

ANTONI FABER, JADWIGA NIEZGODA

ZANIECZYSZCZENIE GLEB I ROŚLIN UPRAWNYCH W POBLIŻU HUTY CYNKU I OŁOWIU¹

CZĘŚĆ I. GLEBY

Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

Huty cynku i ołowiu emitują do atmosfery znaczne ilości pyłów, których głównymi składnikami są Zn, Pb i Cd. Pyły zawierające wymienione metale opadają na powierzchnię gleb powodując ich zanieczyszczenie. Proces ten w przypadku wieloletniego oddziaływania emisji prowadzi do kumulowania się metali ciężkich, początkowo w powierzchniowych, a później także w głębszych poziomach gleb.

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem badań było określenie stopnia zanieczyszczenia gleb w pobliżu Kombinatu Górniczo-Hutniczego Bolesław. Uzyskane wyniki miały być pomocne w określeniu sposobu użytkowania i zagospodarowania gruntów rolnych leżących w bliskim sąsiedztwie zakładu.

Badaniami objęto grunty orne położone na terenie obowiązującej strefy ochronnej oraz w jej pobliżu. Na badanym obszarze rozlokowano 55 punktów, które leżały na 14 transektach otaczających promieniście zakład.

W punktach tych, położonych w odległości 0,2–0,3 km od zakładu, pobierano próbki glebowe z warstwy ornopróchnicznej (0–20 cm) i warstwy 25–40 cm. W uzyskanym materiale oznaczono całkowitą zawartość B, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba i Pb metodą spektralnej analizy emisyjnej, stosując spektrograf średniej dyspersji Q—24. W wybranej grupie próbek oznaczono całkowite i rozpuszczalne w 0,1 N HCl zawar-

¹W opracowaniu przedstawiono wybrane wyniki badań przeprowadzonych w latach 1973–1977 w ramach problemu resortowego Min. Rol. nr 401. Oznaczenia chemiczne w ramach tych badań były wykonane w Instytucie Gleboznawstwa i Chemii Rolnej AR w Lublinie oraz Zakładzie Gleboznawstwa JUNG w Puławach.

tości Zn, Pb i Cd metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej. W próbkach glebowych określono ponadto ogólnie przyjętymi metodami: zawartość próchnicy i wapnia, skład mechaniczny oraz pH w 1 N KCl. Otrzymane wyniki opracowano statystycznie według metodyki omówionej szerzej we wcześniejszym opracowaniu [3].

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Kombinat Górniczo-Hutniczy Bolesław zlokalizowany jest w rejonie Olkusko-Bolesławskim. Obszar ten leży w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, na pograniczu Wzgórz Ząbkowicko-Strzemieszyckich, Kotliny Biskupiego Boru i Obniżenia Strukturalnego Pustyni Będowskiej. Zakład otoczony jest gruntami użytkowanymi rolniczo oraz nieużytkami przemysłowymi. Dalsze jego otoczenie stanowią lasy, rozpościerające się od strony północnej, wschodniej i południowej.

Morfologicznie jest to teren dość urozmaicony, lekko pagórkowaty (rzędne 315–360 m n.p.m.), a w miejscach występowania rowu tektonicznego płaski (320 m n.p.m.). W wyniku działalności górniczej i przemysłowej znaczna jego część objęta jest ciągłymi i nieciągłymi przekształceniami mechanicznymi [12].

Obszar badań odznacza się bogatą tektoniką zrębową [2]. Zdyslokowana płyta utworów triasowych omawianego rejonu jest w niewielkim stopniu sfałdowana. W rejonie Starczynowa i Ujkowa Starego wytworzyły się wychodnie dolomitów kruszczośnych w formie poprzemierzanych wysp i kry.

Górotwór tego rejonu tworzą następujące utwory geologiczne: czwartorzęd, trias, perm oraz karbon [2].

Osady czwartorzędowe reprezentowane są przez średnio- i drobnoziarniste piaski oraz lessy z okresu młodszego zlodowacenia. Piaski wypełniają przeważnie depresje terenowe, a ich miąższość dochodzi do 30 i więcej metrów. Lessy spoczywają na utworach triasowych, pokrywają niewielkie wzniesienia. Miąższość czwartorzędu wynosi 0,5–15 m, a na znacznym obszarze nie przekracza 1 m.

Utwory triasu wytworzone są z osadów kajprowych, wapienia muszlowego oraz piaskowca pstrego. Miąższość tych utworów wynosi: kajper — 5–32, wapień muszlowy — 0–81 oraz pstry piaskowiec — 0,28 m [12].

Utwory triasu są w różnym stopniu okruszcowane. Uważa się, że stężenia 0,0–0,4‰ Zn oraz 0,01–0,04‰ Pb stanowią tło geochemiczne tego obszaru [14]. Natomiast stężenia kadmu, który związany jest z rudami cynku w postaci izomorficznej domieszki, wahają się w granicach od ilości klarkowych ($1,3 \cdot 10^{-5}$ ‰) do 250 ppm.

