

JAROSŁAW WAROSZEWSKI, MAGDALENA HARCZUK, CEZARY KABAŁA

PRZESTRZENNE GRADIENTY ZAWARTOŚCI  
PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH W BORÓWCE  
BRUSZNICY I POZIOMACH ORGANICZNYCH  
GLEB SUDETÓW I KARPAT

SPATIAL GRADIENTS OF TRACE ELEMENTS  
CONCENTRATION IN COWBERRY PLANTS  
AND ORGANIC HORIZONS OF SOILS IN THE SUDETY  
AND THE KARPATY MOUNTAINS

Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy  
we Wrocławiu

*Abstract:* The samples from the Śnieżnik Massif, the Babia Góra, the Bieszczady and the Czarnohora Mountains were taken in similar topographic and climatic conditions to examine the spatial gradients of trace elements concentration (Zn, Pb, Cu) in plants and soils of Sudety and Karpaty Mountains. Samples were taken following the arrangement: an indicator plant (*Vaccinium vitis-idaea* L.), litter sublayer, fermentation sublayer and peaty sublayer. The results present the distinct trend of rise in content of heavy metals in peaty sublayers in west direction. No spatial gradients of trace elements concentration were found in sprouts of cowberry and litter sublayers.

*Słowa kluczowe:* pierwiastki śladowe, gleby, tangelmor, borówka brusznica, strefa subalpejska.

*Key words:* trace elements, soils, tangelmor ectohumus, cowberry plants, subalpine zone.

## WSTĘP

Gwałtownie narastająca w drugiej połowie XX wieku emisja pyłów ze spalania węgla i hutnictwa spowodowała silne zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego w Europie Środkowej, a w konsekwencji przeobrażenie ekosystemów górskich Sudetów i Karpat, następujące wskutek wielkoobszarowego zamierania drzewostanów świerkowych [Fabiszewski, Wojtuń 1994; Raj 1995]. Zjawiska te przyczyniły się między innymi do wzrostu zainteresowania rolą łańcuchów górskich jako barier orograficznych zatrzymujących masy zanieczyszczonego powietrza i skutków wzmożonej akumulacji zanieczyszczeń, w tym w roślinach wskaźnikowych oraz w glebach różnych stref wysokościowych. Mimo podejmowanych prób prowadzone dotychczas badania na terenach

górkich Polski, Czech i Ukrainy nie były wystarczające dla określenia wielkoobszarowych przestrzennych trendów zawartości pierwiastków śladowych w glebach (na przykład w ujęciu wschód-zachód), głównie ze względu na odmienność metodyk prowadzonych prac, jak również lokalny zasięg badań [Drozd i in. 1998; Kabała 1998b; Niemyska-Lukaszuk 1993; Skiba i in. 1994, 1995; Woźniak 1996]. Ponadto prace te najczęściej skupiały się na obszarach pokrytych drzewostanami świerkowymi, a tylko sporadycznie prowadzone były w strefie subalpejskiej. Tymczasem wysoko położone i odsłonięte obszary połoninowe, silnie narażone na długotrwałe oddziaływanie mas zanieczyszczonego powietrza wydają się być względnie stabilnymi ekosystemami (pod względem składu botanicznego) przydatnymi do porównawczych analiz aktualnej jakości środowiska w różnych pasmach górskich, jak również do oceny zmian stopnia zanieczyszczenia w przeszłości [Woźniak 1998].

Podjęte prace polegały na określeniu stopnia wzbogacenia w pierwiastki śladowe roślin wskaźnikowych (borówki brusznicy) oraz precyzyjnie wyodrębnianych powierzchniowych poziomów organicznych gleb strefy subalpejskiej (połoninowej) średnich gór środkowej Europy w rozległym transekcie rozciągającym się ze wschodu na zachód, to jest od pasma Czarnogóry w Karpatach Wschodnich poprzez Bieszczady i Babią Górę do Masywu Śnieżnika w Sudetach Wschodnich.

Celem prac było potwierdzenie istnienia przestrzennych gradientów zanieczyszczenia roślin i gleb pierwiastkami śladowymi lub występowania takich prawidłowości w przeszłości.

