

Anna CHRZAN¹

BIOAKUMULACJA METALI CIĘŻKICH W FAUNIE GLEBOWEJ W PUSZCZY NIEPOŁOMICKEJ

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOIL INVERTEBRATES IN NIEPOŁOMICIE FOREST

Abstrakt: Celem badań było określenie zawartości metali ciężkich (Pb, Cd, Ni, Zn i Cu) w glebie i wyekstrahowanej faunie glebowej w dwóch typach siedliskowych lasów w Puszczy Niepołomickiej, odległej o 20 km na wschód od centrum Krakowa. Próbkę glebowe pobierano w III klasie wiekowej każdego typu drzewostanu obejmującą drzewa w wieku od 41 do 60 lat. Zbadano również liczebność i strukturę troficzną zespołów pedofauny. Zawartość metali ciężkich uzależniona była od typu lasu i grupy troficznej. Najwyższe wartości kadmu, ołowiu i miedzi odnotowano w glebie w borze mieszanym świeżym (BMśw), a niklu w borze mieszanym wilgotnym (BMw). Wskaźnik biokoncentracji wskazuje, że zarówno saprofagi, jak i drapieżne bezkręgowce glebowe w największej ilości kumulowały Cd, w mniejszej Zn, natomiast pozostałe metale kumulowane były w zależności od typu siedliskowego lasu. W borze mieszanym świeżym drapieżce kumulowały metale w kolejności Cd>Zn>Pb>Ni>Cu, a saprofagi Cd>Zn>Ni>Cu>Pb.

Słowa kluczowe: Puszcza Niepołomicza, metale ciężkie, grupy troficzne, saprofagi, drapieżne

Wstęp

Gleba jest podstawowym elementem wszystkich ekosystemów lądowych. Procesy zachodzące w glebie mają istotne znaczenie dla zachowania trwałości i produktywności ekosystemów lądowych, w tym również leśnych. Ściółka leśna jest źródłem większości składników pokarmowych pobieranych corocznie przez rośliny.

Działalność antropogeniczna powoduje zasadnicze zmiany w obiegu pierwiastków w środowisku, co prowadzi do zanieczyszczenia nimi poszczególnych jego komponentów. Szczególnie niebezpieczny jest proces nagromadzenia się kationowych pierwiastków śladowych z grupy metali ciężkich [1-3]. Metale ciężkie w nadmiernych ilościach stwarzają poważne zagrożenie dla roślin, zwierząt i człowieka. Ich obecność w glebie i organizmach glebowych stanowi wskaźnik stanu środowiska. Dlatego też istnieje potrzeba bieżącego monitoringu ich zawartości w poszczególnych komponentach środowiska [4-7].

Systematycznie wprowadzane do gleby pierwiastki śladowe kumulują się w jej wierzchniej warstwie, ponieważ są wiązane przez kompleks sorpcyjny gleby oraz bardzo wolno przemieszczają się w głąb profilu glebowego. W ściółkach leśnych i w środowisku glebowym metale ciężkie charakteryzują się zróżnicowaną mobilnością. Ołów wiązany jest silnie przez substancję organiczną powierzchniowej warstwy gleby i w nieznacznym stopniu migruje w głąb profilu, nieco bardziej ruchliwa jest miedź, a cynk stosunkowo łatwo przemieszcza się w głąb gleby. O całkowitej zawartości metali w ściółkach decydują, obok wielkości depozycji, także warunki humifikacji materiału roślinnego, bilans procesów akumulacji metali oraz ich wymywania [2, 5, 8].

¹ Zakład Ekologii, Badań Łowieckich i Ekoturystyki, Instytut Biologii, Uniwersytet Pedagogiczny, ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków, tel. 12 662 67 05, email: annachrn871@gmail.com