Gleby w badanym rejonie wytworzone zostały z warstw nasypów utworów czwartorzędowych i triasowych. Grunty nasypowe powstały z

piasków (pyłów piaszczystych), rumoszu dolomitów z gliną oraz z glin z rumoszem dolomitów.

Na obszarze tym wyróżnić można trzy typy gleb: rędziny, gleby brunatne i biellicowe. Pierwszy z wymienionych typów reprezentowany jest przez podtyp rędzin brunatnych wytworzonych z wapieni triasowych. Są to rędziny mieszane, o składzie mechanicznym piasków słabo gliniastych, gliniastych lekkich i mocnych oraz glin lekkich. W typie gleb brunatnych przeważa podtyp gleb brunatnych właściwych. Wytworzone one zostały z piasków, ilów, glin. Niektóre z nich są podścielone wapieniami. Sporadycznie, w niewielkich obszarowo skupiskach, spotkać można także podtyp gleb brunatnych kwaśnych i brunatnych wylugowanych. W typie gleb biellicowych wyróżnić należy podtyp gleb biellicowych właściwych, murszastych i torfiastych. W przeważającej większości gleby te wytworzone zostały z piasków.

ZANIECZYSZCZENIE ATMOSFERY²

Zródłem emisji pyłów zawierających metale ciężkie są wydziały hutnicze Kombinatu oraz osadniki i zwałowiska odpadów hutniczych. Roczna emisja zorganizowana pyłów hutniczych w latach 1962–1974 wahała się w granicach 2109–378 ton, wyraźnie malejąc w rozważanym interwale czasowym. W okresie prowadzenia badań zakład wyemitował 620 ton pyłów, w tym 290 ton cynku, 99 ton ołowiu i 6 ton Cd.

Opad pyłu w okresie inwentaryzacji zanieczyszczenia gleb wahał się w promieniu 1,2–6,8 km od Kombinatu w granicach 8,4–14,5 g·m⁻²·m·c⁻¹. Zmienność opadu pyłu, wyrażona współczynnikiem zmienności (V_x), była bardzo wysoka i wynosiła 60–146%. Średni opad Zn na badanym obszarze wynosił 0,103–0,394 g·m⁻²·m·c⁻¹ (V_x — 70 — 147%), a ołowiu — 0,0143–0,0652 g·m⁻²·m·c⁻¹ (V_x — 36 — 115).

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

W badanych glebach stężenia Zn, Pb i Cd (tab. 1) są wyższe od normalnie spotykanych [6]. Mieszczą się one dla Pb i Cd w granicach tła geochemicznego wyznaczonego dla utworów triasu, jedynie w przypadku Zn niejednokrotnie go przewyższają.

Przestrzenne zróżnicowanie zanieczyszczenia Zn i Pb ornej warstwy gleb, w nawiązaniu do geologii terenu, charakteryzują izoplety stężeń

² Opracowano na podstawie danych dostarczonych przez Kombinat.

Tabela 1

Średnie, odchylenia standardowe i mediany całkowitej zawartości
metali ciężkich w glebach, ppm

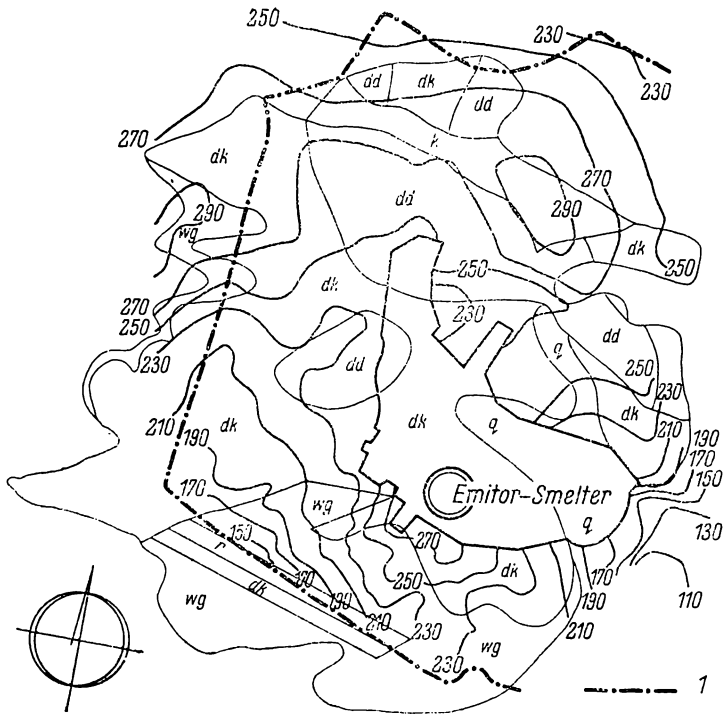
Mean standard deviations and medians of the total content
of heavy metals in soils, ppm

