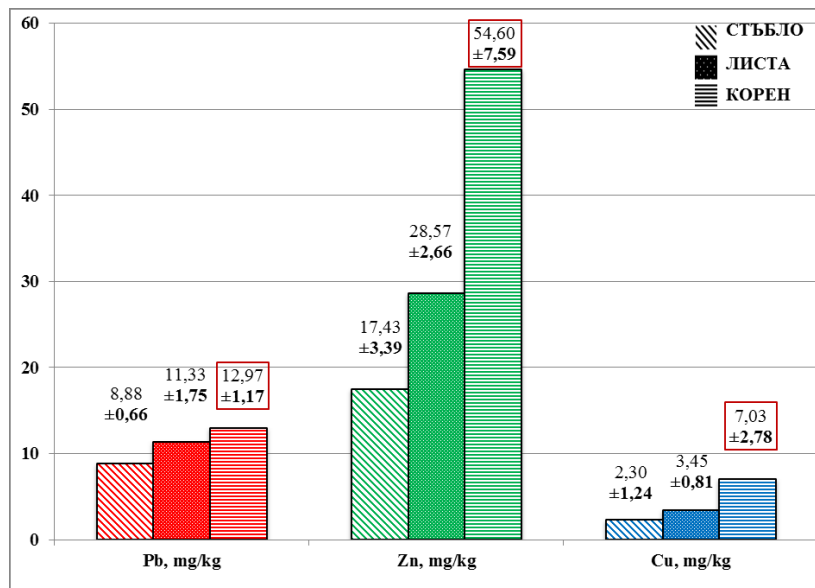
Констатирано е специфично разпределение на елементите в различните части на растението. Най-високи средни стойности за трите елемента са установени при корените (Zn $54,60 \pm 7,59$ mg/kg; Pb $12,97 \pm 1,17$ mg/kg; Cu $7,03 \pm 2,78$ mg/kg).

Най-високите стойности за съдържание на Pb, Zn и Cu в корените на тръстиката свидетелстват за активна сорбция на изследваните елементи във *P. australis* от средата. По-високото съдържание на металите в листата в сравнение със стъблото свидетелства за активния транспорт на елементите. Pb, Zn и Cu се приемат като соли заедно с водата в корените и се пренасят по ликовата проводяща тъкан към листата. Съотношението на средните стойности на Zn и Pb, Cu и Pb се изменят в зависимост от типа на тъканта. В корените съотношението $C_{Zn/Pb/корен} = 4,21$, докато в стъблата и листата то намаля до около два пъти, съответно $C_{Zn/Pb/листа} = 2,52$ и $C_{Zn/Pb/стъбло} = 1,96$ което свидетелства за увеличаване съдържанието на Pb в листата спрямо това в стъблото.

Резултатите за изменението съотношението на Pb и Cu при различните части на *P. australis* са съответно: $C_{Pb/Cu/корен} = 1,84$, $C_{Pb/Cu/листа} = 3,28$ и $C_{Pb/Cu/стъбло} = 3,86$. Вероятно, близките, но и високи стойности за съотношенията между съдържанието на Zn и Cu се основават на техния антагонизъм ($C_{Zn/Cu/корен} = 7,76$; $C_{Zn/Cu/листа} = 8,28$ и $C_{Zn/Cu/стъбло} = 7,57$). По-високото

съдържанието на Zn в листата, в сравнение със стъблото се предполага, че се дължи на по-интензивното му натрупване в клетъчните стени и вакуоли.

Съдържанието на Pb, Zn и Cu във *P. australis* намалява в реда корен>листа>стъбло. Установени са достоверни различия общо между стойностите на трите проследявани елемента в пробите от тръстика (Hkruskal-Wallis=18,61, $p=0,0001$). Според получените резултати, съдържанието на тези елементи намалява в реда Zn>Pb>Cu. (Фигура 1). Следователно, получените резултати позволяват да се определи тенденцията в намаляване съдържанието на Zn при *P. australis* в ред корен>листа>стъбло. Увеличението на средните концентрации на Pb при тръстиката вероятно е свързано с увеличаване натоварването с елементите във водната екосистема.



Фиг. 1. Съдържание (mg/kg) на Pb, Zn и Cu в корен, стъбло и листа от *P. australis* от ез. Сребърна

Високите стойности на изследваните елементи във водите на ез. Сребърна се предполага, че се дължат на преминаването на замърсени води от р. Дунав. Проблемът с натоварването на екосистемата би могъл да бъде свързан и с неправилно използване на различни торове и препарати за растителна защита, както и с неправилни агротехнически мероприятия.