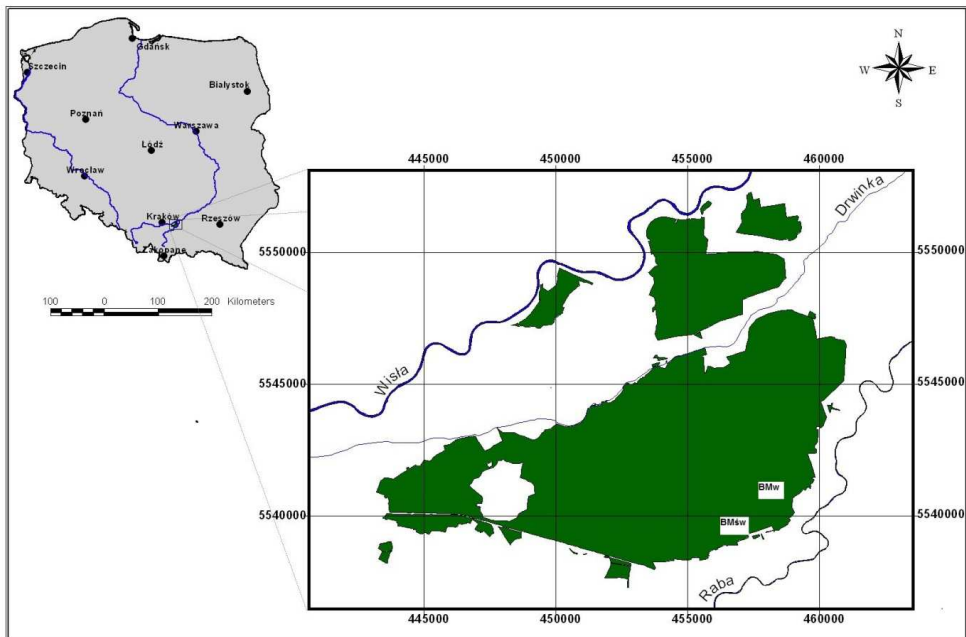
² Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'14, Jarnołtówek, 15-17.10.2014

Celem badań było określenie zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Ni, Zn i Cu) w glebie i wyekstrahowanej faunie glebowej w dwóch typach siedliskowych lasu w Puszczy Niepołomickiej.

Materiał i metodyka

Puszcza Niepołomicka jest dużym kompleksem leśnym położonym około 25 km na wschód od Krakowa. Lasy zajmują blisko 90% powierzchni obszaru. Wśród zbiorowisk leśnych Puszczy Niepołomickiej dominują bory sosnowe - bór mieszany świeży, wilgotny i bagienny, las mieszany świeży, wilgotny i bagienny, las świeży, las wilgotny, ols, ols jesionowy [9].

Badania prowadzono w borze mieszanym wilgotnym (BMw) o największym udziale w puszczy i w borze mieszanym świeżym (BMśw) (rys. 1).



Rys. 1. Położenie stanowisk badawczych w Puszczy Niepołomickiej

Fig. 1. Location of the study area in Niepołomice Forest

Próby glebowe pobierano w okresie jesiennym sezonu wegetacyjnego 2011 i 2012 w III klasie wiekowej każdego drzewostanu zwanej drągowiną, obejmującą drzewa w wieku od 40 do 60 lat.

Próbki glebowe pobierano z badanych stanowisk za pomocą ramy glebowej o wymiarach 25 cm x 25 cm z powierzchni 1 m² i wyplaszano z nich faunę glebową metodą dynamiczną w zmodyfikowanym aparacie Tullgrena. Faunę glebową rozdzielono na grupy troficzne - saprofagi, drapieżne i fitosaprofagi, w których oznaczono metale ciężkie.

Zawartość wybranych metali ciężkich w glebie i faunie glebowej oznaczono metodą FAAS po uprzedniej mineralizacji badanego materiału glebowego i materiału zwierzęcego. W tym celu próbki gleby i zwierzęta suszono w temperaturze 105°C do uzyskania suchej masy. Po uzyskaniu suchej masy każdą grupę troficzną ważono. Odważono również po 2 g wysuszonej gleby z każdego stanowiska. Glebę i organizmy glebowe poddano procedurze mineralizacyjnej w mineralizatorze w stężonym kwasie azotowym w temperaturze 120°C aż do całkowitego rozpuszczenia tkanek. Następnie otrzymane roztwory przelewano do kolb miarowych i dopełniano wodą destylowaną do objętości 10 cm³. W tak przygotowanych roztworach oznaczano zawartość metali ciężkich - kadmu, ołowiu, niklu, miedzi i cynku w spektrofotometrze (firmy BUCK 200 A) metodą FAAS.

Wyniki były przeanalizowane jednoczynnikową analizą wariancji ANOVA. Analiza post hoc została wykonana z użyciem testu HSD Tukeya. Dodatkowo obliczono współczynnik korelacji Pearsona oraz współczynnik r^2 pomiędzy stężeniem metali ciężkich w glebie i w badanej faunie. Różnice uznano za istotne pod względem statystycznym przy $p < 0,05$ [10].

