

BARBARA GWOREK, KRYSZYNA JESKE

PIERWIASTKI ŚLADOWE I ŻELAZO W GLEBACH UPRAWNYCH WYTWORZONYCH Z UTWORÓW GLACJALNYCH

Katedra Gleboznawstwa SGGW w Warszawie

WSTĘP I CEL BADAŃ

Gleba jest jednym z podstawowych elementów środowiska przyrodniczego, jak również podstawowym elementem w łańcuchu troficznym: gleba - roślina - zwierzę - człowiek.

Nagromadzenie w glebie substancji pochodzenia antropogenicznego powoduje naruszenie jej biogeochemicznej równowagi i włączenie tych substancji do innych elementów biosfery. Pierwiastki śladowe, zwłaszcza te, które w obecnym stanie wiedzy nie są potrzebne do wzrostu i rozwoju organizmów, są jednym z kryteriów zmian chemicznych w środowisku przyrodniczym. Zawartość oraz rozmieszczenie ich w glebach związane jest z trzema czynnikami: litogenicznym, pedogenicznym i antropogenicznym. Dlatego określenie zawartości i profilowego rozmieszczenia pierwiastków śladowych w glebach jest odzwierciedleniem stanu zanieczyszczenia środowiska.

Celem pracy było określenie zawartości oraz rozmieszczenia pierwiastków śladowych i żelaza w profilach gleb wytworzonych z utworów glacialnych na obszarze Nizin Mazowieckiej i Podlaskiej (rys. 1) oraz określenie zależności między ich zawartością a cechami pedogenicznymi.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań były różne typy gleb: brunatne właściwe i wylugowane, płowe, czarne ziemie oraz opadowo-glejowe wytworzone ze skał osadowych pochodzenia lodowcowego. Skały te reprezentowane są głównie przez gliny i piaski oraz w nielicznych przypadkach przez ility (tab. 1). Spośród 20 analizowanych profili glebowych 18 było usytuowanych na glebach użytkowanych rolniczo (profile 3, 5-20) i 3 na nieużytkach (profile 1, 2, 4).

Pierwiastki śladowe i żelazo w glebie oznaczono w 20% kwasie solnym po uprzednim spopieleniu substancji organicznej w temp. 480°C. Zawartość badanych pierwiastków oznaczano techniką ASA. Skład granulometryczny gleb był określany metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego.



RYSUNEK 1. Lokalizacja profilów glebowych – FIGURE 1. Locality of soil profiles

Zawartość substancji organicznej oznaczono metodą Tiurina. Obliczenia statystyczne wykonano przy użyciu testu Tukey'a.

WYNIKI BADAŃ

Zawartość **manganu** w badanych glebach waha się od 124 do 568 mg/kg s.m. Najmniej tego pierwiastka przypada na poziomy przemywania Eet, a najwięcej na poziomy skały macierzystej C bądź podścielającej D (tab. 1 i 2). Wartości te wynoszą odpowiednio 179, 373 i 412 mg/kg s.m.

W analizowanych glebach brunatnych właściwych i wylugowanych wytworzonych z glin zwałowych (wyjątek profil 2) największą koncentrację manganu stwierdzono w poziomie brunatnienia Bbr. Wzbogacenie tych poziomów w mangan określa współczynnik rozmieszczenia, który waha się w granicach 0,83–1,70. W nielicznych tylko profilach (profile 2 i 4) zauważa się tendencję do akumulacji manganu również w poziomach próchnicznych A, o czym świadczy współczynnik rozmieszczenia 1,1 i 1,50. Profile te były usytuowane na nieużytkach w odróżnieniu od pozostałych, które występowały na użytkach rolniczych.

Natomiast w glebach płowych najwięcej manganu znajduje się na ogół w poziomie skały macierzystej C. W glebach tych można zauważyć pewną tendencję do akumulacji manganu również w poziomach iluwialnych Bt, gdzie współczynnik rozmieszczenia dla tego pierwiastka waha się w granicach 0,71–1,17.

Najuboższe w mangan są poziomy przemywania Eet, w których współczynnik rozmieszczenia manganu wynosi od 0,49 do 0,69.

Na podstawie zawartości manganu w poziomach genetycznych analizowanych czarnych ziem trudno mówić o prawidłowościach w jego profilowym rozmiesz-

czeniu. Największa koncentracja pierwiastka przypada na poziomy skały macierzystej C lub poziomy próchniczne A.

Zawartość manganu w profilach gleb opadowo-glejowych jest skoncentrowana przede wszystkim w poziomach opadowo-glejowych Cg charakterystycznych dla tych gleb. Wskaźnik rozmieszczenia pierwiastka w wymienionych poziomach wynosi 0,92–1,23.

Obliczenia statystyczne, wykonane bez uwzględnienia typów gleb, wykazały, że rozmieszczenie manganu w badanych glebach jest istotnie skorelowane z zawartością części spławialnych (tab. 3). Natomiast nie stwierdzono zależności między zawartością manganu w glebach a ilością węgla organicznego.