## METODYKA BADAŃ

Specyficzne warunki klimatyczne panujące w bezleśnej strefie subalpejskiej (połoninowej), spowalniające tempo rozkładu szczątków roślin przyczyniają się do powstawania kilkunastu warstw organicznych na powierzchni gleb, zwanych próchnicą tangelmor lub tangelbutwiną [Uziak 1963; Skiba 1993]. Najbardziej powierzchniowa warstwa o charakterze włóknistej ściółki jest zbudowana ze słabo rozłożonych pędów i liści traw, bylin oraz krzewinek. Warstwa zalegająca nieco głębiej (butwinowa) odznacza się silniejszym stopniem rozdrobnienia i rozkładu szczątków roślin, jest też bardzo silnie przzerośnięta przez żywe korzenie oraz grzybnie. Na styku z mineralnym poziomem próchnicznym występuje przeważnie warstwa organiczna lub organiczno-mineralna silnie rozłożona, o cechach torfu albo murszu. Charakterystyka warstw organicznych jest bardzo zmienna, podobnie jak ich miąższość, wahająca się w zakresie od kilku do kilkudziesięciu centymetrów [Drozd 1995; Kabała 1998a; Skiba 1977; Woźniak 1998].

Próbki do badań pobrane zostały na czterech obszarach górskich położonych w linii wschód-zachód, to jest w pasmach Czarnohory, Bieszczadów, Babiej Góry i Masywie Śnieżnika (rys. 1). W celu ograniczenia wpływu lokalnych czynników na zmienność wyników, próbki pobierano z zachowaniem następujących założeń lokalizacyjnych (tab. 1): (a) wysokość poboru od 1240 do 1560 m n.p.m., tj. w strefie subalpejskiej (połoninowej, ponad górną granicą lasu), w obrębie zbiorowisk trawiasto-krzewinkowych, (b) stoki o północnej wystawie, (c) gleby wytworzone z bezwęglanowych, kwaśnych zwietrzelin o zbliżonym, gliniasto-pyłowym uziarnieniu.

Materiał do analiz pobrano na każdym z obszarów na przełomie sierpnia i września 2006 roku, w 4 powtórzeniach (w odległości 10–20 m), wyodrębniając każdorazowo próbki:

– żywych roślin (całe, jedno- i dwuletnie pędy borówki brusznicy *Vaccinium vitis-idea*),



RYSUNEK 1. Mapa rozmieszczenia obiektów badań (wykonana na podstawie danych dostępnych na portalu [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com)). Objasnienia: A – Masyw Śnieżnika, B – Babia Góra, C – Bieszczady, D – Czarnohora

FIGURE 1. Map of the distribution of examination objects (made based on available data on [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com)) Explanation: A – Śnieżnik Massif, B – Babia Góra Mountain, C – Bieszczady Mountains, D – Czarnohora Mountains

- ściółki występującej w postaci rozpoznawalnych, słabo rozłożonych, włóknistych resztek roślinnych,
- butwiny zbudowanej z silnie rozdrobnionych i częściowo rozłożonych szczątków roślinnych,

TABELA 1. Lokalizacja i charakterystyka obszarów badań

TABLE 1. Localization and characteristics of the areas under investigation

Obiekt badań Area of study	Pasma górskie Mountain range	Dług. geogr. Longi- tude	Wysok. m n.p.m. Altitude, m a.s.l.	Wys- tawa stoku Slope exposit.	Uziar- nienie gleby Soil texture
Czarnohora (W Ukraina) Czarnohora Mts. (W Ukraine)	Karpaty Wschodnie Eastern Carpathians Mts.	24	1560	N	gz/pi L/SiL
Bieszczady (SE Polska) Bieszczady Mts. (SE Poland)	Karpaty Wschodnie Eastern Carpathians Mts.	22	1240	N	płg SiL
Babia Góra (S Polska) Babia Góra Mts. (S Poland)	Karpaty Zachodnie Western Carpathians Mts.	19	1510	N	gp SL
Masyw Śnieżnika (SW Polska) Śnieżnik Massif (SW Poland)	Sudety Zachodnie Western Sudetes Mts.	17	1420	N	gp SL

Grupy granulometryczne gleb według klasyfikacji PTG 2008: gp – glina piaszczysta, gz – glina zwykła, płg – pył gliniasty, pli – pył ilasty; Soil texture classes according to USDA classification scheme: L – loam, SL – sandy loam, SiL – silty loam

– próchnicy torfiastej/murszowej, składającej się z silnie zhumifikowanej i ciemno zabarwionej materii organicznej, mazistej w stanie wilgotnym.

Pobrane zostały ponadto próbki z warstw mineralnych, które w niniejszym opracowaniu zostały pominięte (w tabeli 1 podano jedynie uziarnienie powierzchniowej warstwy mineralnej gleby).