Wyniki i ich omówienie

Charakterystykę badanych gleb przedstawiono w tabeli 1. Gleby na badanych stanowiskach wykazywały odczyn kwaśny (4,5-4,7). Ważnym parametrem glebowym wpływającym na różnorodność pedofauny jest wilgotność, której niskie wartości odnotowano na obydwu stanowiskach. Na badanych stanowiskach występowały gleby bielnicowe, bielnicowo-murszaste, murszowo-glejowe (tab. 1).

Charakterystyka badanych stanowisk

Tabela 1

Comparison of studied habitat types of the forest

Table 1

Parametry	BMw	BMśw
pH gleby	4,48	4,69
Wilgotność [%]	6,93	7,94
Typ gleby	bielnicowo-murszaste, murszowo-glejowe	bielnicowe
Zawartość % próchnicy	11,34	15,40

Nie stwierdzono przekroczeń wartości dopuszczalnych stężeń badanych metali określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku dla gleb Polski [11]. Natomiast stwierdzono różnice w stężeniach metali w badanych typach siedliskowych. Wyższe stężenie kadmu, ołowiu, miedzi i cynku odnotowano w BMśw, a niklu w BMw. Największe różnice odnotowano w zawartości ołowiu w badanych typach siedliskowych lasu. W glebie BMśw ogólna ilość ołowiu była dziewięciokrotnie wyższa niż w glebie BMw, na co mogła wpłynąć wyższa zawartość próchnicy na tym stanowisku (tab. 1 i 2). Koncentracja metali ciężkich w glebie i ściółce jest uzależniona od rodzaju i zawartości materii organicznej [2, 12]. Wielu autorów podkreśla, iż ołów gromadzi się w warstwie próchnicznej profilu glebowego [12-14]. Według Cieśli i in. [13], wyższa akumulacja ołowiu w glebach leśnych może być spowodowana nie tylko kwaśnym

odczynem, ale i wysoką zawartością węgla organicznego. Stężenie Cd, Pb, Cu i Ni w glebach obydwu typów lasów było istotne statystycznie (tab. 2).

Średnia zawartość metali ciężkich w glebie [mg/kg s.m.] (\pm SD)

Tabela 2

Table 2

Mean contents of heavy metals in soil [mg/kg d.m.] (\pm SD)

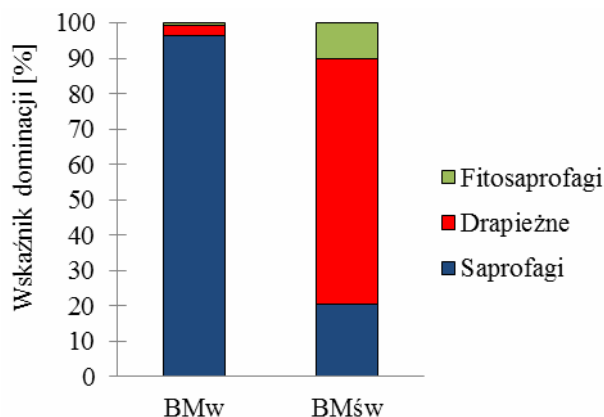
Metal	BMw	BMśw	Wartości graniczne ¹	<i>p</i> (BMw vs BMśw) ²
Cd	0,5 \pm 0,1	0,9 \pm 0,7	4	*
Pb	8,4 \pm 0,5	76,1 \pm 15,3	100	***
Ni	12,4 \pm 1,8	6,4 \pm 0,2	100	***
Cu	10,4 \pm 1,6	15,9 \pm 1,6	150	*
Zn	61,6 \pm 11,4	89,4 \pm 20,8	300	NS

¹ Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359 z dn. 4.10.2002)

² *p* - istotność różnic pomiędzy stężeniem metali w glebie BMśw i BMw

* 0,05 > *p* > 0,01; ** 0,01 > *p* > 0,001; *** *p* < 0,001; NS - brak istotnych różnic

Zbadano również strukturę troficzną zespołów pedofauny. Pod względem troficznym w borze mieszanym wilgotnym zdecydowanie dominowały saprofagi glebowe (Enchytreidae, Lumbricidae, Isopoda, Collembola, larwy Diptera), których udział w ogólnej liczebności wynosił 96%. Natomiast w BMśw prawie 70% wskaźnik dominacji osiągnęły drapieżne bezkręgowce (Chilopoda, dorosłe i larwalne chrząszcze z rodziny Carabidae i Staphylinidae, larwy muchówek z rodziny Dolichopodidae oraz błonkówki Formicidae), a saprofagi miały 20% udział w liczebności (rys. 2).