Gatunek Formation kind	Warstwa orna - 0-20 cm Arable layer - 0-20 cm			Warstwa 25-40 cm Layer of 25-40 cm	
	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb
Piasek luźny Loose sand	2084 ± 2330 1550	122 ± 95,9 109,0	/7,8/ ^x	376 ± 299 324	112 ± 80,2 133,0
Piasek słabo gliniasty Weakly loamy sand	1665 ± 1097 1430	161 ± 33,0 174,0	11,1 ± 4,80 9,8	1300 ± 1131 990	173 ± 67,6 183,0
Piasek gliniasty lekki Light loamy sand	4100 ± 2376 4400	232 ± 36,5 227,5	/15,5/	2261 ± 2136 1500	195 ± 53,0 196,0
Piasek gliniasty mocny Heavy loamy sand	5567 ± 3198 4500	242 ± 43,8 253,0	22,7 ± 11,2 28,6	3486 ± 2748 1360	/260/
Gлина lekka Light loam	4700 ± 2617 4000	265 ± 62,9 250,0	28,4 ± 3,30 29,2	2370 ± 2587 1900	226 ± 78,6 210,0
Gлина średnia Medium loam	-	-	-	4220 ± 3453 5800	252 ± 88,4 270,0
Gлина średnia pylasta Medium silty loam	-	-	-	/3600/	/205/
Gлина ciężka Heavy loam	-	-	-	/4000/	/270/
Utwór pyłowy zwykły Common silty formation	-	-	-	7010 ± 4224 8500	256 ± 147 270,0
Ił - Clay	-	-	-	5475 ± 3076 4250	365 ± 142 320,0

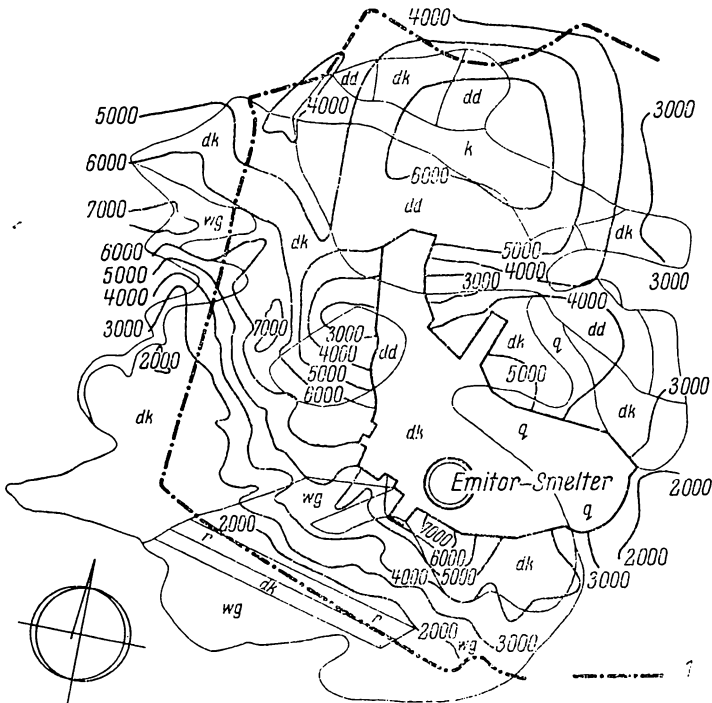
^x - Jedna próbka - One sample

tych pierwiastków (rys. 1 i 2)³. Uzyskany obraz ich przebiegu jest wyraźnie policentryczny. Odbiega on od otrzymanego przez Roberta i in. [9] dość regularnie koncentrycznego rozmieszczenia wokół emitora izoplet stężeń Pb w glebie. Ze względu na zastosowaną przez tych autorów metodę (próbki gleb z warstwy 0-2 cm, odległość od emitora do 400 m) taki właśnie ich układ należy uznać za prawidłowy w przypadku wyłącznego, a przy tym bardzo silnego oddziaływania emitora. Porównanie obu wyników nasuwa więc wniosek, że zmodyfikowany układ izoplet, odnotowany w rejonie badań, mógł powstać także pod wpływem innych czynników niż oddziaływanie emisji pyłów.