W pobranych próbkach oznaczono: zawartość substancji organicznej metodą strat żarowych, pH w wodzie destylowanej i w 1M KCl (potencjometrycznie), całkowitą zawartość pierwiastków śladowych (Zn, Cu, Pb) metodą atomowej spektrofotometrii adsorpcyjnej po uprzedniej mineralizacji próbek na mokro, w mieszaninie kwasu azotowego i kwasu solnego w proporcji 3:1, w układzie zamkniętym (w piecu mikrofalowym). Jakość oznaczeń kontrolowano z użyciem referencyjnych materiałów glebowych (SRM 2709, RTH 912) z certyfikowaną całkowitą zawartością analizowanych pierwiastków.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wszystkie analizowane próbki organiczne z Czarnohory, Bieszczadów, Babiej Góry i Śnieżnika charakteryzują się odczynem silnie kwaśnym, pH w H<sub>2</sub>O poniżej 4,4 i pH w KCl poniżej 3,7 (tab. 2). Najsłabsze zakwaszenie, pH w H<sub>2</sub>O do 4,0 na Śnieżniku i 4,4 w Czarnohorze, zawsze występuje w słabo rozłożonej ściółce. W warstwach zawierających materię organiczną silniej zhumifikowaną pH jest niższe o co najmniej 0,5 jednostki. Najsilniejsze zakwaszenie stwierdzono w podpoziomach torfiastych/murszowych próchnic na Śnieżniku, gdzie przeciętne pH w H<sub>2</sub>O wyniosło 3,3, a pH w KCl – około 2,5 (tab. 2). Zawartość materii organicznej (jako strata żarowa) zmniejsza się wraz ze stopniem rozkładu szczątków organicznych (tab. 2). Wyraźnie zaznacza się też tendencja do wzrostu akumulacji materii organicznej w kierunku zachodnim, co przejawia się brakiem warstwy murszowej w glebach Czarnohory oraz zwiększającą się stratą żarową w poziomie ściółki (od 69,6% w Czarnohorze do 91,6% na Śnieżniku).

Przeciętne zawartości cynku w pędach borówki są mało zróżnicowane na całym analizowanym obszarze (przeciętnie 45,5 mg · kg<sup>-1</sup> s. m.), przy czym zarówno minimalną (39,8 mg · kg<sup>-1</sup> s. m.), jak i maksymalną zawartość (50,6 mg · kg<sup>-1</sup> s. m.) stwierdzono w Karpatach Wschodnich. Ilości te mieszczą się w samym środku przedziału zawartości cynku określonego w roślinności Bieszczadów przez Woźniaka [1996] na 18–93 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. Zawartość cynku stopniowo zwiększa się w miarę rozkładu materii organicznej do 55,6–74,7 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. w warstwie ściółki, do 62,8–84,3 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. w poziomie butwinowym oraz do 44,4–101,5 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. w poziomie torfiastym/murszowym. Mimo że zawartości cynku w ściółce i butwinie są zazwyczaj nieco wyższe w Sudetach i Karpatach Zachodnich niż w Karpatach Wschodnich, to przy braku istotnego statystycznego zróżnicowania obliczonych średnich trudno dopatrywać się wyraźnego trendu przestrzennego. Jedynie w podpoziomach torfiastych/murszowych zawartość cynku wyraźnie rośnie ku zachodowi (od 44,4 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. w Czarnohorze, przez 82,5 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. na Babiej Górze do 101,5 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. na Śnieżniku), a obliczone średnie istotnie różnią się od siebie (tab. 2).

Pionowy gradient koncentracji cynku świadczy o istnieniu powinowactwa tego pierwiastka do substancji organicznej oraz o jego bioakumulacji w poziomach organicznych. Podobne prawidłowości, prowadzące do silnego wzbogacenia w cynk poziomów murszowych i organicznych gleb Zachodnich Karpat prezentuje Niemyska-Łukaszuk [1993]. Podawane przez autorkę ilości cynku w poziomach organicznych gleb Babiej Góry są bardzo zbliżone do zawartości stwierdzonych w prezentowanej pracy. Podobnie

TABELA 2. pH, strata żarowa i zawartość pierwiastków śladowych w podpoziomach próchnic oraz w roślinach borówki brusznicy na obszarze Czarnohory i Bieszczad (Karpaty Wschodnie)

TABLE 2. pH, loss on ignition, and concentration of trace elements in ectohumus subhorizons and in plants of cowberry on the area of the Czarnohora Mts. and the Bieszczady Mts. (Eastern Carpathian Mountains)