W analizowanych glebach stwierdzono **cynk** w ilości od 20 do 81 mg/kg s.m. Istotnie najniższa średnia zawartość cynku charakteryzowała poziomy przemywania Eet, gdzie wynosi 26 mg/kg s.m., a najwyższa skałę podściętą D, gdzie wynosi 52 mg/kg s.m. (tab. 2).

W glebach brunatnych właściwych i wylugowanych na ogół największa koncentracja cynku przypada na poziomy brunatnienia Bbr i Bbr(fe) oraz próchniczne A.

Wskaźnik rozmieszczenia cynku w tych poziomach waha się odpowiednio w zakresach 0,80–1,62 oraz 0,93–1,67.

W analizowanych glebach płowych najwięcej cynku występuje na ogół w skale macierzystej, a najmniej przypada na poziomy przemywania Eet, w których wskaźnik rozmieszczenia tego pierwiastka wynosi od 0,37 do 0,79. W poziomach iluwialnych (Bt) i próchnicznych (A) wystąpiło pewne wzbogacenie w cynk w porównaniu z poziomami przemywania. Wskaźnik rozmieszczenia cynku w poziomach iluwialnych waha się w zakresie 0,75–1,09, a w poziomach próchnicznych od 0,50 do 1,16.

W profilach czarnych ziem największą koncentrację cynku wykazują poziomy akumulacji substancji organicznej A, dla których wskaźnik rozmieszczenia wynosi od 1,06 do 2,19.

Podobnie jak w czarnych ziemiach, tak i w glebach opadowo-glejowych zauważa się tendencję do koncentracji cynku w poziomach próchnicznych A, gdzie wskaźnik rozmieszczenia kształtuje się w granicach 0,86–1,69. W poziomach opadowo-glejowych omawianych gleb występuje tendencja do akumulacji omawianego pierwiastka. Wskaźnik rozmieszczenia cynku w tych poziomach wynosi 0,86–1,30.

Analiza statystyczna wykazała istotną zależność między zawartością cynku w badanych glebach a zawartością części spławialnych (tab. 3). Nie stwierdzono zależności między zawartością omawianego pierwiastka w glebach a zawartością węgla organicznego.

W badanych glebach zawartość **miedzi** waha się od 1,6 do 20,1 mg/kg s.m. Istotnie najmniej miedzi przypada na poziomy przemywania Eet i próchniczne A w porównaniu z innymi analizowanymi poziomami genetycznymi. Średnia zawartość miedzi w poziomach Eet wynosi 2,2 mg/kg s.m., a w poziomach A 5,3 mg/kg s.m. (tab. 2).

Wskaźnik rozmieszczenia miedzi obliczony dla poszczególnych poziomów genetycznych gleb brunatnych właściwych i wylugowanych wskazuje na tendencję do jej akumulacji w poziomach brunatnienia Bbr, a niekiedy w poziomach próchnicznych A. Wskaźnik ten dla poziomów Bbr waha się od 0,68 do 1,48, a dla poziomów A od 0,31 do 1,33. Najwyższy współczynnik dla poziomów A

TABELA 1. Zawartość pierwiastków śladowych [mg/kg s.m.] i żelaza [%] w badanych glebach oraz niektóre ich właściwości fizyko-chemiczne
 TABLE 1. Content of trace elements [mg/kg s.m.] and iron [%] in investigated soils and some of their physico-chemical properties

Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość Depth [cm]	Mn		Zn		Cu		Pb		Cd		Ni		Cr		Fe		C-org. [%]	% cz. o \varnothing [mm] % of particles of \varnothing [mm]		
		A*	B**	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		1-0,1	0,1-0,02	<0,02
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Gleby brunatne właściwe – Typical brown soils																					
Pomieczówek 2																					
A	0–25	189	1,11	27	1,35	2,8	1,33	11	0,92	0,24	1,20	6,9	1,11	21	1,50	0,96	0,96	0,90	85	4	7
Bbr	25–40	210	1,23	32	1,60	3,1	1,48	10	0,83	0,26	1,30	7,4	1,19	23	1,64	1,28	1,28	0,13	93	3	4
BbrC	40–65	180	1,06	24	1,20	2,8	1,33	10	0,83	0,22	1,10	5,6	0,90	16	1,14	1,10	1,10	0,08	93	5	2
C	> 65	170	–	20	–	2,1	–	12	–	0,20	–	6,2	–	14	–	1,00	–	0,02	92	6	2
Sucha 17																					
A	0–28	268	0,94	41	1,19	4,7	0,59	16	1,10	0,24	0,77	7,2	0,89	27	0,60	1,07	0,69	1,16	51	17	32
Bbr	28–45	312	1,09	56	1,62	8,2	1,02	14	0,93	0,32	1,03	8,9	1,10	43	0,95	1,84	1,19	0,54	41	21	38
C ₁	45–80	248	–	38	–	7,3	–	16	–	0,28	–	6,7	–	46	–	1,52	–	0,28	62	12	26
C ₂	> 80	322	–	31	–	8,5	–	14	–	0,34	–	9,4	–	44	–	1,58	–	0,02	46	20	34
Dzierżeniem 12																					
A	0–20	230	0,66	56	1,19	7,8	1,07	14	0,96	0,28	0,90	9,2	1,27	23	0,87	1,14	0,84	1,54	31	25	44
Bbr	20–45	290	0,83	60	1,28	9,9	1,07	16	1,10	0,30	0,97	9,0	1,24	34	1,28	2,66	1,96	0,78	25	23	52
BbrC	45–60	290	0,83	68	1,45	6,8	0,71	15	1,03	0,26	0,84	9,8	1,35	20	0,75	1,20	0,88	0,32	31	24	46
C ₁	60–90	320	–	46	–	9,2	–	16	–	0,30	–	7,3	–	27	–	1,19	–	0,02	23	23	54
C ₂	> 90	374	–	48	–	9,3	–	13	–	0,32	–	7,2	–	26	–	1,52	–	0,02	17	27	56
Gleby brunatne wylugowane – Leached brown soils																					
Pułtusk 4																					
A	0–30	343	1,50	36	0,95	6,7	0,66	23	1,64	1,29	1,29	10,4	0,61	25	0,58	1,32	0,36	1,70	42	21	37
Bbr(fe)	30–55	392	1,70	47	1,24	10,3	1,01	24	1,71	1,10	1,10	18,2	1,12	30	0,70	3,94	1,17	0,57	19	23	58
BbrCG	55–70	456	1,98	51	1,34	11,2	1,10	16	1,14	1,20	1,20	16,3	0,96	54	1,25	3,46	1,03	0,12	12	24	64
CG	>70	230	–	38	–	10,2	–	14	–	1,00	–	16,9	–	43	–	3,37	–	0,02	6	26	68

