

Obok ogromnej liczby publikacji poświęconych metalom ciężkim w różnych glebach ukazało się ostatnio kilka obszernych monografii na ten temat (Alloway 1995; Vergusson 1990; Vernet 1992) bądź o pierwiastkach w przyrodzie (Kabata-Pendias, Pendias 1999; Gworek, Mocka 2001). W znakomitej większości prac, przytoczonych w spisie literatury tylko przykładowo, omówiono występowanie metali ciężkich w zależności od różnych czynników. Z ważniejszych można tu wymienić: wpływ skały macierzystej, rodzaju użytkowania, procesu glebotwórczego oraz związek z różnymi regionami geograficzno-glebowymi.

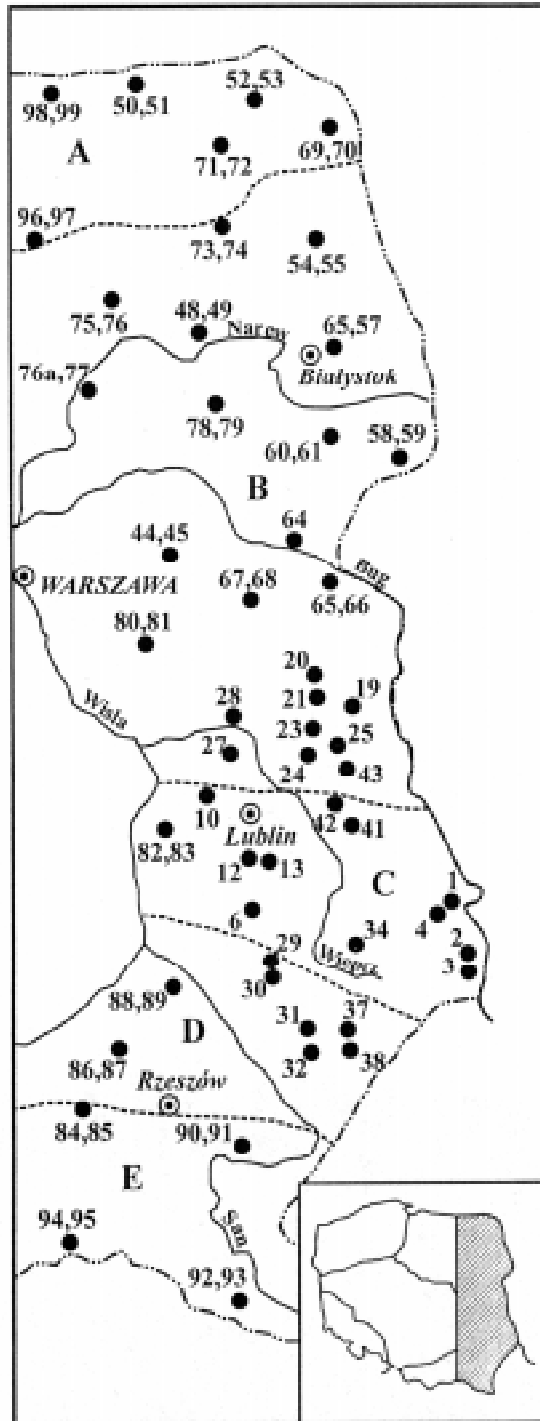
CEL BADAŃ

Badania (terenowe i laboratoryjne) prowadzono w latach 1996–1999. Ich celem było określenie akumulacji i migracji metali ciężkich w głównych glebach Polski Wschodniej, zróżnicowanych pod względem typologii, charakteru skały macierzystej oraz użytkowania. Badania miały też potwierdzić, że gleby obszaru wschodniego Polski (na wschód od południka Warszawy) stanowią gleby ekologicznie czyste pod względem zawartości metali ciężkich. Jest to ważny problem z punktu widzenia produkcji roślinnej wysokiej jakości.

TEREN BADAŃ I MATERIAŁ

Badania przeprowadzono na glebach różnie użytkowanych (gleby uprawne, użytki zielone i leśne) wszystkich ważniejszych regionów fizjograficznych Polski Wschodniej, począwszy od Pojezierza Mazurskiego poprzez Nizinę Podlaską, wschodnią część Niziny Mazowieckiej i Polesie Lubelskie, następnie Wyżynę Lubelską, Kotlinę Sandomierską po Karpaty. Wspomniany obszar wykazuje duże zróżnicowanie pod względem geologicznym, w tym charakteru utworów czwartorzędowych stanowiących skałę macierzystą, zdecydowanej większości badanych gleb.

Północna część obszaru to głównie utwory akumulacji lodowcowej zlodowacenia bałtyckiego, a więc przeważnie gliny zwałowe oraz piaski z dużą zawartością szkieletu (kamienie, żwiry). Dalej na południe, aż po Wyżynę Lubelską, występują utwory związane ze zlodowaczeniem środkowopolskim (gliny, piaski, utwory pyłowe wodnego pochodzenia). Wśród osadów obydwu zlodowaceń występują, mniej lub bardziej licznie, utwory organiczne. Wyżyna Lubelska z Roztoczem to w większości lessy i utwory lessowate, ale także wapienie oraz margle. Na południe od nich, na Nizinie Sandomierskiej, znowu zalegają utwory polodowcowe, tym razem najstarszego zlodowacenia, głównie piaski i gliny zwałowe, a ponadto piaski starych tarasów akumulacyjnych. Inny charakter skał reprezentują Karpaty. W regionie tym znaczną część podłoża stanowią skały masywne



Ryc. 1. Rozmieszczenie ważniejszych odkrywek glebowych w Polsce Wschodniej; A – region jezior mazurskich (najmłodszego zlodowacenia Polskiego), B – Nizina Podlaska, część Niziny Mazowieckiej i Polesie Lubelskie (obszar zlodowacenia środkowo-polskiego), C – Wyżyna Lubelska, D – Kotlina Sandomierska (teren zlodowacenia południowo-polskiego), E – Karpaty

Distribution of main soil pits in East Poland; A – the Mazurian Lake Region (the Youngest North-Polish Glaciation-Vistulian), B – Podlaska Lowland with part of Mazovian Lowland and Lublin Polesie (Middle-Polish Glaciation – Saalian), C – Lublin Upland, D – The Sandomierz Basin (the South-Polish Glaciation – Elsterien), E – Carpathian Mts.

– piaskowce i łupki. Duża rozciągłość południkowa obszaru różnicuje też warunki klimatyczne.

Do badań wybrano różne typy gleb ze szczególnym uwzględnieniem najpowszechniej występujących na omawianym obszarze, a więc płowych oraz brunatnych, rdzawych i bielcowych. Dla pełnego obrazu pokrywy glebowej badaniami objęto gleby hydrogeniczne (torfowe i murszowate) i semihydrogeniczne (czarne ziemie), czarnoziemy, mady i gleby wapniowcowe (rędziny).

Łącznie zbadano w terenie i pobrano materiał z poziomów genetycznych prawie 100 profili (ryc. 1). Do szczegółowych badań laboratoryjnych wytypowano większość profili glebowych.