Rys. 2. Wskaźnik dominacji grup troficznych pedofauny [%]

Fig. 2. Indicator of domination of trophic groups [%]

Zawartość metali ciężkich w faunie glebowej była zróżnicowana w zależności od typu lasu i grupy troficznej. Ołów w większej ilości występował u drapieżców zarówno w BMśw, jak i w BMw. Stężenie kadmu w bezkręgowcach glebowych było znacznie

wyższe niż w glebie. Podobne zależności wykazali u saprofagów (dżdżownic) między innymi Morgan i Morgan [15]. W badaniach własnych stężenie kadmu w drapieżnych bezkręgowcach było wyższe niż u saprofagów i oscyloowało w granicach 13,0-22,6 mg/kg s.m. Nieco niższe zawartości tego metalu odnotowali w swoich badaniach dotyczących Carabidae Van Straalen i in. [6]. Nikiel występował w ilościach 6,6 do 27,3 mg/kg s.m., przy czym u drapieżców glebowych jego zawartości były wyższe niż u saprofagów. Miedź w największym stężeniu występowała u drapieżnych form bezkręgowców w BMw. Cynk jest niezbędny dla prawidłowego funkcjonowania wszystkich komórek organizmu, jest składnikiem wielu enzymów odpowiedzialnych m.in. za metabolizm białek, węglowodanów i tłuszczów, dlatego jego stężenie jest w organizmach wysokie [15] (tab. 3).

Tabela 3

Zawartość metali ciężkich w grupach troficznych

Table 3

Content of heavy metals in trophic groups

Metal	Saprofagi		Drapieżne	
	BMw	BMśw	BMw	BMśw
Cd	12,2	3,0	13,7	22,6
Pb	74,4	19,4	79,4	220,5
Ni	10,1	6,6	27,3	14,8
Cu	19,0	14,8	81,0	18,7
Zn	862,2	280,9	938,0	779,6

Stężenie cynku w bezkręgowcach glebowych było wysokie (280-938 mg/kg s.m.), przy czym najwyższe wartości odnotowano w BMw zarówno u saprofagów, jak i u drapieżców (tab. 3).

Istotne różnice w BMw, jak również BMśw odnotowano pomiędzy zawartością Zn w glebie i faunie ($p = 0,003$, $p = 0,0208$). Zawartość Cd w glebie BMw korelowała istotnie ze stężeniem tego metalu w faunie bezkręgowcej ($t = 4,1187$; $p = 0,0062$), natomiast w BMśw istotne statystycznie różnice wystąpiły również pomiędzy zawartością ołowiu ($p = 0,0382$) i Cu ($p = 0,0015$) w faunie i glebie.

Tabela 4

Współczynnik biokoncentracji saprofagów i drapieżnych w BMw i BMśw

Table 4

Bioconcentration factor saprophags and predators

Metal	Saprofagi		Drapieżne	
	BMw	BMśw	BMw	BMśw
Pb	8,9	0,25	9,4	2,9
Cd	24,4	3,3	27,4	25,1
Ni	0,8	1	5	2,3
Cu	1,8	0,9	7,8	1,2
Zn	14	3,1	15,2	8,7

Metale ciężkie podlegają biokoncentracji, tak w organizmach roślinnych, jak i zwierzęcych [7]. Współczynnik biokoncentracji wyrażany jest jako stosunek stężenia

substancji chemicznej w organizmie do jej stężenia w otaczającym środowisku. Wskaźnik biokoncentracji wskazuje, że saprofagiczne i drapieżne bezkręgowce glebowe w największej ilości kumulowały Cd, w mniejszej Zn, natomiast pozostałe metale kumulowane były w zależności od typu siedliskowego lasu. W borze mieszanym świeżym drapieżne bezkręgowce kumulowały metale w kolejności Cd>Zn>Pb>Ni>Cu, a saprofagi Cd>Zn>Ni>Cu>Pb. W lesie mieszanym świeżym najniższy BCF wykazano dla Pb. W borze mieszanym wilgotnym wskaźnik biokoncentracji dla Cd, Pb i Zn dla saprofagów i drapieżców był podobny. Przystawalność metali przez faunę glebową w tym typie lasu przedstawiała się następująco: Cd>Zn>Pb>Cu>Ni (tab. 4).

Wnioski

- Zawartość badanych metali nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla gleb Polski (Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359 z dn. 4.10.2002).
- Podwyższone stężenie Pb odnotowano w glebie boru mieszanego świeżego.
- Drapieżne bezkręgowce glebowe w największej ilości kumulowały kadm w obydwu typach lasu.
- Cynk kumulowany był w dużych stężeniach przez bezkręgowce glebowe w borze mieszanym wilgotnym.