Analizowana próbka Sample analysed	pH w – in		Strata żarowa Loss on ignition	Całkowita zawartość – Total concentration [mg · kg <sup>-1</sup> of dry mass – s.m.]		
	H <sub>2</sub> O	KCl	%	Zn	Cu	Pb
<b>Czarnohora</b>						
Żywe rośliny Plants	–	–	92,2 <sup>a/A</sup> 90,8–94,1 <sup>**</sup>	39,6 <sup>a/A</sup> 33,6–47,9	9,1 <sup>a/A</sup> 7,3–10,7	30,1 <sup>a/A</sup> 23,3–35,2
Podpoziom ściółki Litter sublayer	4,4 <sup>a/A</sup> 4,3–4,5	3,6 <sup>a/A</sup> 3,5–3,8	69,6 <sup>b/A</sup> 67,7–73,3	69,4 <sup>b/A</sup> 54,2–82,2	16,5 <sup>b/A</sup> 3,8–20,5	53,8 <sup>b/A</sup> 46,4–59,2
Podpoziom butwinowy Fermentation sublayer	3,8 <sup>b/A</sup> 7–3,9	3,2 3,1–3,4	24,8 <sup>c/A</sup> 21,7–32,9	62,8 <sup>b/A</sup> 60,5–65,6	35,0 <sup>c/A</sup> 27,6–46,1	56,7 <sup>b/A</sup> 45,8–66,9
<b>Bieszczady</b>						
Żywe rośliny Plants	–	–	96,5 <sup>a/A</sup> 96,1–96,8	50,6 <sup>a/A</sup> 43,9–63,4	9,7 <sup>a/A</sup> 8,9–10,4	21,3 <sup>a/B</sup> 19,7–23,3
Podpoziom ściółki Litter sublayer	4,4 <sup>a/A</sup> 4,3–4,5	3,7 <sup>a/A</sup> 3,5–3,8	86,9 <sup>a/B</sup> 81,9–89,7	55,6 <sup>a/A</sup> 37,4–64,7	9,0 <sup>a/B</sup> 6,9–10,8	33,6 <sup>b/B</sup> 25,4–42,8
Podpoziom butwinowy Fermentation sublayer	3,3 <sup>b/B</sup> 3,2–3,4	2,6 2,3–2,9	58,4 <sup>b/B</sup> 46,7–74,6	73,7 <sup>b/A</sup> 51,9–87,8	17,9 <sup>b/B</sup> 13,4–26,2	93,9 <sup>c/B</sup> 73,6–107,9
Podpoziom torfiasty/murszowy Peaty/mucky sublayer	3,6 <sup>b/A</sup> 3,4–3,7	3,0 2,9–3,1	26,4 <sup>c/A</sup> 24,0–30,2	44,4 <sup>a/A</sup> 24,8–77,0	12,2 <sup>b/A</sup> 7,4–20,6	25,9 <sup>a/A</sup> 24,1–29,2

Objaśnienia: \* – średnia arytmetyczna, \*\* – zakres wyników (minimum -maksimum), <sup>a,b/A,B</sup> – grupy jednorodnie wyznaczone testem porównań wielokrotnych wg Duncana przy p<0,05 (<sup>a,b</sup> – porównanie średnich wartości pomiędzy podpoziomami na danym obszarze, <sup>A,B</sup> – porównanie średnich wartości w analogicznych podpoziomach gleb Czarnohory, Bieszczad, Babiej Góry i Śnieżnika)  
Explanation: \* – arithmetic mean, \*\* – range of results (minimum -maximum), <sup>a,b/A,B</sup> – homogeneous groups of Duncan's multiple range test at P<0,05 (<sup>a,b</sup> – comparison of mean values of sublayers at particular localization, <sup>A,B</sup> – comparison of mean values in the analogical sublayers in the Czarnohora, Bieszczady, Babia Góra and Śnieżnik Massif)

wysokie zawartości cynku stwierdzone zostały również w ektopróchnicach gleb na obszarze Sudetów, szczególnie Karkonoszy i Gór Izerskich [Drozd i in. 1998; Kabała 1998b; Skiba i in. 1994]. Pewnym mankamentem utrudniającym porównanie uzyskanych wyników z opublikowanymi dotychczas pracami innych autorów są zróżnicowane podziały powierzchniowych poziomów organicznych na podpoziomy lub brak wyników obserwacji ze strefy bezleśnej (subalpejskiej).