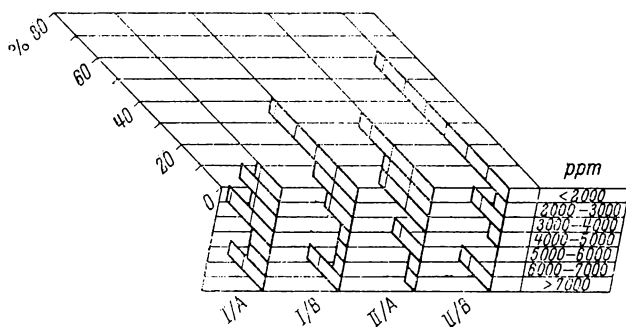
³ Widniejące na mapkach izoplety należy traktować jako wyidealizowaną ilustrację badanego zjawiska, którą otrzymano po częściowym wyeliminowaniu wpływu zróżnicowania właściwości gleb na akumulację w nich cynku i ołowiu.



Rys. 1. Izoplety całkowitej zawartości cynku w warstwie ornej gleb (ppm)
 q — czwartorzęd, k — kajper, dd — dolomity depolorowe, dk — dolomity kruszczośne, wg —
 wapień gogolińskie, r — ret, 1 — granica strefy ochronnej
 Isoplethes of the total zinc content in the areable layer of soils (ppm)
 q — Quaternary, k — Kajper, dd — deplporic dolomites, dk — orebearing dolomites, wg —
 Gogolin limestones, r — Ret, 1 — protection zone border



Rys. 2. Izoplety całkowitej zawartości ołowiu w warstwie ornej gleb (ppm)
 objaśnienia jak w rys. 1
 Isoplethes of the total lead content in the areable layer of soils (ppm)
 explanations — an in Fig. 1

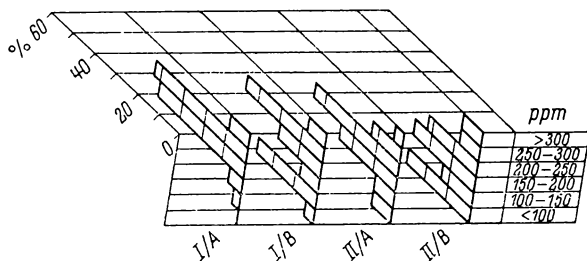


Rys. 3. Frekwencja gleb o całkowitej zawartości cynku leżącej w przyjętych przedziałach stężeń

I — utwory nawapienne: A — poziom 0–20 cm, B — poziom 25–40 cm; II — utwory zalegające na innych skałach: A — poziom 0–20 cm, B — poziom 25–40 cm

Frequency of soils with the total zinc content lying within the concentration intervals assumed

I — formations on limestone: A — 0–20 cm layer, B — 25–40 cm layer; II — formations lying on other rocks: A — 0–20 cm layer, B — 25–40 cm Layer



Rys. 4. Frekwencja gleb o całkowitej zawartości ołowiu, leżącej w przyjętych przedziałach stężeń

objaśnienia jak na rys. 3

Frequency of soils with the total lead content lying within the concentration intervals assumed

explanations — as in Fig. 3

W związku z występowaniem na badanym obszarze wychodni utworów triasu lub płytkim ich zaleganiem przede wszystkim przystąpiono do sprawdzenia, czy gleby położone na różnych utworach geologicznych odznaczają się istotnie różną zawartością Zn i Pb. Do testowania wybrano trzy grupy gleb. Dwie pierwsze zalegały na silnie okruszczowanych dolomitach i umiarkowanie okruszczowanych wapieniach gogoliń-

skich. W skład trzeciej grupy wchodziły próbki gleb pobrane w miejscach o dobrze wykształconym, głębokim czwartorzędzie. Jak przypuszczano, gleby te mogły być w różny sposób narażone na ewentualne oddziaływanie złoza. Oczekiwano więc, że będą się one różniły zawartością Zn i Pb.

Przeprowadzone analizy wariancji nie potwierdziły tego założenia. Istotnych statystycznie różnic w koncentracji omawianych pierwiastków nie stwierdzono ani w warstwie ornej, ani też w warstwie 25–40 cm. Wynik ten uznano mimo to za niedostatecznie miarodajny, aby można było sądzić, że budowa geologiczna badanego obszaru nie miała wpływu na zawartość cynku i ołowiu w glebach. Przeprowadzona bowiem analiza nie uwzględniała różnic w stopniu narażenia badanych grup gleb na oddziaływanie emitora, które mogło zatrzeć pierwotny wpływ podłoża geologicznego.