Концентрацията на тежки метали в седиментите е по-ниска от получените за Дунавски водосборен басейн, но спрямо предходни изследвания за ез. Сребърна при направеното изследване се установява съществено повишаване на съдържанието на Zn и Cu. Повишените нива в съдържанието на изследваните елементи от сладководната екосистема на ез. Сребърна се свързват с вливането на замърсени води от оттока на водосбора, от р. Дунав, с подземните води, които подхранват езерото и в незначителна степен с пренос на замърсяващи вещества през атмосферата. Получените данни свидетелстват за ролята на постъпване на елементите Pb, Zn и Cu при макрофитите от водата и от седиментите (Hristov, 2014).

4. ДИСКУСИЯ

При анализа на елементите във водите (Hristov, 2014) се констатира, че за Pb са отчетени много високи стойности спрямо предходни изследвания. Тези високи нива допълнително определят приемането чрез активна сорбция на Pb и преносът му към стъбло и листа. Малката разлика в концентрациите на Pb в корените и листата може да се основава и

на възможността за навлизане чрез дифузия на елемента в листата. Констатираните високи нива на Zn^{2+} и Cu^{2+} във водите, които превишават ПДК по Наредба № Н-4/2012 г. за характеризиране на повърхностните води предполагат постъпване на тези елементи във големи количества в корените на тръстиката.

Данните, получени при направеното изследване, за най-високи стойности за съдържание на Pb, Zn и Cu в корените на *P. australis* спрямо другите части на растението потвърждават проучването на Yurukova и Kochev (1996) за съдържанието на метали в макрофити от ез. Сребърна. Следва да се отбележи, че тези автори получават по-ниски концентрации за съдържанието на Zn в корените на тръстиката (28,00 mg/kg) спрямо тези от настоящото изследване (54,6 mg/kg \pm 7,59). Стойностите за съдържание на Zn в стъблото (17,43 mg/kg \pm 3,39) съвпадат с получените от Yurukova и Kochev (17,00 mg/kg) за езерната екосистема. За съдържанието в листата те получават, обаче около два пъти по-ниски стойности (15,00 mg/kg) спрямо получените при настоящото изследване (28,57 mg/kg \pm 2,66).

Подобни резултати за намаляване съдържанието на елементи в частите на *P. australis* в реда корен>листа>стъбло са получени и от други автори (Yurukova и Kochev, 1996; Baldantoni и др., 2004; Vymazal и др. 2007; Vymazal и др., 2009; Ebrahimi и др., 2011).

Изследваните елементи при *P. australis* намаляват в реда Zn>Pb>Cu, подобно на изследването на Senze и Kowalska-Góralaska (2008). Изследването на Duman и др. (2007), Mleczek и др., (2009), Drzewiecka и др. (2010) определят подобно на получените в настоящата работа резултати за високо съдържание на изследваните елементи в кореновата система на тръстиката.

Установяват незначителни завишения в съдържанието на Pb през годините (Хибаум и др., 2000; Христов, 2014). Стойностите за съдържание на Cu са по-високи при настоящото изследване. По отношение на съдържанието на Zn се установява повишаване на стойностите.

5. ИЗВОДИ

- ❖ Изявена е ясно изразена тенденция за понижаване съдържанието на изучаваните елементи в *P. australis* в реда: Zn>Pb>Cu.
- ❖ Съдържанието на трите елемента в *P. australis* е в направление корен>листа>стъбло.
- ❖ *Phragmites australis* е надеждни биоиндикатори за проследяване степента на замърсяване на водните екосистеми с Zn, Pb и Cu.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № Н-4 от 14.09.2012 г. за характеризиране на повърхностните води. Издадена от министъра на околната среда и водите, обн., ДВ, бр. 22 от 05.03.2013 г., в сила от 05.03.2013
2. БДС EN 15460:2008. Качество на водата. Основен стандарт за изследване на макрофити в езера.
3. Хибаум, Г., Т. Мичев, В. Василев, Й. Узунов, 2000. План за управление на Биосферния Резерват Сребърна. БАН, Централна лаборатория по обща екология, София: 157 с.
4. Hristov, S., 2014. Accumulation of pb, zn and cu in Scardinius erythrophthalmus and some macrophytes from freshwater ecosystem biosphere reserve Srebarna (in press)
5. Baldantoni, D., A. Alfani, A., P. Di Tommasi, G. Bartoli, A. Virzo De Santo, 2004. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. Environ. Pollut. 130 (2004), pp. 149–156
6. Drzewiecka, K., K. Borowiak, M. Mleczek, I. Zawada, P. Goliński, 2010. Cadmium and lead accumulation in two littoral plants of five lakes of Poznan City, Poland. Acta Biologica Cracoviensis series Botanica, 52(2): p59-68.