METODYKA

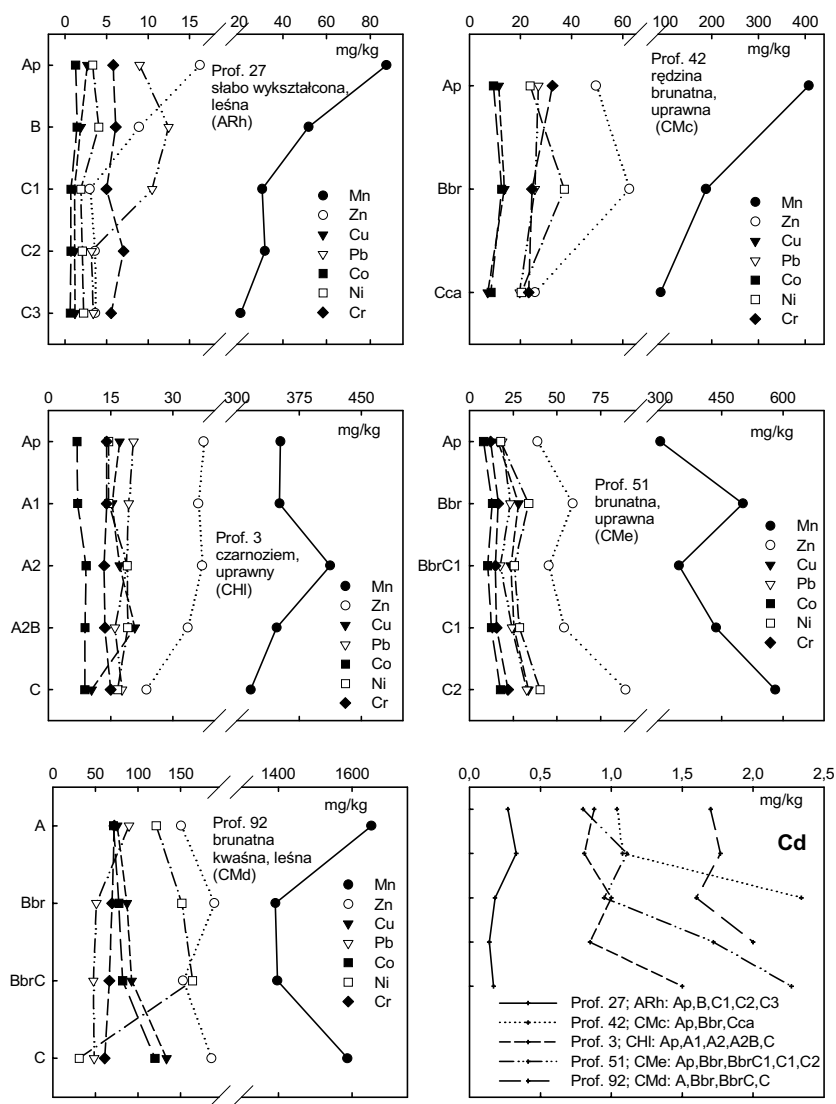
Podstawowe analizy laboratoryjne przeprowadzono przy użyciu metod powszechnie stosowanych w laboratoriach naszego kraju (Lityński, Jurkowska, Gorlach 1976). Oznaczono: skład granulometryczny metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande oraz Prószyńskiego, węgiel organiczny według Tiurina, substancję organiczną przez żarzenie i odczyn w 1 M KCl potencjometrycznie, skład kompleksu sorpcyjnego określono według zmodyfikowanej metody Mehlicha (Kociałkowski, Pokojska, Sapek 1984).

Następnie oznaczono trzy formy Mn, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co oraz Cd: zawartość ogólną przez wytrawienie w mieszaninie stężonego kwasu nadchlorowego i azotowego (Ostrowska, Gawliński, Szczubiałka 1991), w 1 M HCl i w roztworze ekstrakcyjnym DTPA-TEA według Lindsaya i Norvella (1978). Metale oznaczono techniką AAS przy użyciu aparatu Perkin-Elmer 3300. Kryterium oceny zanieczyszczeń stanowiły normy zawarte w „Podstawach oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA”, opracowanych przez zespół pod kierunkiem Kabaty-Pendias (1995).

Zawartości średnie metali ciężkich w poziomach genetycznych wyróżnionych jednostek glebowych podano w tab. 1. Zamieszczono w nich tylko formy ogólne i rozpuszczalne w DTPA. Tabela 2 zawiera wskaźniki wzbogacenia dla ogólnych zawartości metali ciężkich (według wartości średnich poszczególnych poziomów glebowych), zaś tab. 3 – wskaźniki korelacji. Ryciny 2–4 ilustrują zawartości form ogólnych metali ciężkich i rozmieszczenie w typowych profilach glebowych.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badane gleby są bardzo zróżnicowane pod względem swoich właściwości (Uziak, Melke, Klimowicz 2003). Wykazują skład granulometryczny od pias-



Ryc. 2. Zawartość (mg/kg) i rozmieszczenie całkowitych form metali ciężkich w profilach typowych gleb Polski Wschodniej: prof. 27 – słabo wykształcona z piasku, leśna (ARh); prof. 42 – rędzina brunatna z wapieni kredowych, uprawna (CMc); prof. 3 – czarnoziem z lessu, uprawny (CHi); prof. 51 – brunatna z gliny zwałowej, uprawna (CMe); prof. 92 – brunatna kwaśna, leśna (CMd)

Content (mg/kg) and distribution of total forms of heavy metals in the typical soil profiles in the area of East Poland: prof. 27 – Haplic Arenosols from sands, forest (ARh); prof. 42 – Lepti-Calcaric Cambisols from limestones, arable (CMc); prof. 3 – Luvic Chernozems from loess, arable (CHi); prof. 51 – Eutric Cambisols from boulder clay, arable (CMe); prof. 92 – Dystric Cambisols from flysh, forest (CMd)

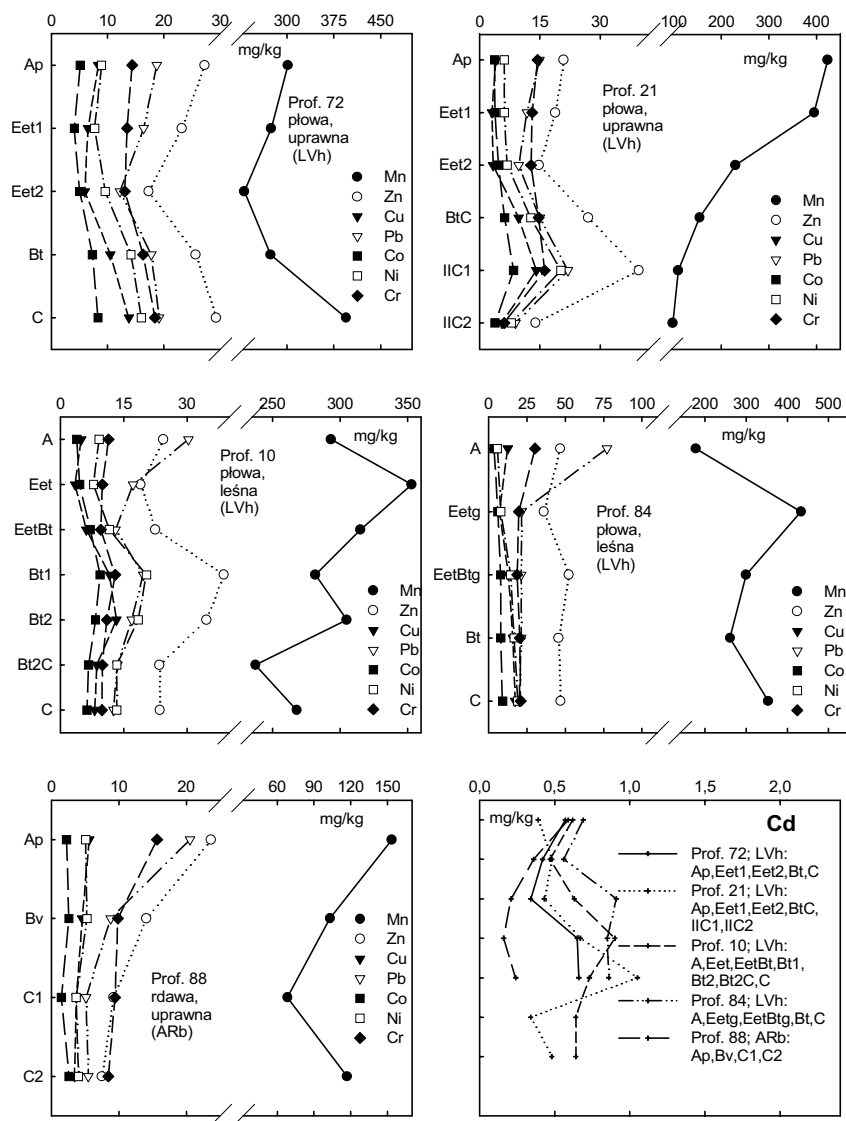
Tab. 1. Zawartość metali ciężkich (mg/kg) w badanych glebach Polski wschodniej (wartości średnie)
Content of heavy metals (mg/kg) in the soils of East Poland (mean values)