Zawartość miedzi w roślinach borówki jest nieco silniej zróżnicowana niż zawartość cynku, w zakresie od 6,7 do 9,7 mg · kg<sup>-1</sup> s. m., przy czym wyraźnie wyższe wartości stwierdzono w Karpatach Wschodnich niż w Karpatach Zachodnich i Sudetach. Ilości oznaczone w roślinach z obszaru Bieszczadów niemal o połowę przewyższają wartości podawane przez Woźniaka [1996], oscylujące wokół 6 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. Zawartość miedzi w poziomach organicznych jest z reguły wyższa niż w suchej masie żywych roślin borówki i zwiększa się wraz z rosnącym

stopniem rozkładu materii organicznej (tab. 2), co potwierdza znane zależności między zawartością tego pierwiastka a ilością i rodzajem materii organicznej [Kabata-Pendias, Pendias 1993]. Jedynie w Bieszczadach stwierdzono nieregularny profilowy rozkład średnich zawartości pierwiastka. Podobnie jak w żywych roślinach, tak i w powierzchniowej warstwie ściółki oraz w warstwie butwinowej, najwyższe koncentracje miedzi (odpowiednio do 16,5 i do 35,0 mg · kg<sup>-1</sup> s. m.) występują w Karpatach Wschodnich. W Masywie Śnieżnika ilości te nie przewyższają odpowiednio 12,4 i 17,1 mg · kg<sup>-1</sup> s. m.

Z kolei w podpoziomach torfiastych/murszowych ilość miedzi rośnie w kierunku zachodnim z 12,2 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. w Bieszczadach do 20,7 mg · kg<sup>-1</sup> s. m. na Śnieżniku. Niestety wobec braku warstwy torfiastej na Czarnohorze nie jest możliwe określenie, czy tendencja ta występuje w całej rozciągłości analizowanego transektu.

TABELA 3. pH, strata żarowa i zawartość pierwiastków śladowych w podpoziomach próchnic oraz w roślinach borówki brusznicy na obszarze Babiej Góry i Masywu Śnieżnika

TABLE 3. pH, loss on ignition, and concentration of trace elements in ectohumus subhorizons and in plants of cowberry on the area of the Babia Góra Mts. and the Śnieżnik Massif

Analizowana próbka Sample analysed	pH w – in		Strata żarowa Loss on ignition	Całkowita zawartość – Total concentration [mg · kg <sup>-1</sup> of dry mass – s.m.]		
	H <sub>2</sub> O	KCl	%	Zn	Cu	Pb
<b>Babia Góra</b>						
Żywe rośliny Plants	–	–	98,4 <sup>*a/A</sup> 97,7–98,7 <sup>**</sup>	49,0 <sup>a/A</sup> 45,2–52,6	7,1 <sup>a/B</sup> 6,5–7,9	24,4 <sup>a/B</sup> 17,2–32,6
Podpoziom ściółki Litter sublayer	4,2 <sup>a/A</sup> 4,1–4,3	3,6 <sup>a/A</sup> 3,4–3,9	89,6 <sup>a/B</sup> 89,0–90,1	74,7 <sup>b/A</sup> 61,1–88,4	10,4 <sup>b/B</sup> 6,1–15,3	31,3 <sup>b/B</sup> 21,8–40,8
Podpoziom butwinowy Fermentation sublayer	3,5 <sup>b/B</sup> 3,4–3,6	2,7 2,6–2,8	69,5 <sup>b/B</sup> 59,0–75,1	54,0 <sup>a/A</sup> 22,8–85,3	9,6 <sup>b/C</sup> 7,8–11,4	98,1 <sup>c/B</sup> 71,5–124,7
Podpoziom torfiasty/murszowy Peaty/mucky sublayer	3,7 <sup>b/A</sup> 3,6–3,7	2,7 2,6–2,7	70,6 <sup>b/B</sup> 65,8–72,0	82,5 <sup>b/B</sup> 80,7–84,2	14,2 <sup>c/A</sup> 11,6–16,8	207,4 <sup>d/B</sup> 173,7–241,1
<b>Śnieżnik</b>						
Żywe rośliny Plants	–	–	97,3 <sup>a/A</sup> 96,8–97,5	43,4 <sup>a/A</sup> 35,4–53,3	6,7 <sup>a/B</sup> 4,9–8,5	19,7 <sup>a/B</sup> 10,9–27,4
Podpoziom ściółki Litter sublayer	4,0 <sup>a/B</sup> 3,9–4,1	3,5 <sup>a/A</sup> 3,3–3,6	95,8 <sup>a/B</sup> 95,3–96,1	67,7 <sup>b/A</sup> 41,5–83,2	12,4 <sup>b/B</sup> 10,3–15,2	35,5 <sup>b/B</sup> 29,5–45,8
Podpoziom butwinowy Fermentation sublayer	3,5 <sup>b/B</sup> 3,3–3,7	2,6 2,5–2,8	91,6 <sup>a/C</sup> 88,3–93,5	84,3 <sup>c/B</sup> 51,7–116,4	17,1 <sup>c/B</sup> 12,2–21,1	152,6 <sup>c/C</sup> 83,3–246,0
Podpoziom torfiasty/murszowy Peaty/mucky sublayer	3,3 <sup>b/B</sup> 3,0–3,6	2,5 2,3–2,7	48,7 <sup>b/C</sup> 41,5–64,7	101,5 <sup>d/C</sup> 48,8–186,3	20,7 <sup>c/B</sup> 8,6–33,0	293,6 <sup>d/C</sup> 129,8–395,0