7. Duman, F., M. Cicek, G. Sezen, 2007. Seasonal changes of metal accumulation и distribution in common club rush (*Schoenoplectus lacustris*) и common reed (*Phragmites australis*). *Ecotoxicology*, 16, 457–463.
8. Ebrahimi, M., M. Jafari, Gh. R. Savaghebi, H. Azarnivand, A. Tavili, F. Madrid, 2011. Accumulation and distribution of metals in *Phragmites australis* (common reed) and *Scirpus maritimus* (alkali bulrush) in contaminated soils of Lia industrial area. *International Journal of Agricultural Science, Research and Technology*, 2011; 1(2):73-81
9. Hiebaum, G., V. Tsavkova, R. Christova, V. Vassilev, 2012. Hydrochemistry and water quality. in: Uzunov, Y., B.B. Georgiev, E. Varadinoiva, N. Ivanova, L. Pehlivanov, V. Vasilev (Editors) 2012. *Ecosystems of the Biosphere Reserve Srebarna Lake*. Sofia, Professor Marin Drinov Academic Publishing House, vi+218 pp.
10. Kochev, H., L. Yurukova, 1996. Macroelemental content of the macrophytes from the Srebarna lake along the Danube (Bulgaria. - In: 31 Konferenz der IAD - Baja - Ungarn, 177-182.
11. Mleczek, M., I. Rissmann, P. Rutkowski, Z. Kaczmarek, P. Golinski, 2009. Accumulation of selected heavy metals by different genotypes of *Salix*. *Environmental and Experimental Botany* 66: 289–296.
12. Ricking, M., K. Terytze, 1999. Trace metals and organic compounds in sediment samples from the River Danube in Russe and Lake Srebarna (Bulgaria. *Environmental Geology* 37 (1-2): 40-46.
13. Senze, M., M. Kowalska-Górska, 2008. Bioaccumulation of metals in common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) in the Losinka River (the Czech Republic. *Ecological Chemistry and Engineering. A*, Vol. 15, nr 9, pp 973-978
14. Vymazal, J., J. Svehla, L. Kröpfelová, V. Chrastný, 2007. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. *Sci. Total Environ* (2007. 380, 154–162.
15. Vymazal, J., L. Kropfelova, J. Svehla, V. Chrastny, J. Stichova, 2009. Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Ecological engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 303-309.
16. Yurukova, L., H. Kochev, 1996. Heavy metal concentrations in main macrophytes from the Srebarna lake along the Danube (Bulgaria. - In: 31 Konferenz der IAD - Baja - Ungarn, 195-200.
17. Yurukova, L., 2000. Current data for heavy metal and toxic levels close to the Bulgarian Danube`s bank. - In: Horvatić, J. (ed.), *Proceedings of the 33rd Conference of IAD (International Association for Danube Research)*, Osijek, Croatia, 33: 403-408.
18. Yurukova, L., H. Kochev, 2000. Element accumulation in macrophytes from Bulgarian swamps along the Danube. - In: Horvatić, J. (ed.), *Proceedings of the 33rd Conference of IAD (International Association for Danube Research)*, Osijek, Croatia, 33: 409-413.
19. Yurukova L., 2002. Biodiversity of freshwater vascular plants along the Bulgarian bank of the Danube - survey and threats. In *Limnological Reports Proceedings 34th Conference IAD*, vol. 34, pp. 251–258. Tulcea Austrian Committee Danube Research IAD.
20. Yurukova, L., 2004. Element content in two macrophytes species and water contamination along the Bulgarian bank of the River Danube. - In: Teodorović, I., Radulović, S. & Bloesh, J. (eds.), *Proceedings of the 35th Conference of IAD (International Association for Danube Research)*, Novi Sad, Serbia and Montenegro, 2004, 35: 297-302.
21. Fauna Euroaea, - база данни, <http://www.faunaeur.org/>
22. McAleece, N., J.D.G. Gage, P.J.D. Lamshead, G.L.J. Paterson, 1997. *BioDiversity Professional statistics analysis software*.
23. Microsoft., 2010. *Microsoft Excel [computer software]*. Redmond, Washington: Microsoft.
24. StatSoft, Inc., 2011. *Statistica (data analysis software system)*, version 10. www.statsoft.com.