cd. tabeli 1 – Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Gleby brunatne wylugowane – Leached brown soils Seroczyn 18																					
A	0–25	231	0,86	41	0,93	3,5	0,31	12	0,63	0,46	0,96	6,2	0,85	27	0,96	0,76	0,54	1,12	66	19	15
Bbr(fe)	25–40	260	0,98	36	0,82	7,6	0,68	13	0,68	0,52	1,08	9,6	1,31	44	1,57	1,52	1,08	0,43	48	23	29
C	40–75	268	–	41	–	11,2	–	19	–	0,48	–	7,2	–	30	–	1,40	–	0,11	10	18	72
D	> 75	190	–	47	–	11,1	–	11	–	0,56	–	7,4	–	26	–	1,10	–	0,02	8	15	77
Klukki 19																					
A	0–32	270	0,94	38	1,12	6,6	0,98	9	1,12	0,32	0,97	4,3	0,40	18	0,92	0,90	0,76	1,56	51	29	20
Bbr(fe)	32–50	320	1,11	47	1,38	7,8	1,15	7	0,87	0,28	0,85	4,6	0,43	27	1,34	1,49	1,25	0,67	34	32	34
C	50–85	280	–	32	–	6,2	–	6	–	0,34	–	10,0	–	20	–	1,20	–	0,24	36	33	31
CG	> 85	296	–	36	–	7,3	–	10	–	0,32	–	11,2	–	19	–	1,19	–	0,02	46	28	26
Jablonna 11																					
A	0–30	420	0,81	72	1,67	9,6	1,33	27	1,92	1,02	3,19	10,2	0,93	32	0,57	1,19	0,59	2,10	55	22	23
Bbr(fe)	30–55	560	1,08	68	1,58	8,3	1,15	20	1,43	0,26	0,81	10,4	0,94	38	0,68	2,07	1,03	0,86	52	21	27
C	> 55	520	–	43	–	7,2	–	14	–	0,32	–	11,0	–	56	–	2,00	–	0,09	42	26	32
Gleby ptowe - Lessives soils Warszawa-Ursynów 1																					
A	0–28	196	0,82	30	0,88	2,3	0,33	32	1,52	0,96	1,37	5,6	0,47	12	0,30	0,67	0,42	0,78	47	37	16
Eet	28–50	134	0,56	27	0,79	1,6	0,23	26	1,24	0,32	0,46	6,1	0,52	12	0,30	0,70	0,44	0,34	60	22	18
Bt	50–65	280	1,17	32	0,94	7,2	1,03	18	0,86	0,60	0,86	9,2	0,78	37	0,92	1,10	0,69	0,12	67	14	19
C	> 65	240	–	34	–	7,0	–	21	–	0,70	–	11,8	–	40	–	1,60	–	0,06	68	12	20
Łubienica 5																					
A	0–45	210	0,54	28	0,50	4,1	0,53	14	1,27	0,78	1,44	4,3	0,48	10	0,42	0,39	0,24	0,96	61	21	18
Eet	45–60	190	0,49	21	0,37	2,8	0,38	12	1,09	0,46	0,85	2,8	0,31	9	0,37	0,46	0,28	0,28	70	14	16
Bt	60–90	240	0,61	56	1,00	9,6	1,31	16	1,45	0,76	1,01	5,6	0,62	17	0,71	1,28	0,77	0,11	53	19	28
C	> 90	390	–	56	–	7,3	–	11	–	0,54	–	9,0	–	24	–	1,65	–	0,02	45	23	32
Popowo 6																					
A	0–25	271	0,76	44	0,92	3,8	0,37	16	1,33	0,46	2,70	5,2	0,41	21	0,75	0,47	0,39	1,02	57	20	23
Eet	25–40	247	0,69	29	0,60	1,6	0,15	9	0,75	0,22	1,29	3,7	0,29	22	0,78	0,61	0,51	0,54	65	17	18
Bt	40–55	380	1,05	36	0,75	7,2	0,67	10	0,83	0,28	1,65	9,3	0,74	32	1,14	1,37	1,14	0,16	48	23	29
C	> 55	360	–	48	–	10,3	–	12	–	0,17	–	12,6	–	28	–	1,20	–	0,09	41	23	36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Gleby płowe - Lessives soils																					
Jakubów 15																					
A	0–30	385	0,84	37	0,88	3,4	0,17	12	1,20	0,13	1,44	3,2	0,35	24	0,67	0,72	0,67	0,76	52	28	20
AEet	30–45	315	0,69	27	0,64	3,5	0,17	9	0,90	0,11	1,22	3,6	0,40	26	0,72	0,79	0,74	0,54	68	24	8
Bt	45–62	368	0,80	34	0,81	19,6	0,97	9	0,90	0,07	0,78	6,7	0,74	30	0,83	1,34	1,25	0,28	53	20	27
C	> 62	457	–	42	–	20,1	–	10	–	0,09	–	9,0	–	36	–	1,07	–	0,09	40	24	36
Topór 16																					
A	0–20	173	0,59	51	1,16	1,8	0,11	11	0,58	0,18	1,06	4,3	0,46	16	0,46	0,59	0,37	0,98	57	27	16
Ee t	20–38	146	0,49	34	0,77	2,1	0,13	11	0,58	0,09	0,53	4,4	0,47	17	0,49	0,70	0,44	0,26	60	23	17
Bt	38–60	210	0,71	48	1,09	11,2	0,70	16	0,84	0,14	0,82	7,6	0,82	30	0,87	1,47	0,93	0,11	52	25	23
C	60–80	270	–	42	–	13,3	–	20	–	0,17	–	8,2	–	29	–	1,64	–	0,09	51	20	29
CG	> 80	320	–	46	–	18,8	–	18	–	0,17	–	10,4	–	40	–	1,58	–	0,02	55	19	26
Czarne ziemie – Black earth																					
Jeżewo 3																					
A	0–40	483	–	56	–	8,3	–	26	–	0,93	–	7,2	–	28	–	1,07	–	2,43	8	24	68
AC	40–80	326	–	52	–	7,6	–	27	–	0,72	–	18,0	–	34	–	2,40	–	0,56	6	22	72
D	> 80	447	–	67	–	8,2	–	24	–	0,70	–	22,4	–	56	–	2,60	–	0,09	4	20	76
Jabłonna 9																					
A	0–35	464	0,89	81	2,19	12,9	1,15	32	1,52	1,10	3,43	8,7	0,84	13	0,48	0,91	0,76	3,04	56	21	23
AC	35–60	392	0,75	34	0,92	9,6	0,86	27	1,28	0,74	2,31	8,2	0,80	14	0,52	0,90	0,75	1,14	49	24	27
C	> 60	521	–	37	–	11,2	–	21	–	0,32	–	10,3	–	27	–	1,20	–	0,11	40	24	36
Popowo 8																					
A	0–40	280	2,2	41	1,06	2,8	1,04	18	1,33	0,19	1,27	4,2	0,69	10	0,71	1,02	0,39	2,16	41	23	18
C ₁	40–75	124	–	37	–	2,0	–	16	–	0,19	–	6,3	–	8	0,57	2,46	–	0,28	48	20	32
C ₂	> 75	130	–	40	–	3,4	–	11	–	0,11	–	5,8	–	14	–	2,70	–	0,09	38	26	36