W kolejnej analizie zastosowano więc bardziej zobiektywizowany podział gleb na dwie grupy. W pierwszej z nich znalazły się te gleby, które wytworzone zostały z wapieni bądź też na nich zalegają. Do drugiej grupy zakwalifikowano gleby wytworzone z innych utworów geologicznych. Już wstępne porównanie wykazało, że grupy te różnią się pod względem zawartości Zn i Pb (rys. 3 i 4). Zróznicowanie to nie było bezpośrednio związane ze zmiennym poziomem zasobności gleb w Ca. Analiza regresji wykazała bowiem, że koncentracja Zn i Pb w badanych glebach nie jest istotnie skorelowana z zawartością Ca. W tej sytuacji dalszy tok postępowania ukierunkowany został na otrzymanie informacji, czy istnieją uzasadnione powody, aby przypuszczać, że wyższa zawartość Zn i Pb w glebach pierwszej grupy wiąże się z wpływem podłoża geologicznego.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że różnice w zawartości Zn i Pb w warstwie ornej zbadanych gleb są istotne. Odmiennie w obu grupach zawartości próchnicy, części spławialnych, ładu koloidalnego oraz odległości pobrania próbek od emitora nie wpłynęły na powstanie tych różnic. Badane gleby należą do tej samej populacji statystycznej pod względem tych cech. Różnicuje je natomiast odczyn, który nawet przy jednakowym oddziaływaniu imisji mógł zmodyfikować ilość akumulującego się w nich Zn i Pb. W podglebiu obu grup zawartość cynku jest istotnie zróznicowana. Zjawisko to mogło być wywołane odmiennym odczynem i zawartością w nich ładu koloidalnego [1]. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że obie grupy gleb należą do tej samej populacji statystycznej pod względem zawartości ołowiu w warstwie 25–40 cm.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że oddziaływania podłoża geologicznego na zawartość Zn i Pb w badanych glebach nie sposób wykazać zastosowaną metodą. Możliwości wnioskowania w oparciu o zastosowany test statystyczny są ograniczone ze względu na różnicujący wpływ niektórych właściwości gleb na zawartość Zn i Pb.

Wpływ niektórych właściwości gleb na zawartość w nich Zn, Pb i Cd rozpatrywano metodą analizy regresji. Odnotowane statystycznie istotne zależności między całkowitą koncentracją Zn i Pb w glebie a zawartością pyłu drobnego i średniego, części spławialnych, iłu koloidalnego i odczynem (tab. 2) zgodne są z wynikami otrzymanymi przez innych auto-

T a b e l a 2

Korelacja prosta między wybranymi właściwościami gleb /x/
a całkowitą zawartością cynku, ołowiu i kadmu /y/
Simple correlation between chosen soil properties /x/
and the total zinc, lead and cadmium content /y/

Zmienna zależna - y - Dependent variable - y Zmienna niezależna - x - Independent variable - x	Zn	Pb	Cd
Zawartość próchnicy w % Humus content in %	$\frac{0,324^{*}}{.}$	$\frac{0,426^{**}}{.}$	$\frac{./}{n.o.}$
pH w 1 N KCl - pH in 1 N KCl	$\frac{.}{.}$	$\frac{0,427^{**}}{0,300^{*}}$	$\frac{./}{n.o.}$
Pył drobny i średni w % Fine and medium silt in %	$\frac{0,278^{**}}{0,414^{**}}$	$\frac{0,368^{**}}{.}$	$\frac{./}{n.o.}$
Części spławialne w % Clay and silt particles in %	$\frac{0,475^{**}}{0,436^{**}}$	$\frac{0,538^{**}}{0,674^{**}}$	$\frac{0,728^{**}}{n.o.}$
Ił koloidalny w % Colloidal clay in %	$\frac{.}{.}$	$\frac{0,440^{**}}{0,495^{**}}$	$\frac{0,707^{**}}{n.o.}$
	Zn	$\frac{0,654^{**}}{0,590}$	$\frac{0,960^{**}}{n.o.}$
		Pb	$\frac{0,533^{*}}{n.o.}$
			Cd
<p>* - korelacja istotna na poziomie $\alpha = 0,05$ significant correlation at the level of $\alpha = 0,05$</p> <p>** - korelacja istotna na poziomie $\alpha = 0,01$ significant correlation at the level of $\alpha = 0,01$</p> <p>. - korelacja nieistotna dla przyjętych poziomów non-significant correlation for the levels assumed</p> <p>- próbki gleb pobrano z głębokości $\frac{0 - 20}{25 - 40}$ cm; n = 53 /n = 15/ soil samples taken from the depth of $\frac{0 - 20}{25 - 40}$ cm; n = 53 /n = 15/</p> <p>- n.o. = unidentified</p>			

rów [1]. Na uwagę zasługuje występowanie istotnej korelacji dodatniej między koncentracją Zn i Pb w warstwie ornej gleb a zawartością w niej próchnicy. Zależności tego typu na ogół nie stwierdzano dla Pb [1, 11]. Zawartość rozpuszczalnych frakcji Pb w warstwie ornopróchnicz-

Tabela 3

Korelacja prosta między wybranymi właściwościami gleb /0-20 cm/
a zawartością w nich rozpuszczalnego w 0,1 N HCl cynku, ołowiu i kadmu
Simple correlation between chosen properties of soils /0-20 cm/
and the content in it of zinc, lead and cadmium soluble in 0,1 N HCl