Objaśnienia: \* – średnia arytmetyczna, \*\* – zakres wyników (minimum -maksimum), <sup>a,b/AB</sup> – grupy jednorodnie wyznaczone testem porównań wielokrotnych wg Duncana przy p<0,05 (<sup>a,b,c</sup> – porównanie średnich wartości pomiędzy podpoziomami na danym obszarze, <sup>A,B,C</sup> – porównanie średnich wartości w analogicznych podpoziomach gleb Czarnohory, Bieszczad, Babiej Góry i Śnieżnika)

Explanation: \* – arithmetic mean, \*\* – range of results (minimum -maximum), <sup>a,b/AB</sup> – homogeneous groups of Duncan's multiple range test at P<0,05 (<sup>a,b,c</sup> – comparison of mean values of sublayers at particular localization, <sup>A,B,C</sup> – comparison of mean values in the analogical sublayers in the Czarnohora, Bieszczady, Babia Góra and Śnieżnik Massif)

Zawartość ołowiu w żywych roślinach borówek, podobnie jak zawartość miedzi, jest znacznie wyższa w Karpatach Wschodnich (przeciętnie  $30,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$  w Czarnohorze) niż w Sudetach (przeciętnie  $19,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$  na Śnieżniku). Tendencja ta przekłada się na zawartość pierwiastka w podpoziomach ściółek, gdyż w Czarnohorze stwierdzono średnio  $53,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ , a na Śnieżniku jedynie  $35,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ . Zaznaczyć należy, że wysoka zawartość ołowiu w roślinach i ściółce na obszarze Czarnohory znacząco odstaje od wyników z pozostałych obszarów, na których zawartość pierwiastka w roślinach mieści się w wąskim zakresie od  $19,7$  do  $24,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ , a w ściółkach od  $31,3$  do  $35,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ . Na wszystkich obszarach – z wyjątkiem Czarnohory – koncentracja ołowiu zdecydowanie rośnie w silniej rozłożonych poziomach organicznych. W podpoziomach butwinowych gleb Śnieżnika osiąga  $152,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ , a w podpoziomach torfiastych nawet  $293,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ , co oznacza niemal 15-krotny wzrost w stosunku do zawartości w suchej masie żywych roślin. Akumulacja ołowiu w silniej rozłożonych podpoziomach ściółek leśnych jest zjawiskiem dobrze znanym [Drozd i in. 1998; Kabała 1998b; Niemyska-Łukaszuk 1993], tłumaczonym dużym powinowactwem ołowiu do substancji organicznej. Jednakże tak duże ilości nie zostały nagromadzone w wyniku zwykłej bioakumulacji, lecz świadczą o związaniu ogromnych ilości ołowiu z opadu atmosferycznego. Zawartość ołowiu w podpoziomach butwinowych, a szczególnie podpoziomach torfiastych analizowanych gleb zdecydowanie zwiększa się w kierunku zachodnim osiągając maksimum w glebach masywu Śnieżnika w Sudetach (tab. 2). Stwierdzone tam koncentracje zbliżone są do wyników z innych wysokich pasm górskich Sudetów, szczególnie Karkonoszy [Drozd i in. 1995; Karczewska i in. 2006; Skiba i in. 1994]. Potwierdza to fakt silnego i trwałego zanieczyszczenia ołowiem ektopróchnicy gleb na obszarze całych Sudetów, lecz nie wskutek współcześnie złej jakości powietrza, lecz długotrwałej emisji w przeszłości, w okresie najintensywniejszego rozwoju energetyki i przemysłu metalowego w tym regionie [Matyniak, Zwoździak 1993].