cd. Tabeli 1 – Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rostkowice 20																					
A	0–30	480	1,02	49	1,17	3,3	0,35	20	2,00	0,23	1,35	6,9	2,87	23	0,49	0,84	0,84	2,79	60	12	28
AC	30–55	568	1,20	37	0,88	4,6	0,49	16	1,60	0,19	1,12	14,2	0,59	30	0,64	0,76	0,76	0,56	49	19	32
C	> 55	470	–	42	–	9,3	–	10	–	0,17	–	24,0	–	47	–	1,00	–	0,16	33	24	43
Gleby opadowo-glejowe – Pseudogley soils																					
Jabłonna 10																					
A	0–30	520	1,13	78	1,69	6,8	0,64	26	1,86	0,99	2,47	3,6	0,33	29	0,56	0,94	0,47	1,56	64	17	19
Ag	30–35	487	1,06	62	1,32	7,2	0,68	16	1,14	0,78	1,95	2,8	0,26	32	0,61	1,20	0,61	0,98	65	9	26
Cg	35–60	422	0,92	46	0,98	9,9	0,93	14	1,06	0,60	1,50	10,4	0,96	46	0,88	2,23	1,13	0,47	40	22	38
C	> 60	460	–	47	–	10,6	–	14	–	0,40	–	10,8	–	52	–	1,98	–	0,06	30	24	46
Popowo 7																					
A	0–25	276	0,97	47	1,09	7,2	0,78	11	1,83	0,30	1,58	4,3	0,48	14	0,87	0,78	0,45	1,04	62	21	17
Cg	25–55	347	1,23	56	1,30	13,7	1,49	9	1,50	0,28	1,47	9,8	1,09	15	0,94	1,90	1,10	0,28	54	14	32
C	> 55	283	–	43	–	9,2	–	6	–	0,19	–	9,0	–	16	–	1,72	–	0,06	31	21	48
Mokra Wieś 13																					
A	0–20	378	0,88	36	0,86	6,2	0,63	10	0,83	0,18	0,78	6,7	0,67	9	0,43	0,46	0,27	1,28	59	20	21
Cg	20–45	426	1,09	48	1,14	10,9	1,11	10	0,83	0,20	0,87	9,6	0,96	17	0,81	1,60	0,94	0,32	48	16	36
C	45–60	393	–	42	–	9,8	–	12	–	0,23	–	10,0	–	21	–	1,70	–	0,12	34	23	43
D	>60	470	–	54	–	12,6	–	11	–	0,17	–	16,4	–	34	–	2,00	–	0,09	25	18	57
Glinianka 14																					
A	0–30	132	0,54	39	1,05	5,4	0,67	12	0,63	0,20	0,74	9,6	0,86	17	0,65	1,02	0,49	0,78	69	11	20
Cg	30–65	270	1,11	32	0,86	7,6	0,95	14	0,74	0,23	0,85	10,8	0,96	23	0,88	2,34	1,12	0,22	70	9	21
C	65–80	243	–	37	–	8,0	–	19	–	0,27	–	11,2	–	26	–	2,08	–	0,06	38	19	43
D	>80	374	–	42	–	9,6	–	18	–	0,19	–	10,6	–	20	–	1,60	–	–	2	22	76