Zmienna zależna - y - Dependent variable - y Zmienna niezależna - x - Independent variable - x	Zn	Pb	Cd
Zawartość w próchnicy w % Humus content in %	0,656 ^{xx}	.	0,670 ^x
pH w 1 N KCl - pH in 1 N KCl	.	.	.
Pył drobnny i średni w % Fine and medium silt in %	.	.	.
Części sypkawe w % Clay and silt particles in %	0,602 ^x	.	0,783 ^{xx}
Ił koloidalny w % Colloidal clay in %	.	.	0,626 ^{xx}
	Zn	0,619 ^{xx}	0,883 ^x
		Pb	.
			Cd

^x - korelacja istotna na poziomie $\alpha = 0,05$
significant correlation at the level of $\alpha = 0,05$
^{xx} - korelacja istotna na poziomie $\alpha = 0,01$
significant correlation at the level of $\alpha = 0,01$
• - korelacja nieistotna dla przyjętych poziomów
non-significant correlation for the levels assumed
n = 15

nej nie jest w sposób istotny zależna od żadnej z uwzględnionych właściwości gleb (tab. 3). Wynik ten jest zgodny z danymi opublikowanymi przez Silla m p ä ä [11], pozostając w sprzeczności z rozbieżnymi tendencjami zaobserwowanymi przez innych autorów [7, 10]. Stężenia rozpuszczalnych frakcji Zn rosną wraz ze wzrostem zawartości próchnicy i części sypkawych, a w przypadku Cd dodatkowo wraz ze wzrostem zawartości iltu koloidalnego.

Koncentracje Zn w warstwie ornej i podglebiu są istotnie ze sobą skorelowane ($r = 0,437^{xx}$). Związku takiego nie notowano dla ołowiu. John i in. [4] stwierdzili istotną korelację wyłącznie między zawartością Zn i Cd w przebadanych warstwach gleb (0-5 cm i 5-10 cm). Przy czym także w ich badaniach zawartość Zn w poziomie powierzchniowym i głębszym były skorelowane ($r = 0,653^{xx}$). Związku takiego nie wykryto w przypadku Pb, co jest zbliżone z analogicznymi wynikami uzyskanymi dla poziomów 0-20 cm i 25-40 cm gleb rejonu badań.

Ska w i n a i in. [12] badając gleby łąkowe leżące w pobliżu KGH

Bolesław ustalili, że zawartość Zn, Pb i Cd maleją wraz z głębokością profilu glebowego. Takie rozmieszczenie tych pierwiastków jest ich zdaniem wynikiem wpływu czynników nie związanych z podłożem gleby. Najprawdopodobniej powstało ono wskutek opadu pyłów zawierających te metale.

Pełne scharakteryzowanie wpływu pyłów na skład chemiczny gleb tego rejonu jest niemożliwe ze względu na brak kompletnych danych na temat opadu pyłu (OP) w okresie od uruchamiania części hutniczej Kombinatoru do chwili podjęcia badań. Opierając się na istniejących danych⁴ oraz sporządzonych mapkach (rys. 1 i 2) stwierdzono, że istnieje związek między notowanym w rejonie zakładu opadem pyłu a zawartością Zn i Pb w warstwie ornej badanych gleb. Miarą tego związku są otrzymane współczynniki korelacji prostej $r = 0,386$ ($m_r = 0,049$) dla Zn oraz $r = 0,608$ ($m_r = 0,037$) dla Pb⁵. Określenie tych zależności możliwe było po przyjęciu założenia, że OP od uruchomienia zakładu do chwili podjęcia badań był równy opadowi stwierdzonemu w okresie pomiarowym. Założenie takie jest oczywiście daleko idącym uproszczeniem choćby tylko z tego względu, że emisja pyłów hutniczych (a więc także OP) była w przeszłości wyższa niż w chwili badań. Na przykład w 1962 r. emisja pyłu wynosiła 2109 ton, a w 1973 r. już tylko 620 ton. Uzyskany wynik należy więc traktować jako pewne przybliżenie, niższe raczej w stosunku do wartości, które prawdopodobnie otrzymano by po uwzględnieniu pełnych danych. Mając to na uwadze w dalszych rozważaniach OP zastępowano innym czynnikiem, który obiektywniej w tej sytuacji charakteryzował stopień narażenia gleb na zanieczyszczenia. Była nim odległość pobrania próbek glebowych od emitora.