Badania bioindykacyjne prowadzone w latach 80. i 90. XX w. wskazywały na zdecydowanie większe zanieczyszczenie powietrza w Sudetach niż w Karpatach [Grodzińska 1980]. Spośród metali analizowanych w igłach świerka najsilniejszy trend wzrostu w kierunku zachodnim (od Tatr do Karkonoszy) wykazywał ołów [Żolnierz i in. 1995]. Wysoka zawartość pierwiastków śladowych w biomase roślin przekłada się na wzrost ich koncentracji w powierzchniowych poziomach organicznych [Prusinkiewicz, Pokojka 1989]. Ektopróchnica gleb bezleśnej strefy subalpejskiej wykazuje podobne zdolności akumulacji metali jak próchnica nadkładowa gleb leśnych regla górnego [Drozd i in. 1998; Niemyska-Łukaszuk i in. 2000]. Akumulacja metali w ektopróchnicach o powolnym tempie rozkładu jest zjawiskiem długotrwałym, toteż w podpoziomach zbudowanych z silnie rozłożonej materii organicznej mogą być związane metale akumulowane przez dziesięciolecia [Berg 1986; Suchara, Sucharova 2002]. Skład poszczególnych podpoziomów ekto-próchnicy pozwala więc na odczytanie stanu środowiska zarówno w ujęciu krótko-, jak i długoterminowym.

Wyniki prezentowane w niniejszej pracy dowodzą jednoznacznie, że jakość powietrza atmosferycznego w Sudetach (na pograniczu niemiecko-czesko-polskim) uległa zdecydowanej poprawie i nie odbiega od stanu w Karpatach Zachodnich, co przejawia się podobnie niskimi koncentracjami pierwiastków śladowych w pędach borówki. Można nawet mówić o odwróceniu gradientu opisywanego przez Żolnierza i in. [1995], gdyż obecnie wyższe zawartości ołowiu i miedzi w roślinach i ściółkach występują w Karpatach Wschodnich (na obszarze Ukrainy) niż w Karpatach Zachodnich i Sudetach.

Zdecydowanie inaczej kształtują się zawartości metali w poziomach silniej rozłożonej (starszej) butwiny, a szczególnie w najsilniej rozłożonych podpoziomach torfiastych. W warstwach tych stwierdzono wyraźny wzrost koncentracji wszystkich trzech analizo-

wanych pierwiastków w kierunku zachodnim. Trend ten najsilniej zaznaczony jest w przypadku ołowiu, co zgodne jest z wynikami badań bioindykacyjnych Żołnierza i in. [1995], choć prace te dotyczyły igieł świerka, a więc prowadzone były w strefie regłowej. Uwzględniając (w przybliżeniu) objętość i gęstość poszczególnych podpoziomów analizowanych próchnic można jednoznacznie potwierdzić, że całkowita ilość cynku, miedzi, a szczególnie ołowiu, zakumulowanych w miększych, butwinowo-torfiaстых ektopróchnicach strefy subalpejskiej Karpat i Sudetów wyraźnie zwiększa się ze wschodu na zachód, co zostało spowodowane emisjami przemysłowymi i energetycznymi o szczególnie dużym natężeniu w drugiej połowie XX wieku aż do końca lat 80. [Matyniak, Zwoździak 1993]. Do podobnych wniosków na terytorium Republiki Czeskiej doszli ostatnio Suchara i Sucharova [2002].

## WNIOSKI

1. Zawartości cynku, miedzi i ołowiu w pędach borówki brusznicy oraz w słabiej rozłożonych powierzchniowych podpoziomach ściółek gleb strefy subalpejskiej są relatywnie niskie i nie różnią się znacząco na obszarze Karpat Wschodnich, Karpat Zachodnich i Sudetów.
2. Zawartość pierwiastków śladowych jest wyraźnie wyższa w podpoziomach butwinowych zawierających silniej rozłożoną materię organiczną i najwyższa w podpoziomach torfiaстых/murszowych.
3. W podpoziomach butwinowych i torfiaстых/murszowych analizowanych ektopróchnic występuje wyraźny trend wzrostu koncentracji metali, szczególnie ołowiu, w kierunku zachodnim, z maksimum w glebach Sudetów.
4. Rozkład zawartości pierwiastków śladowych w próchnicach gleb strefy subalpejskiej wskazuje na szczególnie duże zanieczyszczenie powietrza na obszarze Sudetów w przeszłości (w II połowie XX wieku) oraz na znaczną poprawę jego stanu w ostatnich latach.