A* – ogólna zawartość pierwiastków – total content of elements; B** – wskaźnik rozmieszczenia obliczony ze stosunku zawartości pierwiastka w danym poziomie do jego zawartości w skale macierzystej – distribution index calculated on the basis of ratio of the element in the given horizon to its content in parent rock.

TABELA 2. Średnia zawartość pierwiastków śladowych i żelaza w poziomach genetycznych badanych gleb

TABLE 2. Mean content of trace elements and iron in genetic horizons of investigated soils

Poziom genetyczny Genetic horizon	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Fe
	[mg/kg s.m. – of d.m.]							[%]
A	291	44	5,3*	18	0,49	5,5*	19*	0,85*
Eet	179*	26*	2,2*	13	0,23*	4,1*	15*	0,63*
Bt	280	42	10,9	14	0,39	7,6	30	1,30
Bbr	283	48	8,1	13	0,43	8,7	31	1,94
Cg	373**	43	10,0	12	0,30	10,4	28	1,90
C	295	40	11,2	12	0,32	10,0	29	1,64
D	412**	52**	10,3	15	0,39	13,2**	32	1,67

* – wartości istotnie niższe w stosunku do pozostałych poziomów genetycznych gleb – values significantly lower in relation to the remaining genetic horizons of soils; ** – wartości istotnie wyższe w stosunku do pozostałych poziomów genetycznych gleb – values significantly higher in relation to the remaining genetic horizons of soils

przypada na glebę pod intensywnymi uprawami ogrodniczymi (profil 11) i nie-użytek (profil 2).

W analizowanych poziomach genetycznych gleb płowych najwięcej miedzi stwierdza się w poziomach skały macierzystej C lub w poziomach wmywania Bt. W poziomach Bt współczynnik rozmieszczenia tego pierwiastka w stosunku do skały macierzystej waha się w granicach 0,70–1,31.

Największa koncentracja miedzi w czarnych ziemiach przypada na poziomy akumulacyjny A i skałę macierzystą C.

W profilach gleb opadowo-glejowych najwięcej miedzi odnotowuje się w poziomach skały macierzystej C lub podścielającej D oraz poziomach opadowo-glejowych Cg, dla których współczynnik rozmieszczenia waha się od 0,96 do 1,39. Obliczone współczynniki korelacji wskazują, że zawartość miedzi w analizowanych glebach jest wysoce istotnie skorelowana z ilością części spławialnych (tab. 3). Analiza statystyczna nie wykazała zależności między zawartością miedzi a ilością węgla organicznego w glebach.

W badanych glebach niezależnie od ich typu stwierdzono **ołów** w ilości od 6 do 32 mg/kg s.m. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic pomiędzy średnią zawartością ołowiu w badanych poziomach genetycznych gleb (tab. 2). Najwyższa średnia zawartość ołowiu przypada na poziomy akumulacyjny A, a najniższa na poziomy opadowo-glejowe Cg i skały macierzystej C.

Profilowe rozmieszczenie ołowiu w badanych typach gleb nie jest na ogół związane z procesami glebotwórczymi, co można było zauważyć w przypadku wcześniej omawianych pierwiastków. Największe nagromadzenie ołowiu, niezależnie od typu gleby, przypada na poziomy akumulacyjny. Współczynnik rozmieszczenia tego pierwiastka dla poziomów A waha się od 0,63 do 3,19. Obliczone współczynniki korelacji wskazują na istotnie dodatnią zależność między zawartością ołowiu w badanych glebach a zawartością w nich węgla organicznego.