Poziomy Horizons	Mn		Zn		Cu		Pb		Cd		Co		Ni		Cr	
	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA
Gleby słabowyzształcone z piasków (Haplic Arenosols from sands – ARh)																
A	220,43	18,02	29,93	1,37	4,01	0,46	13,48	1,66	0,62	0,04	2,32	0,08	5,79	0,13	9,31	0,12
C1	88,35	3,82	12,25	0,34	3,11	0,18	7,42	0,24	0,64	0,03	2,32	0,04	5,71	0,06	8,47	0,11
C2	54,15	3,44	7,41	3,15	3,38	0,23	7,39	0,24	0,56	0,02	2,46	0,03	4,93	0,05	9,42	0,10
C3	125,73	3,43	13,32	0,30	5,66	0,26	7,26	0,37	0,70	0,03	14,38	0,04	7,66	0,06	10,25	0,09
Rędziny (Rendzic Leptosols – LPk)																
A	461,0	38,12	59,30	0,94	16,37	0,62	27,17	1,38	1,10	0,16	10,87	0,16	38,23	0,62	16,38	0,98
ACca	613,9	72,18	60,90	5,00	12,30	0,68	34,93	2,48	0,97	0,26	9,37	0,18	28,57	0,78	13,77	0,95
Czarnoziemy z lessu (Luvic Chernozems from loess – CHI)																
A1	404,60	26,55	32,09	1,67	14,13	1,99	18,78	1,78	0,90	0,12	6,71	0,22	13,91	1,39	14,93	0,14
A2	347,45	24,02	31,61	1,20	13,68	1,81	15,96	1,20	0,67	0,07	6,82	0,17	13,93	1,51	13,12	0,09
A3	396,97	17,19	36,58	0,71	14,29	1,44	16,56	1,13	0,93	0,06	8,53	0,17	18,37	2,07	12,92	0,11
AC	351,45	11,24	35,85	0,60	16,07	4,94	15,94	0,98	0,86	0,03	8,84	0,17	18,63	1,21	12,49	0,09
C	315,90	9,24	28,04	0,49	9,59	0,99	16,53	0,80	1,13	0,01	8,60	0,10	16,99	0,46	13,84	0,06
Gleby brunatne z piasków na glinowych i glin (Eutric Cambisols from sands overlying loam and from loam – CMe)																
A	287,45	63,00	29,56	1,14	12,10	1,20	17,54	2,22	0,66	0,05	5,55	0,11	13,02	0,37	18,09	0,14
Bbr	380,05	32,67	39,36	0,79	16,84	0,73	16,09	0,73	0,77	0,04	8,13	0,09	21,13	0,29	18,39	0,14
C	362,76	10,77	46,45	0,48	22,17	0,63	20,26	0,75	1,24	0,04	10,75	0,08	25,15	0,17	20,13	0,17
Gleby brunatne z fliszu (Dystric Cambisols from flysh – CMD)																
A	1499,0	104,30	129,57	7,25	41,91	1,76	89,73	4,01	1,64	0,24	45,77	2,50	64,17	1,31	62,61	0,26
Bbr	1357,9	94,17	130,55	1,53	49,17	1,01	46,22	0,89	1,54	0,06	51,56	1,61	87,41	0,97	67,76	0,20
BbrC	1465,3	75,60	146,87	0,97	64,48	0,84	48,53	0,60	1,69	0,04	56,99	1,61	132,79	0,86	67,85	0,17
C	1185,0	54,23	132,50	1,16	76,06	0,73	45,26	0,56	1,90	0,06	60,57	1,07	77,16	1,09	69,94	0,14
Gleby płowe z piasków naglinowych i glin (Haplic Luvisols from sands overlying loam and from loam – LVh)																
A	216,92	37,81	25,12	1,91	6,89	0,93	18,15	3,00	0,48	0,06	4,16	0,16	7,76	0,27	11,08	0,18
Eet	218,79	9,37	23,14	0,69	6,93	0,73	13,39	1,18	0,44	0,04	5,06	0,09	9,31	0,18	12,24	0,13
Bt	284,72	10,51	34,05	0,46	13,72	0,90	16,59	0,79	0,66	0,03	8,57	0,09	17,89	0,22	13,16	0,13
C	355,03	5,74	33,75	0,49	15,77	0,35	21,89	0,70	1,22	0,04	9,22	0,07	19,75	0,16	13,70	0,13
IIC	341,38	14,13	30,44	0,42	13,99	0,92	14,91	0,53	0,78	0,03	8,48	0,08	19,02	0,23	13,68	0,15

Gleby płowe z utworów pyłowych wodnego pochodzenia (Haplic Luvisols from silty formations of water origin – LVh)																
A	566,20	31,19	43,65	2,94	8,49	0,49	30,88	0,72	0,96	0,08	4,27	0,13	8,50	0,38	20,55	0,18
Eet	228,77	19,85	16,81	0,62	4,39	0,33	11,32	0,70	0,48	0,03	4,74	0,12	8,98	0,11	18,33	0,15
Bt	177,56	10,98	23,97	0,73	11,65	0,86	15,21	0,99	0,52	0,02	7,54	0,25	17,26	0,32	24,99	0,12
C	109,60	1,12	39,60	0,18	14,12	0,12	21,96	0,24	1,05	0,01	8,46	0,06	20,22	0,04	16,19	0,02
IIC1	124,54	14,70	23,21	0,42	11,31	0,66	10,96	0,35	0,59	0,02	6,24	0,17	14,02	0,32	17,69	0,10
IIC2	63,66	4,58	17,33	0,54	9,50	1,25	10,41	1,35	0,46	0,02	5,97	0,18	14,16	0,75	14,94	0,09
Gleby płowe z lessu (Haplic Luvisols from loess – LVh)																
A	510,20	75,36	31,92	3,37	6,28	1,39	28,33	5,01	1,44	0,12	5,77	0,18	10,59	0,43	12,24	0,76
Eet	405,76	40,11	27,42	0,83	6,07	1,16	14,07	1,32	0,63	0,04	6,45	0,12	11,13	0,18	12,90	0,06
Bt	310,45	25,29	33,69	0,65	11,01	1,52	15,98	1,21	0,78	0,03	8,70	0,15	17,87	0,32	13,48	0,06
BtC	233,64	16,00	30,50	0,58	11,33	1,44	15,12	1,03	0,79	0,03	7,79	0,13	17,05	0,37	14,26	0,03
C	279,40	24,42	27,89	0,55	10,69	1,39	15,04	0,97	0,78	0,03	8,74	0,15	19,21	0,35	10,52	0,04
Gleby płowe z pyłów karpacczych (Haplic Luvisols from Carpathian silty formations – LVh)																
A	380,70	30,63	52,75	2,55	11,40	0,97	53,33	2,62	0,70	0,09	5,29	0,17	7,91	0,62	24,14	0,13
Eet	438,35	23,18	39,89	1,05	8,21	0,47	21,34	1,93	0,53	0,02	7,26	0,24	10,20	0,15	19,14	0,08
Bt	335,73	23,29	49,18	1,41	15,26	0,93	22,13	1,45	0,74	0,04	8,47	0,39	15,45	0,48	18,29	0,08
C	379,45	11,76	84,55	1,18	26,08	1,34	28,23	1,60	0,94	0,04	11,34	0,27	30,02	0,89	17,31	0,15
Gleby rdzawe z piasków (Cambic Arenosols from sands – ARb)																
A	268,33	8,39	22,24	1,56	5,93	0,20	21,81	2,53	0,45	0,11	2,22	0,07	5,99	0,14	14,41	0,09
Bv	204,59	5,53	14,73	0,46	5,85	0,14	12,14	0,43	0,39	0,03	3,14	0,06	7,25	0,07	13,07	0,73
C	165,19	4,92	10,87	1,65	5,34	0,09	9,67	0,29	0,44	0,04	3,07	0,05	6,58	0,06	9,40	0,07
Gleby bielcowe z piasków (Haplic Podzols from sands – PZh)																
O	80,35	33,62	86,06	51,18	17,98	6,63	94,15	85,86	2,22	1,35	2,61	0,68	11,06	2,62	13,49	0,79
A	61,60	0,52	23,00	4,27	11,07	0,27	29,73	12,06	1,04	0,18	3,97	0,06	10,15	0,19	12,91	0,11
Ees	17,65	0,15	4,16	1,01	3,90	0,13	4,92	1,56	0,36	0,02	0,41	0,05	2,69	0,09	6,82	0,14
Bfe	18,92	0,18	6,21	1,66	2,54	0,15	9,68	3,02	0,53	0,05	1,01	0,05	3,67	0,13	7,57	0,18
C	23,80	0,05	4,55	0,26	2,36	0,16	3,19	0,34	0,39	0,01	0,75	0,03	3,12	0,02	5,86	0,08
Czarne ziemię z piasków gliniastych (Haplic Phaeozems from loamy sands – PFh)																
A1	287,67	19,03	45,12	3,60	8,34	0,64	23,22	2,49	0,56	0,10	4,22	0,07	9,02	0,33	17,09	0,09
A2	342,87	13,67	43,29	2,59	8,67	0,45	21,37	1,51	0,36	0,10	4,57	0,06	9,40	0,29	17,12	0,07
C1	374,17	8,02	36,65	0,45	15,88	0,30	19,27	0,66	0,64	0,03	8,47	0,09	18,68	0,16	14,11	0,06
C2	372,42	7,63	40,78	0,42	18,46	0,38	21,99	0,90	0,73	0,04	8,86	0,13	20,40	0,19	15,65	0,06