Przedstawione do tej pory wyniki charakteryzowały indywidualny wpływ analizowanych czynników (podłoża właściwości poszczególnych utworów glebowych, opadu pyłu) na wytworzenie się zarejestrowanego stanu zanieczyszczenia gleb. Kompleksowe ujęcie wpływu emisji i właściwości gleb na akumulację Zn i Pb starano się uzyskać za pomocą analizy regresji wielorakiej krzywoliniowej. Obliczenia wykonano metodą kolejnych przybliżeń, opracowaną przez Ezekeiela i Foksa [8]. Zaletą tej metody jest to, że nie wymaga ona założenia na wstępie określonych postaci równań regresji dla uwzględnionych zmiennych. Polega ona bowiem na sukcesywnym „dopasowywaniu” cząstkowych krzywych regresji z uwzględnieniem odchylenia punktów od linii regresji kolejnych przybliżeń. Zastosowanie tej metody do opracowania posiadanych wyników wykluczyło możliwość utraty informacji wskutek założenia przy-

⁴ Mapa Op opracowana przez Zespół Gospodarki Rolno-Leśnej ds. Ochrony Środowiska Rejonu Olkuskiego na podstawie pomiarów wykonanych przez Kombinator w latach 1969–1973.

⁵ m_r — średni błąd standardowy współczynnika korelacji, liczebność wziętej pod uwagę populacji danych — $n = 300$.

blizonych analitycznych postaci poszczególnych zależności (np. liniowych — jak w tab. 2 i 3). Takie podejście wydało się szczególnie korzystne ze względu na istniejące różnice poglądów co do charakteru zależności między poszczególnymi czynnikami uwzględnionymi w analizie [1, 7, 10, 11, 13].

Stan zanieczyszczenia warstwy ornej gleb Zn i Pb rozpatrywano w zależności od: odległości pobrania próbek od emitora, zawartości próchnicy, iłu koloidalnego oraz pH (w KCl). Akumulację omawianych pierwiastków w poziomie glebowym (25–40 cm) analizowano z uwzględnieniem koncentracji Zn i Pb w warstwie ornej, zawartości iłu koloidalnego oraz pH. W przyjętym układzie zanieczyszczenie gleb Zn i Pb jest więc rozważane na tle zmiennych właściwości fizycznych i chemicznych gleb, z uwzględnieniem natężenia oddziaływania zanieczyszczeń. Ostatni z wymienionych czynników wyrażono odległością pobrania próbek od źródła emisji (warstwa 0–20 cm) lub stanem zanieczyszczenia warstwy ornej.

Scisłość zależności między zawartością Zn i Pb w badanych warstwach gleb a zespołem analizowanych cech określają wartości indeksów korelacji i determinacji (tab. 4). Jest to miara związku analogiczna do współczynników korelacji i determinacji, z tym, że przy jej obliczaniu nie obowiązuje założenie o prostoliniowości regresji [8]. Z uzyskanych danych wynika (tab. 4), że wzięte do analizy zmienne tłumaczą 35,6⁰/₀

Tabela 4

Indeksy korelacji wielorakiej /I/, determinacji wielorakiej /I²/
oraz błędy standardowe oceny /S/
Indices of multiple correlation /I/, multiple determination /I²/
and estimation standard errors /S/

Metoda wykonania obliczeń Method of execution of calculations	Parametry Parameters	Warstwa orna 0–20 cm Arable layer 0–20 cm		Warstwa 25–40 cm Layer of 25–40 cm	
		Zn	Pb	Zn	Pb
Kolejnych przybliżeń	I	0,597	0,755	0,725	0,829
	I ²	0,356	0,571	0,525	0,687
	S	2,118	33,51	1934	54,66

S — w ppm, in ppm

zmienności koncentracji Zn oraz 57,12⁰/₀ zmienności stężenia Pb w warstwie ornej gleb. Uwzględnione dla poziomu głębszego czynniki wyjaśniają odpowiednio: 52,5⁰/₀ zmienności zawartości Zn oraz 68,7⁰/₀ zmienności wykrywanych ilości Pb. Niższe wartości tych wskaźników uzyskane dla warstwy ornej gleb, w przypadku obu branych pod uwagę pierwiastków, wynikają z tego, że warstwa ta narażona jest silniej niż podglebie na działanie różnych czynników nie uwzględnionych w analizie (lokalny

* I². 100%.

wpływ zwałowisk odpadów, uprawa mechaniczna gleb itp.). Wyższe w porównaniu z Zn wartości tych wskaźników dla Pb są odzwierciedleniem różnic w migracji obu pierwiastków w głąb profilu glebowego. Otrzymane indeksy korelacji są wyższe od współczynników korelacji prostej, uzyskanych w analizie regresji między zanieczyszczeniem warstwy ornej a opadem pyłu (Zn — $I=0,597$, $r=0,386$; Pb — $I=0,755$, $r=0,608$).