TABELA 3. Współczynniki korelacji między ogólną zawartością pierwiastków śladowych i żelaza a niektórymi właściwościami gleb

FIGURE 3. Coefficients of correlation between the total content of trace elements and iron and some properties of soils

Pierwiastek Element	C org.	Cząstki Particles Ø < 0,02 mm	Pierwiastek Element	C org.	Cząstki Particles Ø < 0,02 mm
Mn	0,463	0,576*	Cd	0,628*	0,124
Zn	0,363	0,528*	Ni	-0,324	0,837**
Cu	-0,262	0,812**	Cr	-0,118	0,926**
Pb	0,512*	0,423	Fe	-0,368	0,797**

* - P = 0,05; ** - P = 0,01

Analiza statystyczna nie wykazała zależności pomiędzy ilością ołowiu a ilością części spławialnych.

Zawartość **kadm** w rozpatrywanych glebach wahała się od 0,07 do 1,29 mg/kg s.m. Istotnie najniższą średnią zawartość kadmu stwierdza się w poziomach przemywania Eet w stosunku do innych badanych poziomów genetycznych. Natomiast najwyższa średnia zawartość (aczkolwiek nieistotna) przypada na poziomy próchniczne A.

Rozmieszczenie kadmu w glebach brunatnych właściwych i wyługowanych wykazuje niewielką tendencję do akumulacji w poziomach brunatnienia Bbr. Wskaźnik rozmieszczenia kadmu w tych poziomach waha się od 0,81 do 1,30, a w poziomach próchnicznych od 0,77 do 3,19.

W glebach płowych maksimum koncentracji kadmu wykazują poziomy próchniczne A, dla których wskaźnik rozmieszczenia wynosi 1,06–2,70. W niektórych profilach tych gleb (profile 1, 5, 16) wystąpiło zubożenie w kadm poziomów przemywania Eet, a wskaźnik rozmieszczenia tego pierwiastka w nich wynosi 0,46–0,85.

W poziomach mineralno-organicznych A, AC czarnych ziem wystąpiło wyraźne nagromadzenie kadmu, a wskaźnik jego w tych poziomach waha się w granicach 1,12–3,43.

W profilowym rozmieszczeniu kadmu w glebach opadowo-glejowych trudno jest zauważyć prawidłowości związane z procesami glebotwórczymi. Najwięcej kadmu jest w poziomach próchnicznych A bądź w skale macierzystej C, a wskaźnik rozmieszczenia dla tych poziomów waha się od 0,74 do 2,47.

Obliczone współczynniki korelacji wskazują na dodatnią zależność między zawartością w glebach kadmu i węgla organicznego (tab. 3). Zależności takiej nie stwierdzono dla kadmu i części spławialnych.

W badanych glebach zawartość **niklu** waha się w granicach od 2,8 do 22,4 mg/kg s.m. Istotnie najmniej tego pierwiastkach jest w poziomach przemywania Eet, a najwięcej w skale podścielającej D.

W profilach gleb brunatnych właściwych nikiel wykazuje tendencję do akumulacji w poziomach brunatnienia Bbr, a wskaźnik rozmieszczenia pierwiastka w tych poziomach wynosi 1,10–1,24. Natomiast w glebach brunatnych wyługowanych proces ten jest słabiej zaznaczony, a wskaźnik rozmieszczenia Ni w poziomach Bbr(fe) waha się od 0,43 do 1,31.

Spośród analizowanych poziomów genetycznych gleb płowych najwięcej niklu zawierają skały macierzyste C, a następnie poziomy iluwialne Bt. Najmniej niklu jest w poziomach przemywania Eet bądź próchnicznych A. Wskaźnik rozmieszczenia niklu w glebach płowych, niezależnie od poziomu genetycznego, waha się w granicach 0,29–0,82.

Współczynniki korelacji wyraźnie wskazują na zależność rozmieszczenia niklu w glebach od części spławialnych (tab. 3). Natomiast nie stwierdzono korelacji pomiędzy zawartością niklu i węgla organicznego.

Zawartość **chromu** w badanych typach gleb waha się od 9 do 56 mg/kg s.m. Istotnie najniższe zawartości tego pierwiastka stwierdzono w poziomach przemywania Eet oraz w poziomach próchnicznych A w porównaniu z zawartością chromu w innych poziomach genetycznych. Najwyższą zawartość chromu, ale nieistotną, stwierdzono w skałach podścielających analizowanych gleb.

Zawartość chromu w glebach brunatnych właściwych i wylugowanych wykazuje na ogół tendencję do akumulacji w poziomach brunatnienia Bbr. Wskaźnik rozmieszczenia pierwiastka w tych poziomach wynosi 0,68–1,64.

W glebach płowych najwięcej chromu przypada na poziomy skały macierzystej C, najmniej zaś na poziomy próchniczne A i przemywania Eet. Wskaźnik rozmieszczenia pierwiastka dla dwóch ostatnich poziomów wynosi odpowiednio: 0,30–0,75 oraz 0,30–0,78.