Tab. 1 c.d. (continued)

Poziomy Horizons	Mn		Zn		Cu		Pb		Cd		Co		Ni		Cr	
	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA	ogółem total	w (in) DTPA
	Bagienne z torfów niskich (Terric Histosols – HSs)															
O1	197,63	16,15	35,57	7,47	14,90	3,83	28,46	12,04	1,28	0,47	7,48	0,71	16,76	1,00	18,71	0,53
O2	139,67	29,37	6,67	2,12	13,25	3,48	81,52	3,49	0,84	0,23	3,76	0,44	9,14	0,71	11,74	0,77
O3	68,90	24,01	6,34	1,51	7,13	3,62	11,79	3,22	0,70	0,22	3,18	0,56	6,68	0,73	11,06	1,48
O4	28,32	47,32	4,48	2,21	8,06	4,50	9,18	1,97	0,75	0,20	2,74	0,61	9,00	0,89	9,19	2,11
IIC	41,60	6,33	3,98	1,40	4,15	0,88	3,63	0,85	0,20	0,03	1,82	0,26	3,78	0,36	5,07	0,09
	Gleby murszowate (Terric Histosols – HSs)															
O1	226,60	72,50	51,05	33,69	13,56	6,43	21,49	9,80	1,17	0,46	3,52	0,50	8,75	1,81	11,99	0,80
O2	255,70	10,01	15,29	2,71	16,31	1,23	27,55	1,14	1,11	0,25	4,93	0,31	10,77	1,05	18,01	0,19
A	234,70	5,52	19,36	0,68	14,14	0,61	24,41	1,56	1,03	0,08	4,63	0,14	10,33	0,73	15,36	0,12
C1	95,05	1,39	9,81	0,42	4,12	0,13	9,91	0,73	0,39	0,02	2,83	0,11	5,83	0,23	9,31	0,08
C2	101,40	0,44	8,54	0,30	4,00	0,48	11,86	0,66	0,50	0,01	3,33	0,09	5,88	0,19	10,32	0,09
	Mady z piasków gliniastych (Eutric Fluvisols from loamy sands – FLe)															
A	263,75	31,49	23,31	2,07	8,88	0,88	15,85	0,84	0,59	0,12	4,62	3,81	9,62	0,36	13,06	0,07
C1	214,40	8,86	16,48	0,25	10,76	1,27	12,80	0,49	0,44	0,02	5,60	1,09	11,37	0,10	15,49	0,07
C2	191,33	6,10	22,01	0,30	11,59	1,05	13,43	0,40	0,55	0,02	6,57	1,43	15,54	0,17	13,26	0,10
C3	32,28	1,05	3,54	0,32	2,43	0,18	3,33	0,21	0,29	0,02	1,01	1,24	2,56	0,07	5,05	0,07



Ryc. 3. Zawartość (mg/kg) i rozmieszczenie całkowitych form metali ciężkich w profilach typowych gleb Polski Wschodniej: prof. 72 – płowa z gliny zwałowej, uprawna (LVh); prof. 21 – płowa z utworu pyłowego wodnego pochodzenia, uprawna (LVh); prof. 10 – płowa z lessu, leśna (LVh); prof. 84 – płowa z pyłu karpackiego, leśna (LVh); prof. 88 – rdawa z piasku, uprawna (ARb). Content (mg/kg) and distribution of total forms of heavy metals in the typical soil profiles in the area of East Poland: prof. 72 – Haplic Luvisols from boulder clay, arable (LVh); prof. 21 – Haplic Luvisols from silty formations of water origin, arable (LVh); prof. 10 – Haplic Luvisols from loess, forest (LVh); prof. 84 – Haplic Luvisols from Carpathian silty formations, forest (LVh); prof. 88 – Cambic Arenosols from sands, forest (ARb).

Tab. 2. Wskaźniki wzbogacenia (dla całkowitych zawartości metali ciężkich)
Enrichment index (for total content of heavy metals)

Poziomy Horizons	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Co	Ni	Cr
Gleby słabo wykształcone z piasków (Haplic Arenosols – ARh)								
A/C1	2,49	2,44	1,29	1,82	0,97	1,00	1,01	1,10
Redziny (Rendzic Leptosols – LPk)								
A/AC	0,75	0,97	1,33	0,78	1,13	1,16	1,34	1,19
Czarnoziemie z lessów (Luvic Chernozems from loess – CHI)								
A1/C	1,28	1,14	1,47	1,14	0,79	0,78	0,82	1,08
A2/C	1,10	1,13	1,43	0,97	0,59	0,79	0,82	0,95
A3/C	1,26	1,31	1,49	1,00	0,82	0,99	1,08	0,93
AC/C	1,11	1,28	1,68	0,96	0,76	1,03	1,10	0,90
Gleby brunatne z piasków naglinowych i glin (Eutric Cambisols from sands overlying loam and from loam – CMe)								
A/C	0,79	0,64	0,55	0,87	0,54	0,52	0,52	0,90
Bbr/C	1,05	0,85	0,76	0,79	0,62	0,76	0,84	0,91
A/Bbr	0,76	0,75	0,72	1,09	0,87	0,68	0,62	0,98
Gleby brunatne z fliszu (Dystric Cambisols from flysh – CMD)								
A/C	1,27	0,98	0,55	1,98	0,86	0,76	0,83	0,90
Bbr/C	1,15	0,99	0,65	1,02	0,81	0,85	1,13	0,97
A/Bbr	1,10	0,99	0,85	1,94	1,07	0,89	0,73	0,92
Gleby płowe z piasków naglinowych i glin (Haplic Luvisols from sands overlying loam and from loam – LVh)								
A/IIC2	0,61	0,74	0,44	0,83	0,39	0,45	0,39	0,81
Eet/IIC2	0,62	0,69	0,44	0,61	0,36	0,55	0,47	0,89
Bt/IIC2	0,80	1,01	0,87	0,76	0,54	0,93	0,91	0,96
A/Eet	0,99	1,09	1,00	1,36	1,09	0,82	0,83	0,91
A/Bt	0,76	0,74	0,50	1,09	0,72	0,49	0,43	0,84
Eet/Bt	0,77	0,68	0,51	0,81	0,66	0,59	0,52	0,93
Gleby płowe z pyłów wodnego pochodzenia (Haplic Luvisols from silty formations of water origin – LVh)								
A/C1	5,17	1,10	0,60	1,41	0,91	0,50	0,42	1,27
Eet/C1	2,09	0,42	0,31	0,52	0,46	0,56	0,44	1,13
Bt/C1	1,62	0,61	0,83	0,69	0,50	0,89	0,85	1,54
A/Eet	2,48	2,60	1,94	2,73	2,01	0,90	0,95	1,12
A/Bt	3,19	1,82	0,73	2,03	1,86	0,57	0,49	0,82
E/Bt	1,29	0,70	0,38	0,74	0,93	0,63	0,52	0,73
Gleby płowe z lessów (Haplic Luvisols from loess – LVh)								
A/C	1,83	1,14	0,59	1,88	1,86	0,66	0,55	1,16
Eet/C	1,45	0,98	0,57	0,94	0,81	0,74	0,58	1,23
Bt/C	1,11	1,21	1,03	1,06	1,00	1,00	0,93	1,28
Bt/C/C	0,84	1,09	1,06	1,01	1,02	0,89	0,89	1,36
A/Eet	1,26	1,16	1,04	2,01	2,31	0,89	0,95	0,95
A/Bt	1,64	0,95	0,57	1,77	1,86	0,66	0,59	0,91
Eet/Bt	1,31	0,81	0,55	0,88	0,81	0,74	0,62	0,96
Gleby płowe z fliszu (Haplic Luvisols from Carpathian silty formations – LVh)								
A/C	1,00	0,62	0,44	1,89	0,75	0,47	0,26	1,40
Eet/C	1,16	0,47	0,32	0,76	0,57	0,64	0,34	1,11
Bt/C	0,89	0,58	0,59	0,78	0,79	0,75	0,51	1,06
A/Eet	0,87	1,32	1,39	2,50	1,31	0,73	0,78	1,26
A/Bt	1,13	1,07	0,75	2,41	0,95	0,63	0,51	1,32
Eet/Bt	1,31	0,81	0,54	0,96	0,72	0,86	0,66	1,05
Gleby rdzawe z piasków (Cambic arenosols from sands – ARb)								
A/C	1,62	2,05	1,11	2,26	1,03	0,72	0,91	1,53
Bv/C	1,24	1,36	1,10	1,26	0,89	1,03	1,10	1,39
A/Bv	1,31	1,51	1,01	1,80	1,16	0,71	0,83	1,10