## LITERATURA

- BERG B. 1986: Nutrient release from litter and humus in coniferous forest stands – a mini review. *Scand. J. For. Res.* **1**: 359–369.
- DROZD J. 1995: Charakterystyka próchnicy nadkładowej w różnie zdegradowanych ekosystemach leśnych Karkonoszy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **418**: 348–351.
- DROZD J., LICZNAR M., WEBER J., LICZNAR S.E., JAMROZ E., DRADRACH A., MASTALSKA-CETERA B., ZAWERBANY T. 1998: Degradacja gleb w niszczonych ekosystemach Karkonoszy i możliwości jej zapobiegania. *Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych*: 1–125.
- FABISZEWSKI J., WOJTUŃ B. 1994: Zjawiska ekologiczne towarzyszące wymieraniu lasów w Sudetach. *Prace IBL, seria B* **21/2**: 195–210.
- GRODZIŃSKA K. 1980: Zanieczyszczenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi. *Ochrona Przyrody* **43**: 9–27.
- KABAŁA C. 1998a: Właściwości gleb na obszarach degradacji lasów w Górach Izerskich (Sudety Zachodnie). *Rocz. Glebozn.* **49**: 119–134.
- KABAŁA C. 1998b: Pierwiastki śladowe w glebach Gór Izerskich. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, **347**, *Rolnictwo* **73**: 95–106.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

- KARCZEWSKA A., SZOPKA K., KABALA C., BOGACZ A. 2006: Zinc and lead in forest soils of Karkonosze National Park – data for assessment of environmental pollution and soil monitoring. *Pol. J. Environ. St.* **15**, 2a: 336–342.
- MATYNYIAK Z., ZWOŹDZIAK A. 1993: Próby oceny udziału Polski, Niemiec i Czech w degradacji lasów w Sudetach Zachodnich. *Ochrona Środowiska* **1–2** (48–49): 53–56.
- NIEMYSKA-LUKASZUK J. 1993: Formy cynku, ołowiu i kadmu w glebach wybranych rejonów Karpat Zachodnich. *Zesz. Nauk AR w Krakowie, Rozpr. hab.*: 187.
- NIEMYSKA-LUKASZUK J., MIECHÓWKA A., CIARKOWSKA A. 2000: Rola ektohumusu w akumulacji metali ciężkich w glebach Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **472**: 551–558.
- PRUSINKIEWICZ Z., POKOJSKA U. 1989: Wpływ imisji przemysłowych na gleby, W: Białobok S. (red.) *Życie drzew w skażonym środowisku*. PWN, Warszawa: 223–244.
- RAJ A. 1995: Niektóre problemy ochrony ekosystemów leśnych Karkonoskiego Parku Narodowego na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. W: *Geoekologiczne Problemy Karkonoszy*. Wyd. Acadus, Poznań: 95–100.
- SKIBA S. 1977: Studia nad glebami wytworzonymi w różnych piętrach klimatyczno-roślinnych krystalicznej części Tatr Polskich. *Rocz. Glebozn.* **28**: 205–241.
- SKIBA S. 1993: Pokrywa glebowa BdpN i jej rola w funkcjonowaniu ekosystemów. *Rocz. Bieszcz.* **2**: 33–40.
- SKIBA S., DREWNIK M., SZMUC R. 1994: Metale ciężkie w glebach wybranych rejonów Karkonoszy. W: *Karkonoskie Badania Ekologiczne. Materiały II Konferencji w Dziekanowie Leśnym 17–19.01. 1994*. IE PAN: 125–134.
- SKIBA S., DREWNIK M., SZMUC R. 1995: Zawartość metali ciężkich w glebach Bieszczadzkiego Parku Narodowego. *Rocz. Bieszcz.* **4**: 111–116.
- SUCHARAI., SUCHAROVA J. 2002: Distribution of sulphur and heavy metals in forest floor humus of the Czech Republic. *Water Air Soil Pollut.* **136**: 289–316.
- UZIĄK S. 1963: Geneza i klasyfikacja gleb górskich w Karpatach fliszowych. *Rocz. Glebozn.* **13**: 56–70.
- WOŹNIAK L. 1996: Biogenne pierwiastki metaliczne i niektóre toksyczne metale ciężkie w glebach i roślinach Bieszczadów. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawy*: **216**.
- WOŹNIAK L. 1998: Wybrane aspekty krążenia niektórych pierwiastków w środowisku bieszczadzkich łąk halnych (połonin). *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* **464**: 178–188.
- ŻOŁNIERZ L., FABISZEWSKI J., MATUŁA J., SOBIERAJSKI Z., WOJTUŃ B. 1995: Bioindykacja zanieczyszczenia metalami ciężkimi i siarką w wyższych piętrach Karkonoszy. W: *Geoekologiczne Problemy Karkonoszy*. Wyd. Acadus, Poznań: 63–68.

*Mgr inż. Jarosław Waroszewski*  
*Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*  
*Institut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska*  
*50-357 Wrocław, ul. Grunwaldzka 53*  
*e-mail: jaroslaw-waroszewski@wp.pl*