W badanych czarnych ziemiach najwięcej chromu znajduje się w skale macierzystej C. Współczynnik rozmieszczenia Cr w poziomach próchnicznych tych gleb A i AC waha się w granicach 0,48–0,64.

Podobnie skały macierzyste C i podścielające D gleb opadowo-glejowych wykazują największą koncentrację omawianego pierwiastka. Wskaźnik rozmieszczenia chromu w pozostałych analizowanych poziomach genetycznych gleb opadowo-glejowych waha się w granicach 0,43–0,94.

Obliczone współczynniki korelacji wskazują na dodatnią zależność pomiędzy zawartością chromu w badanych glebach a zawartością części spławialnych. Natomiast nie stwierdzono korelacji między ilością chromu a węgla organicznego.

Analizowane gleby wykazują zawartość **żelaza** w wysokości 0,39–3,94% s.m. Istotnie najniższa średnia zawartość żelaza przypada na poziomy przemywania Eet i próchniczne (tab. 2), natomiast najwyższa – na poziomy brunatnienia Bbr i opadowo-glejowe Cg.

W badanych glebach brunatnych właściwych i wylugowanych największe nagromadzenie żelaza stwierdzono w poziomach brunatnienia Bbr(fe). Współczynnik rozmieszczenia pierwiastka dla tych poziomów wynosił 1,03–1,98, a dla poziomów próchnicznych A od 0,36 do 0,96.

W badanych profilach gleb płowych najwięcej Fe przypada na skałę macierzystą C bądź poziomy iluwialne Bt. Współczynniki rozmieszczenia w poziomach Bt wynoszą 0,69–1,25, w poziomach A 0,24–0,67 i w poziomach Eet 0,28–0,74.

W profilach czarnych ziem najbogatsze w żelazo są skała macierzysta C bądź podścielająca D. Współczynnik rozmieszczenia żelaza w poziomach próchnicznych A waha się w zakresie 0,39–0,84.

W profilach gleb opadowo-glejowych największa koncentracja Fe przypada na charakterystyczne dla tego typu gleb poziomy opadowo-glejowe Cg i niekiedy na skałę macierzystą C bądź podścielającą D. Współczynniki rozmieszczenia Fe w poziomach Cg wahają się od 0,94 do 1,13, a w poziomach próchnicznych A od 0,27 do 0,61.

Analiza statystyczna wykazała, że zawartość żelaza w badanych glebach jest dodatnio skorelowana z zawartością części spławialnych.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że średnia zawartość pierwiastków (mg/kg s.m. i Fe w %) w badanych glebach układa się w następującym szeregu:

Fe (1,42%) > Mn (302) > Zn (42) > Cr (26) > Pb (14) > Ni (8,6) > Cu (8,3) > Cd (0,36)

Zbliżone wartości otrzymali również inni autorzy badający zasobność w pierwiastki śladowe gleb wytworzonych z osadów na obszarze zlodowacenia środkowopolskiego w tym również Niziny Mazowiecko-Podlaskiej [Czarnowska 1968, 1972, 1995; Czarnowska, Gworek 1987; Gworek 1985; Piotrowska i in. 1994].

Rozmieszczenie badanych pierwiastków śladowych oraz żelaza w analizowanych profilach glebowych związane jest z kierunkiem rozwoju procesów glebotwórczych oraz w pewnym stopniu ze zmiennością składu granulometrycznego. Odzwierciedleniem tych zależności jest ilość pierwiastków w poszczególnych poziomach genetycznych. Zawartość rozpatrywanych pierwiastków (w mg/kg s.m.) w poszczególnych poziomach genetycznych można uszeregować następująco:

Mn – Eet (179) < Bt (280) < Bbr (283) < A (291) < C (295) < Cg (373) < D (412)

Zn – Eet (26) < C (40) < Bt (42) < Cg (43) < A (44) < Bbr (48) < D (52)

Cu – Eet (2,2) < A (5,3) < Bbr (8,1) < Cg (10,0) < D (10,3) < Bt (10,9) < C (11,2)

Pb – C (12) = Cg (12) < Eet (13) = Bbr (13) < Bt (14) < D (15) < A (18)

Cd – Eet (0,23) < Cg (0,30) < C (0,32) < Bt (0,39) = D (0,39) < Bbr (0,43) < A (0,49)

Ni – Eet (4,1) < A (5,5) < Bt (7,6) < Bbr (8,7) < C (10,0) < Cg (10,4) < D (13,2)

Cr – Eet (15) < A (19) < Cg (28) < C (29) < Bt (30) < Bbr (31) < D (32)

Fe (w %) – Eet (0,63) < A (0,85) < Bt (1,3) < C (1,64) < D (1,67) < Cg (1,90) < Bbr (1,94)