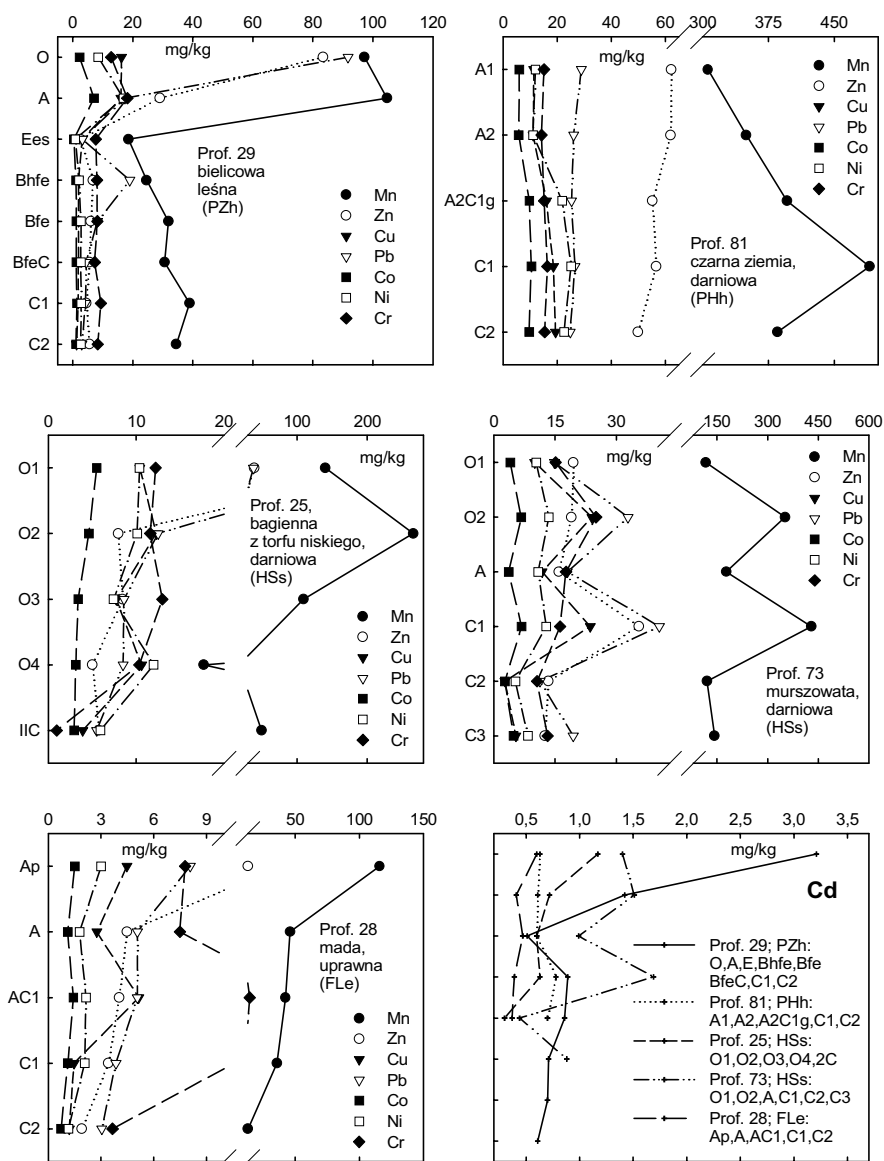
Gleby bielcowe z piasków (Haplic Podzols from sands – PZh)								
O/C	3,38	18,91	7,62	29,56	5,61	3,50	3,55	2,30
A/C	2,59	5,06	4,69	9,34	2,65	5,32	3,26	2,20
Ees/C	0,74	0,91	1,65	1,55	0,91	0,54	0,86	1,17
Bfe/C	0,80	1,37	1,08	3,04	1,35	1,35	1,18	1,29
A/E	3,49	5,53	2,84	6,04	2,90	9,79	3,77	1,89
A/Bfe	3,26	3,70	4,35	3,07	1,96	3,95	2,76	1,70
Ees/Bfe	0,93	0,67	1,53	0,51	0,68	0,40	0,73	0,90
Czarne ziemie z piasków gliniastych (Haplic Phaeozems from loamy sands – PHh)								
A1/C1	0,77	1,23	0,52	1,20	0,87	0,50	0,48	1,21
A2/C1	0,92	1,18	0,55	1,11	0,56	0,54	0,50	1,21
Gleby bagienne, torfowe (Terric Histosols – HSs)								
O1/O4	6,89	7,95	1,85	3,10	1,71	2,73	1,86	2,04
O2/O4	4,93	1,49	1,64	8,88	1,12	1,37	1,02	1,28
O3/O4	2,43	1,42	0,89	1,29	0,93	1,16	0,74	1,20
Gleby murszowate (Terric Histosols – HSs)								
O1/C1	2,38	5,20	3,29	2,17	2,92	1,24	1,50	1,29
O2/C1	2,69	1,56	3,96	2,78	2,77	1,74	1,85	1,93
A/C1	2,47	1,97	3,43	2,46	2,57	1,64	1,77	1,65
Mady z piasków gliniastych (Eutric Fluvisols from loamy sands – FLe)								
A/C1	1,23	1,41	0,82	1,24	1,34	0,82	0,85	0,84

ków po gliny, pyły i ility, a odczyn od silnie kwaśnego (np. w bielcowych i brunatnych kwaśnych) do alkalicznego (w rędzinach). Przeważają gleby o odczynie kwaśnym i słabo kwaśnym. Gleby mineralne pod lasami odznaczają się wyraźnie wyższą zawartością substancji organicznej niż uprawne (w których mineralizacja następuje szybciej). Najbogatsze w substancję organiczną są natomiast gleby torfowe.

Właściwości sorpcyjne gleb układają się zależnie od ich cech wymienionych powyżej. Ubogi kompleks sorpcyjny cechuje gleby z piasków, natomiast szczególnie wysoką pojemnością sorpcyjną odznaczają się gleby organiczne. Zróżnicowane jest także wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym (od kilku do 100%).

Uzyskane wyniki (tab. 1 i ryc. 2–4) dowodzą, że zawartość badanych metali ciężkich wykazuje bardzo duże zróżnicowanie w zależności od formy metalu, typu gleby i poziomu genetycznego oraz uziarnienia, a także rodzaju użytkowania.