Literatura

- [1] Santorufo L, Van Gestel CAM, Rocco A, Maisto G. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environ Pollut.* 2012;161:57-63. DOI:10.1016/j.envpol.2011.09.042.
- [2] Laskowski R, Niklińska M, Maryński M. The dynamics of chemical elements in forest litter. *Ecology.* 1995;76:1393-1406. DOI:org/10.2307/1938143.
- [3] Dube A, Zbytowski R, Kowalkowski T, Cukrowska E, Buszewski B. Adsorption and migration of heavy metals in soil. *Pol J Environ Stud.* 2001;10:5-12.
- [4] Lavelle P, Decaëns T, Aubert M, Barot S, Blouin M, Bureau F, et al. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur J Soil Biol.* 2006;42:S3-S15. DOI:10.1016/j.ejsobi.2006.10.002.
- [5] Cortet J, Gomot-De Vaufleury A, Poinot-Balaguer N, Gomot L, Texier C, Cluzeau D. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *Eur J Soil Biol.* 1999;35:115-134. DOI: 10.1016/S1164-5563(00)00116-3.
- [6] Van Straalen NM, Butovsky AD, Pokarzhevskii AS, Zaitsev S, Verhoef R. Metal concentrations in soil and invertebrates in the vicinity of a metallurgical factory near Tula (Russia). *Pedobiologia.* 2001;45:451-466. DOI: 10.1078/0031-4056-00099.
- [7] Notten MJM, Oosthoek AJP, Rozema J, Aerts R. Heavy metal concentrations in a soil-plant-snail food chain along a terrestrial soil pollution gradient. *Environ Pollut.* 2005;138:178-190. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.01.011.
- [8] Van Gestel CAM. Physico-chemical and biological parameters determine metal bioavailability in soils. *Sci Total Environ.* 2008;406:385-395. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.05.050.
- [9] Gruszczyk A. Types of forest site of Niepołomice. *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej. PAN.* 1981;9:205-219.
- [10] Stanisław A. *Przystępny kurs STATYSTYKI PL z zastosowaniem na przykładach z medycyny.* Kraków: StatSoft; 2006.
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. DzU 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.
- [12] Brożek S, Grzywnowicz I, Wojciechowicz A. Metale ciężkie w skałach macierzystych gleb leśnych. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2003;493:53-63.
- [13] Cieśla W, Dąbkowska-Naskręt H, Borowska K, Malczyk P, Długosz J, Jaworska H, et al. Pierwiastki śladowe w glebach wybranych obszarów Pomorza i Kujaw. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 1994;414:63-70.

- [14] Jelaska LŠ, Blanuša M, Durbešić P, Jelaska SD. Heavy metal concentrations in ground beetles, leaf litter, and soil of a forest ecosystem. *Ecotox Environ Safe*. 2007;66(1):74-81. DOI:10.1016/j.ecoenv.2005.10.017.
- [15] Morgan JE, Morgan AJ. Earthworms as biological monitors of cadmium, copper, lead and zinc in metalliferous soils. *Environ Pollut*. 1988;54:123-138. DOI: 10.1016/0269-7491(88)90142-X.

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOIL INVERTEBRATES IN NIEPOŁOMICIE FOREST

Department of Ecology, Wildlife Research and Ecotourism, Institute of Biology
Pedagogical University of Krakow

Abstract: The purpose of the research was to determine the respective contents of heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn and Cu) in soil and extracted soil fauna in two types of forest habitats of Niepolomice Forest distant about 20 km east of the Krakow centre. Soil samples were taken during autumn of 2011-2012 vegetation season in two stands of age category III (41 to 60 years). Also tested was the trophic structure of pedofauna assemblages. The contents of heavy metals varied, depending on the forest type and trophic group. The highest values of cadmium, lead, and copper content were recorded in fresh mixed broadleaved forest MFBF, while of nickel in moisture mixed coniferous forest MHCF. Bioconcentration factor shows that both soil saprophages and predacious invertebrates accumulated the largest amounts of Cd and smaller amounts of Zn, while the accumulation of remaining metals depended on the type of forest habitat. In fresh mixed coniferous forest predators accumulated heavy metals in the following order: Cd>Zn>Pb>Ni>Cu, in the case of saprophages it was: Cd>Zn>Ni>Cu>Pb.

Keywords: Niepolomice Forest, heavy metals, trophic groups, saprophages, predators