Uszeregowanie to wyraźnie wskazuje, że najuboższe w pierwiastki śladowe (zwyjątkiem Pb) są poziomy przemysławiania Eet analizowanych gleb. Obliczenia statystyczne wykazały, że są to wartości istotnie niższe w stosunku do wartości w pozostałych poziomach genetycznych. Na uwagę zasługuje również istotnie niższa zawartość metali z grupy żelaza (Fe, Ni, Cr) oraz miedzi w poziomach próchnicznych A w porównaniu z innymi badanymi poziomami genetycznymi. Fakt ten należałoby wiązać nie tylko z procesami glebotwórczymi, ale i ze zjawiskami zachodzącymi w warunkach peryglacialnych prowadzącymi do pionowej zmienności składu granulometrycznego. O zależności rozmieszczenia pierwiastków śladowych i żelaza w glebach świadczą otrzymane współczynniki korelacji, które uszeregowano następująco:

Cr ($r = 0,926$) > Ni ($r = 0,837$) > Cu ($r = 0,812$) > Fe ($r = 0,797$) > Mn ($r = 0,576$) > Zn ($r = 0,528$)

Podobne zależności w glebach wytworzonych z utworów glacialnych stwierdziły Czarnowska [1968, 1972] i Gworek [1985].

Spośród analizowanych pierwiastków tylko kadm i ołów wykazują największą tendencję do gromadzenia się w poziomach próchnicznych. Takie rozmieszczenie

Pb i Cd w profilach badanych gleb należy tłumaczyć raczej czynnikami antropogenicznymi niż litogenicznymi czy też pedogenicznymi. Świadczy o tym również zawartość tych pierwiastków w wierzchnich poziomach gleb pod intensywnymi uprawami ogrodniczymi (profile 9–11). Obliczone współczynniki korelacji wykazują dodatnią zależność między zawartością ołowiu i kadmu w glebach a ilością węgla organicznego.

Porównując otrzymane wyniki badań z podawanymi przez Kabatę-Pendias i in. [1993] należy analizowane profile zaliczyć do gleb o naturalnej zawartości omawianych metali ciężkich.

WNIOSKI

1. Średnia ogólna zawartość Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr i Fe w glebach uprawnych wytworzonych z utworów glacialnych na Nizinie Mazowieckiej i Podlaskiej wynosi odpowiednio: 302, 42, 8,3, 14, 0,36, 8,6 i 26 mg/kg s.m. oraz 1,42%. Wartości te w poziomach próchnicznych A wynoszą odpowiednio: 291, 44, 5,3, 18, 0,49, 5,5 i 19 mg/kg s.m. oraz 0,85%.

2. Najistotniejszy wpływ na rozmieszczenie Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr i Fe w badanych profilach glebowych miały procesy przemywania. W poziomach Ee stwierdzono istotnie mniej tych pierwiastków niż w pozostałych poziomach genetycznych. W poziomach brunatnienia wystąpiła tendencja do akumulacji Fe, Zn i Cr, zaś w poziomach próchnicznych badanych gleb – tendencja do akumulacji Pb i Cd.

3. Analiza statystyczna wykazała dodatnią korelację pomiędzy ilością części spławialnych a ogólną zawartością Cr, Ni, Cu, Fe, Mn i Zn oraz między ilością węgla organicznego a zawartością Cd i Pb.

4. Na ogół badane gleby uprawne można zaliczyć do gleb o naturalnej zawartości metali ciężkich.

LITERATURA

- CZARNOWSKA K. 1968: Miedź w glebach Niziny Mazowiecko-Podlaskiej. *Rocz. Nauk Rol.* 94 - A - 4: 475–509.
- CZARNOWSKA K. 1972: Badania nad rozmieszczeniem Mn, Zn, Cu, Mo w glebach wytworzonych z glin zwałowych. *Rocz. Glebozn.* 23, 2: 25–30.
- CZARNOWSKA K. 1995: Metale ciężkie w skałach osadowych okrucowych. Cz. I. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 87–90.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B. 1987: Metale ciężkie w niektórych glebach środkowej i północnej Polski. *Rocz. Glebozn.*, 38, 3: 41–57.
- 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. *Rocz. Glebozn.* 36, 2: 43–59.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITEK T. 1993: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Wyd. IUNG, Puławy: 1–20.
- PIOTROWSKA M., DUDKA S., PONCE-HERNANDES R., WITEK T. 1994: The spatial distribution of leads concentration in the agricultural soils and main crop plants in Poland. *Sci. Total Environ.*, 158: 147–155.

B. GWOREK, K. JESKE

THE TRACE ELEMENTS AND IRON CONTENTS IN ARABLE SOILS FORMED FROM GLACIAL MATERIALS

Department of Soil Science, Warsaw Agricultural University

SUMMARY

Typical brown soils, leached brown soils, lessives soils, black earth and pseudogley soils formed from deposited glacial materials of Mazowiecko-Podlaska lowland were investigated.

The mean content of Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr and Fe in investigated soils are: 32, 42, 8.3, 14, 0.36, 8.6, 26 mg/kg d.m. and 1.42% respectively.

The distribution of trace elements in profiles of soils is as a result of the primary soil formative process and the changeability of its granulometric composition.

The investigated soils therefore indicates the natural contents of its trace elements and iron contents.

Dr hab. Barbara Gworek

Katedra Gleboznawstwa SGGW

02-528 Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30