Analizując wyniki naszych badań pod kątem ustaleń Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (Kabata-Pendias i in. 1995), można stwierdzić, że zawartości metali ciężkich w glebach Polski Wschodniej nie tylko nie przekraczają norm przyjętych dla gleb użytków rolnych, ale na ogół mieszczą się w granicach ich wartości naturalnych. Podwyższone wartości w stosunku do naturalnych wykazują jedynie gleby brunatne kwaśne wytworzone z fliszu (głównie leśne). Ponadto nieznaczne podwyższenie zawartości (tylko w stosunku do naturalnych) wykazują gleby wobec Cd. Warto dodać, że według badań Jonesa, Symona i Johnstona (Kabata-Pendias 1999) zawartość Cd w nieuprawianych glebach Anglii nieznacznie, ale systematycznie wzrasta od prawie 150 lat. Jest to związane niewątpliwie z oddziaływaniem antropopresji. Podobnie w poziomach



Ryc. 4. Zawartość (mg/kg) i rozmieszczenie całkowitych form metali ciężkich w profilach typowych gleb Polski Wschodniej: prof. 29 – bielicowa z piasku, leśna (PZh); prof. 81 – czarna ziemia z piasku naglinowego, darniowa (PHh); prof. 25 – bagienna z torfu niskiego, darniowa (HSs); prof.

73 – murszowata, darniowa (HSs); prof. 28 – mada z piasku gliniastego, uprawna (FLe)
 Content (mg/kg) and distribution of total forms of heavy metals in the typical soil profiles in the area of East Poland: prof 29 – Haplic Podzols from sands, forest (PZh); prof. 81 – Haplic Phaeozems from loamy sands, sod (PHh); prof. 25 – Terric Histosols (peat soils), meadow (HSs); prof. 73 – Terric Histosols (mucky soils), sod (HSs); prof. 28 – Eutric Fluvisols from loamy sands, arable (FLe)

O i A gleb bielcowych można stwierdzić nieznaczne podwyższenie metali Zn, Cu, Pb, Ni, Cd (także w stosunku do naturalnych), a w glebach torfowych i murszowych – Cu, Pb i Cd.

Na nieznaczne zwiększenie zawartości Pb i Cd o charakterze antropogenicznym w poziomach organicznych gleb w Karpatach wskazują prace Woźniaka (1996, 1999). Autor sugeruje też, że obszary górskie akumulują nieco więcej zanieczyszczeń niż tereny niżej położone. Także z pracy Maciejewskiej (1993) oraz Muchy i innych (1976) wynika, że metale mogą się gromadzić w ściółce gleb leśnych.

Z badań naszych zatem wynika wniosek oczywisty, iż gleby Polski Wschodniej zalegają w regionach ekologicznie czystych. Dlatego też mogą być wykorzystywane do produkcji roślinnej wysokiej jakości.

Zbieżne wnioski z naszymi wynikają z prac takich autorów, jak: Gąsior, Opałka i Błażej (1999), Lis, Pasieczna, Taraškevičius (1999), Terelak i inni (1994, 1995, 1997, 2000), Woźniak (1996).

Z badań Terelaka i innych (1995) płynie wniosek, że zaledwie 2,6% powierzchni użytków rolnych w Polsce jest w różnym stopniu zanieczyszczone (głównie w południowo-zachodniej części kraju), a ponad 80% – to gleby o naturalnej zawartości metali ciężkich, 17% powierzchni przypada zaś na gleby o nieznacznie podwyższonej ich zawartości.

Woźniak (1999) zwraca też uwagę na rolę poziomów organicznych w glebach halnych Bieszczadów w ograniczaniu migracji metali ciężkich w głąb profili glebowych.

Metale ciężkie, tak jak inne pierwiastki, ulegają w glebie różnym procesom, w tym akumulacji i migracji. Zjawisko akumulacji metali jest uzależnione od różnych czynników, wśród których na czoło wysuwają się zawartość i charakter substancji organicznej, zawartość frakcji spławialnych, a zwłaszcza koloidalnej, a także rodzaj użytkowania gleb.

Mogą one być akumulowane w glebie biologicznie oraz dzięki sorpcji przez związki organiczne i minerały ilaste, zarówno w postaci kompleksów na powierzchniach, jak i wewnątrz minerałów (Bremmer i in. 1986; Keresztény 1973).

Akumulacja metali zachodzi w różnych poziomach, głównie jednak w poziomie A, ponadto w poziomie B, niekiedy też w skale podścielającej lub macierzystej (tab. 1 i 2, ryc. 2–4). Nagromadzanie metali w poziomie próchnicznym wskazuje na wyraźną rolę próchnicy w tym procesie. Potwierdzają powyższy fakt również współczynniki korelacji (tab. 3). Formy ogólne Pb, Cr, Mn i Zn gromadzą się w poziomie A większości gleb, Ni i Co – tylko w glebach bielcowych i torfowych, ewentualnie rędzinach, zaś Cu i Cd – w kilku grupach glebowych. Natomiast formy rozpuszczalne w DTPA Mn, Pb, Cd, Zn i Ni gromadzą się w poziomach A prawie wszystkich gleb, a Co, Cr i Cu – w większości gleb (tab. 1).

Na rolę substancji organicznej w akumulacji metali ciężkich wskazuje również wiele prac (np. Andersson 1977; Gworek, Degórski 1997; Uziak, Melke, Klimowicz 2001b), niektórzy zaś autorzy wiążą to głównie z rodzajem próchnicy (Maciaszek 1983). Wspomniany Andersson (1977) uważa, że substancja organiczna w środowisku kwaśnym jest aktywniejszym sorbentem dla metali ciężkich niż większość związków mineralnych.

Zawartości form ogólnych metali ciężkich w poziomach próchnicznych badanych gleb (z wyjątkiem bielcowych) układają się według następującego szeregu: $Mn > Zn, Pb > Cr, Ni, Cu$ (w większości gleb) $> Co > Cd$. Formy metali rozpuszczalne w DTPA układają się nieco odmiennie: $Mn > Pb, Zn > Cu, Ni, Cr > Co > Cd$ (w bielcowych i rdzawych $Cd > Co$).

Z rycin 2–4 widać też wyraźnie, że zawartość Mn odbiega zarówno w poziomie A, jak i w innych poziomach od pozostałych pierwiastków, co wynika głównie z jego akumulacji biologicznej. Drugim pierwiastkiem, który także wyróżnia się na ogół zwiększoną zawartością od innych metali, choć daleko za Mn, jest Zn.

Bardzo wyraźna jest również zależność zawartości metali ciężkich, przede wszystkim form ogólnych (z form rozpuszczalnych odnosi się to do Ni), od uziarnienia gleby, głównie części spławialnych, a zwłaszcza koloidalnych. Znajduje to potwierdzenie we współczynnikach korelacji (tab. 3). Wspomniana zależność jest zróżnicowana w poszczególnych poziomach glebowych (A, E, B, C).

Warto przypomnieć, że powyższe zależności były stwierdzone w różnych pracach (Czarnowska 1984; Maciaszek 1983; Gworek 1985; Czarnowska, Gworek 1987; Woźniak 1996; a z innych autorów np. Sharma i in. 2000).

Na podstawie naszych badań (Melke, Uziak, Klimowicz 2001) można uszeregować utwory mineralne pod względem zawartości metali ciężkich następująco: piaski luźne i słabogliniaste $<$ piaski gliniaste $<$ utwory pyłowe $<$ gliny $<$ skały fliszowe, gleby organiczne zaś zajmują zmienną pozycję w szeregu.

Metale ciężkie mogą wzbogacać poziomy B gleb bielcowych, płowych, brunatnych i rdzawych oraz skały C lub podścielające. Zaznaczają się tu natomiast wyraźne różnice pomiędzy metalami. Uzależnione jest to także od sposobu przedstawienia procesu akumulacji. Można go odnosić względem stosunku wartości z poziomu A do B albo też z poziomu B do C. W każdym przypadku rezultaty będą inne. Biorąc pod uwagę przede wszystkim pierwszy wariant, widać, że Co, Ni i Cu (formy ogólne) są akumulowane w poziomach B w większości wymienionych wyżej profili glebowych, pozostałe metale wykazują mniejszą aktywność w tym względzie, zwłaszcza Pb i Mn.

W przypadku gleb płowych i brunatnych z piasków naglinowych i glin, a także płowych z pyłów karpaccich, większość metali (formy ogólne) ulega akumulacji w skałach podścielających lub w skale macierzystej. Tabela 2, zawierająca wskaźniki wzbogacenia, świadczy o tym wymownie.

Tab. 3. Wskaźniki korelacji w poziomach genetycznych gleb Polski Wschodniej
Correlation coefficients in genetic horizons of soils in East Poland

Poziom, użytkowanie Horizon, utilization p < 0,05		Całkowita zawartość pierwiastków Total content of elements								Pierwiastki ekstrahowane w DTPA Elements extracted by DTPA							
		Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Co	Ni	Cr	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Co	Ni	Cr
Poziom A	<0,02	0,47	0,59	0,64	0,40	0,40	0,64		0,43	0,32						0,63	
	<0,002	0,55	0,68	0,82	0,45	0,33	0,79		0,56	0,32					0,66		
N=64	C-org	0,28	0,41	0,32	0,61	0,39	0,28		0,34		0,55		0,53				
Poziom A	<0,02	0,49	0,65	0,66	0,44		0,68		0,58			0,77			0,65	0,67	
las (forest)	<0,002	0,59	0,77	0,85	0,47		0,85		0,72			0,52			0,75	0,59	
N=29	C-org				0,50						0,54		0,39				
Poziom A	<0,02	0,51	0,65	0,69	0,51	0,58	0,68	0,63	0,41	0,49					0,70		
uprawna (arable)	<0,002	0,59	0,69	0,88	0,63	0,69	0,81	0,78	0,55	0,34			0,38		0,81	0,51	
N=35	C-org	0,70	0,66	0,62	0,83	0,64	0,83	0,58	0,73	0,42	0,50		0,46		0,68	0,41	
Poziom E	<0,02	0,74	0,57			0,74	0,76		0,35	0,60		0,42					
N=33	<0,002	0,45	0,70	0,79	0,41	0,65	0,82								0,41		
Poziom B	<0,02	0,68	0,80	0,73	0,75	0,63	0,70		0,64	0,73	0,29	0,34			0,53	0,66	
N=78	<0,002	0,69	0,82	0,78	0,76	0,66	0,71		0,66	0,63		0,29			0,50	0,59	
Poziom C	<0,02	0,63	0,73	0,66	0,71	0,28	0,45		0,55	0,43			0,51		0,55	0,30	
N=124	<0,002	0,59	0,73	0,66	0,69	0,26	0,44		0,54	0,38			0,48		0,56	0,31	

Należy również podkreślić wpływ użytkowania gleb na zawartość metali ciężkich w glebach, zwłaszcza form ogólnych. Najmocniej wpływ ten zaznacza się w poziomach powierzchniowych, zwłaszcza w ściółce gleb leśnych oraz darniowych, w glebach użytków zielonych, natomiast zdecydowanie słabiej – w poziomach ornyc. Ta ogólna prawidłowość wykazuje często odstępstwa w zależności od pierwiastka. Oczywiście, iż wspomniany wpływ użytkowania uzależniony jest od zawartości substancji organicznej w glebach.

Zagadnienie powyższe było rozpatrywane w pracach Skłodowskiego i Zarzyckiej (1997) oraz Uziaka, Melke i Klimowicza (2001a).

Formy występowania metali ciężkich w glebach (ogólne, rozpuszczalne) mają ogromne znaczenie z punktu widzenia ekologicznego (niektóre są toksyczne, a wszystkie w nadmiarze szkodliwe dla organizmów żywych). Ogólna zawartość metali ciężkich w glebie ma ograniczony wpływ na ich pobieranie przez rośliny, istotne znaczenie mają tu ich słabe wyciągi (Wiklander, Vahtras 1977). Należy przy tym pamiętać, że rozpuszczalność metali zależy na ogół od odczynu (kwaśny zwiększa zwykle rozpuszczalność). Jak wiadomo zaś, w wielu glebach Polski odczyn jest mniej lub bardziej kwaśny.

Rozmieszczenie metali w profilach wielu gleb nawiązuje mniej lub bardziej wyraźnie do poziomów genetycznych. A zatem w kształtowaniu zawartości i rozmieszczenia metali w glebach odegrały dominującą rolę procesy glebotwórcze. One to decydowały o akumulacji i przemieszczaniu, czyli migracji pierwiastków. W literaturze można znaleźć podobne stwierdzenia (Czarnowska, Gworek 1987; Dobrzański, Gliński, Uziak 1970; Skłodowski, Maciejewska, Szafranek 1988). Pierwiastki o bardzo małej zawartości, jak Co i Cd, a często i Cr, zwłaszcza formy rozpuszczalne w DTPA, wykazują małe zróżnicowanie w poszczególnych poziomach (ryc. 2–4).

Niektórzy autorzy (Swaine i Mitchell 1960; Berrow i Reaves 1986) uzależniają zawartość metali, zwłaszcza form ogólnych, w glebach Szkocji od budowy geologicznej terenu, tj. skał macierzystych i ich charakteru, w dużo mniejszym stopniu natomiast od procesów glebotwórczych.

Wiele metali ulega migracji w profilu, co przejawia się zmniejszeniem ich zawartości w poziomach E oraz wzrostem w poziomach B gleb bielcowych i płowych. Tu także można zjawiska te przedstawić odmiennie, biorąc pod uwagę różne stosunki. W glebach bielcowych migracji ulegają metale w formach ogólnych oraz formy rozpuszczalne. W glebach płowych mogą być przemieszczane formy ogólne wszystkich metali (na ogół z wyjątkiem Mn), choć w poszczególnych glebach zaznaczają się różnice.

Według badań Blumego (1981) przemieszczanie pierwiastków miało miejsce przez migracje ilu, wzbogacenie jednak poz. B – jedynie przez przemieszczanie ich w formie rozpuszczalnej. Znaczny wpływ może tu mieć również ruchliwość poszczególnych metali, która jest, jak wiadomo, zróżnicowana. Do bardzo ruch-

liwych zaliczany jest Cd (ale w glebach o $\text{pH} < 5,5$), następnie Zn, Pb należy zaś do słabo migrujących (jest silnie wiązany przez substancję organiczną, podobnie jak Cu). Niektórzy (Kabała, Szerszeń 2002) zwracają uwagę na rolę tlenków żelaza (np. w wiązaniu Zn, a wraz z substancją organiczną także Cu).

W niektórych glebach rozmieszczenie metali wykazuje inne prawidłowości, np. wzrost zawartości z głębokością, tj. do skały macierzystej lub zmienne zawartości w poszczególnych poziomach, np. w glebach murszowatych i madach, ale też w czarnoziemach i w słabo wykształconych. Dotyczy to głównie form ogólnych Ni, Cu, Cd i Cr, a z rozpuszczalnych – Cu.

WNIOSKI

1. Zawartość badanych metali ciężkich wykazuje bardzo duże zróżnicowanie w zależności od rodzaju i formy metalu (zastosowanego wyciągu), typu gleby i poziomu genetycznego, tj. procesu glebotwórczego oraz skały macierzystej, uziarnienia, a także rodzaju użytkowania gleby.

2. Gleby Polski Wschodniej zalegają w regionach ekologicznie czystych. Zawartości metali ciężkich nie tylko nie przekraczają norm przyjętych dla gleb użytków rolnych, ale na ogół mieszczą się w granicach ich wartości naturalnych. Dlatego też mogą być warsztatem dla wysokiej jakości produkcji roślinnej.

3. Na akumulację metali ciężkich decydujący wpływ wywiera substancja organiczna oraz zawartość części spławialnych, a zwłaszcza koloidalnych. Stąd najwyższe ich zawartości występują zwykle w poziomach akumulacyjnych, a ponadto w poziomach wzbogacenia B gleb płowych, bielicowych i brunatnych, niekiedy też w skałach podścielających lub macierzystych.

4. Niektóre z metali ulegają migracji w profilach, co przejawia się zmniejszaniem ich zawartości w poziomach E gleb płowych i bielicowych oraz zwiększaniem w poziomach B. Decydują o tym właściwości poszczególnych metali oraz procesy glebotwórcze.

LITERATURA

- Alloway B. J. (ed.). 1995: Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London.
- Anderson A. 1977: Heavy metals in Swedish soils. On their relation, distribution and amounts. Swedish J. Agric. Res., 7: 7–20.
- Berrow M. L., Reaves G. A. 1986: Total chromium and nickel contents of Scottish soils. Geoderma, 37: 15–27.
- Blume H. P. 1981: Schwermetallverteilung und Bilanzen typischer Waldböden auf nordischem Geschiebemergel. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 144: 156–163.
- Brümmer G., Gerth J., Herms U. 1986: Heavy metal species, mobility and availability in soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 144: 382–398.
- Czarnowska K. 1984: Wpływ skały macierzystej na zawartość metali ciężkich w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 242: 21–30.

- Czarnowska K., Gworek B. 1987: Metale ciężkie w niektórych glebach środkowej i północnej Polski. *Roczn. Glebozn.*, 38(3): 41–57.
- Dobrzański B., Gliński J., Uziak S. 1970: Występowanie niektórych pierwiastków w glebach województwa rzeszowskiego w zależności od rodzaju skały macierzystej i typologii gleb. *Annales UMCS, sec. B*, 24: 1–25.
- Gąsior J., Opałka S., Błażej J. 1999: Zawartość ołowiu i kadmu w glebach uprawnych Gór Sanocko-Turczańskich, Beskidu Niskiego i Bieszczadów Zachodnich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 467(2): 465–472.
- Gworek B. 1985: Pierwiastki śladowe (Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb i Cd) w glebach uprawnych wytworzonych z glin zwałowych i utworów pyłowych północno-wschodniego regionu Polski. Cz. II. Ogólna zawartość pierwiastków śladowych w glebach wytworzonych z glin zwałowych. *Roczn. Glebozn.* 36(2): 43–59.
- Gworek B., Degórski M. 1997: Przestrzenne i profilowe rozmieszczenie pierwiastków śladowych i żelaza w glebach zbiorowisk borowych. *Roczn. Glebozn.* 48 (1/2): 19–30.
- Gworek B., Mocka A. (ed.) 2001: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Tom I. Inst. Ochrony Przyrody, Warszawa.
- Kabała C., Szerszeń L. 2002: Profile distributions of lead, zinc, and copper in district cambisols developed from granite and gneiss of the Sudety Mountains, Poland. *Water, Air, and Soil Pollut.* 138: 307–317.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch Cz. 1995: Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Keresztény B. 1973: Distribution of total B, Cu, Mn and Mo contents in the profiles of some soil types in the Little Plain and its relationship to certain soil characteristics. *Acta Agron. Acad. Sci. Hungaricae*, 22(1–2): 115–130.
- Kociałkowski Z., Pokojńska U., Sapek B. 1984: Przewodnik metodyczny do oznaczania pojemności sorpcyjnej gleb. *Prace Komisji Naukowych Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego*, II/14, Warszawa: 12–17.
- Lindsay W. L., Norvell W. A. 1978: Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421–428.
- Lis J., Pasieczna A., Taraškevičius R. 1999: Total and partial extraction of selected elements in soils of the Poland-Lithuania borderland. *J. Geochem. Exploration* 66: 211–217.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E. 1976: *Analiza chemiczno-rolnicza*. PWN, Warszawa.
- Maciaszek W. 1983: Mikroelementy (Mn, Zn, Cu, B i Mo) w glebach leśnych wytworzonych ze skał fliszu Karpackiego. *Roczn. Glebozn.*, 34(3): 75–94.
- Maciejewska A. 1993: The content of trace elements in acid brown soils developed from Devonian on the Świętokrzyskie Mountains. *Polish J. Soil Sci.*, 26(2): 105–110.
- Maksymow A. 1954: Mikroelementy i ich znaczenie w życiu organizmów. PWRiL, Warszawa.
- Melke J., Uziak S., Klimowicz Z. 2001: Wpływ skały macierzystej na zawartość metali ciężkich w glebach tzw. Ściany Wschodniej. *Acta Agrophysica*, 56: 177–188.
- Melke J., Uziak S., Klimowicz Z. 2003: Wpływ ważniejszych czynników na właściwości sorpcyjne gleb Polski Wschodniej. *Annales UMCS, sec. B*, 58: 111–126.
- Mucha W., Sienkiewicz A., Szymańska M. 1976: Występowanie niektórych mikroelementów w różnych poziomach leśnych gleb bielcowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 179: 407–412.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa.

- Scharrer K. 1928: *Chemie und Biochemie des Jods*. Verlag F. Enke, Stuttgart.
- Scharrer K. 1955: *Biochemie der Spurenelemente*. Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg.
- Sharma B. D., Mukhopadhyay S. S., Sidhu P. S., Katyal I. C. 2000: Pedospheric attributes in distribution of total and DTPA-extractable Zn, Cu, Mn and Fe in Indo-Gangetic plains. *Geoderma*, 96: 131–151.
- Skłodowski P., Maciejewska A., Szafranek A. 1988: Wpływ procesu bielicowania na rozmieszczenie pierwiastków śladowych w profilach gleb bielicowych. *Roczn. Glebozn.*, 39(4): 113–128.
- Skłodowski P., Zarzycka H. 1997: Wpływ użytkowania gleb na zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich. *Roczn. Glebozn.*, 48(1/2): 5–13.
- Swaine D. J., Mitchell R. L. 1960: Trace-element distribution in soil profiles. *J. Soil Sci.* 11: 347–368.
- Terelak H., Piotrowska M., Budzyńska K. 1994: Stan zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Polska 1:500 000. Wyd. Okręg. Przeds. Geod. Kartogr., Białystok.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K. 1995: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418: 45–59.
- Terelak H., Stuczyński T., Piotrowska M. 1997: Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 30(2): 35–42.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch C. 2000: Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. *Inspekcja Ochrony Środowiska. IUNG w Puławach*. Warszawa.
- Uziak S., Melke J., Klimowicz Z. 2001a: Wpływ użytkowania na zawartość metali ciężkich w glebach „Ściany Wschodniej”. *Acta Agrophysica*, 48: 127–132.
- Uziak S., Melke J., Klimowicz Z. 2001b: Content and distribution of heavy metals in soils of East Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 34(2): 1–12.
- Vergusson J. E. 1990: *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon, Oxford.
- Vernet J. P. 1992: *Impact of heavy metals on the environment. Series: trace metal in the environment*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Wiklander L., Vahtras K. 1977: Solubility and uptake of heavy metals from a Swedish soil. *Geoderma*, 19: 123–129.
- Winogradow A. P. 1957: *Geochimija redkich i rassejanych elementow w poczwach*. Izd. A.N.SSSR, Moskwa.
- 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. 1999: Znaczenie organicznych poziomów w ograniczaniu migracji metali ciężkich i ich fitoprzyzwajalności na przykładzie gleb połonin Bieszczadzkiego Parku Narodowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 467(2): 473–480.

SUMMARY

The studies were carried out on variously utilized soils of the main physiographical regions in East Poland. For laboratory studies the more important soil units of the above mentioned regions were taken (Fig.1). The authors determined the basic soil properties and 8 heavy metals (Mn, Zn, Cu, Pb, Co, Ni, Cr, Cd) – their total forms, soluble in 1M HCl and DTPA – by AAS technique. The results are presented in three tables and four figures. The analysis of the obtained results is as follows:

1. The content of the study heavy metals shows a great differentiation depending of the kind and form of the metal, soil type and the genetic horizon as well as on the granulation of the soil and kind of its utilization.

2. The soils of East Poland occur in ecologically pure regions. The content of their heavy metals does not only exceed the standards assumed for soils of arable lands, but it is generally within the limits of their natural content. They can therefore be a medium for production of healthy food for people and animals.

3. A decisive effect on accumulation of the heavy metals exerted by organic substance and the content of particles < 0.02 mm, particularly colloid ones (< 0.002 mm). Hence their highest content is usually found in humus horizons and also in those of B enrichment of lessivé, podzolic and brown soils, sometimes in underlying and bed rocks.

4. Some of the metals migrate in the profiles, which is shown by their diminished content in E horizons of podzolic and lessivé soils, as well as by their increase in B horizons.