Na podstawie przedstawionych wyników należy sądzić, że rozpatrywany w podany sposób wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez zakład na zanieczyszczenie gleb Zn i Pb jest silny. Gdyby nawet nie objaśnioną regresją zmienność koncentracji tych pierwiastków przypisać oddziaływaniu złoza, to i tak imisja pyłów współdecydowałaby lub decydowała o zanieczyszczeniu gleb tego obszaru.

Omawiane zależności dla obu wymienionych pierwiastków mają charakter krzywoliniowy. W przedziale uwzględnionych odległości (0,2–3,0 km) zawartość Zn maleje o 45,2%, natomiast Pb — o 19,7%. Układ taki wytworzył się przypuszczalnie wskutek różnej dyspersji pyłów Zn i Pb. Szybsze opadanie grubszych cząstek Zn i jego związków wpłynęło na wystąpienie różnic w rozplywie i zasięgu zanieczyszczeń [5, 12].

Koncentracja Zn w warstwie 25–40 cm, rozpatrywana w zależności od zawartości pierwiastka w warstwie ornej (przy stałym poziomie innych czynników), rośnie prawie liniowo. Oszacowane stężenia tego pierwiastka w podglebiu są we wszystkich przypadkach niższe niż jego rzeczywiste zawartości w powierzchniowej warstwie gleby. Uwzględnienie poprawek na działanie pozostałych czynników (zawartość łu koloidalnego, odczyn) różnicuje wartość otrzymanych oszacowań. W sposób nieco odmienny, w porównaniu z Zn, zarysowały się tendencje odnotowane dla Pb. Oszacowane koncentracje tego pierwiastka w warstwie 25–40 cm przewyższają rzeczywiste zawartości ołowiu w powierzchniowej warstwie gleby, wtedy gdy te ostatnie mieszczą się w przedziałach od 100 do 180 ppm oraz od 290 do 390 ppm. Przy stężeniach Pb, wahających się w warstwie ornej w granicach od 190 do 280 ppm, odpowiadające tym wartościom oszacowania zawartości Pb w podglebiu są niższe względem danych wyjściowych. Tylko w tym zakresie stężeń istnieje zgodność z tendencjami odnotowanymi dla Zn.

Uwzględnienie poprawek na właściwości gleb różnicuje silniej wartości oszacowań zawartości Pb niż Zn. Znajduje to pełne potwierdzenie we wcześniej otrzymanych wynikach, które wskazywały na istnienie silniejszych związków między akumulacją ołowiu a właściwościami gleb (tab. 2).

Przedstawione omówienie wyników analiz statystycznych nie tłumaczy mechanizmu powstania różnic w zachowaniu się Zn i Pb w glebach rejonu badań. Wydaje się, że wytworzyły się one wskutek zanieczyszczenia gleb wyraźnie zróżnicowanymi ilościami tych pierwiastków. Bardzo wysoki opad Zn przy aktywnej migracji tego pierwiastka i słabszym

wiązaniu go przez sorpcyjny kompleks gleb wpłynął przypuszczalnie na silniejsze przemieszczanie tego metalu w głąb profilu (poza badane warstwy gleby). Obciążenie gleb Pb było mniejsze, jednakże na tyle znaczne, że przy mniej aktywnej migracji i znacznym powinowactwie tego pierwiastka do wiązania się z kompleksem sorpcyjnym był on akumulowany w warstwie ornej. Wyługowane z tego poziomu ilości Pb gromadziły się w warstwie głębszej.

Oszacowanie zawartości Cd w glebach było niemożliwe w oparciu o analizę regresji wielokrotnej krzywoliniowej ze względu na małą ilość oznaczeń ($n = 15$). Stwierdzono jednak, że zawartość tego metalu jest istotnie skorelowana z koncentracją cynku w glebie ($r = 0,960^{**}$). Szacowanie całkowitych zawartości kadmu w warstwie ornej (ppm) jest więc możliwe przy wykorzystaniu równania regresji liniowej: $Y = 1,5122 + 0,053x$, gdzie x — całkowita koncentracja cynku w warstwie ornej w ppm.

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ ORAZ WNIOSKI

1. Zawartość metali emitowanych przez hutę wynosiła w warstwie ornej gleb. 1665–5567 ppm Zn, 122–265 ppm Pb oraz 11,1–28,4 ppm Cd; w podglebiu stężenia dwóch pierwszych pierwiastków mieściły się w przedziałach: 376–7010 ppm Zn, 112–365 ppm Pb.

2. Przestrzenne zróżnicowanie zawartości Zn i Pb w warstwie ornej gleb pozostaje w związku z opadem pyłu notowanym w okresie badań. Współczynniki korelacji prostej między wymienionymi zmiennymi wynoszą: $r = 0,386$ dla Zn oraz $r = 0,608$ dla Pb.

3. Regresja wieloraka krzywoliniowa, w której uwzględniono takie zmienne niezależne, jak odległość miejsca pobrania próbek glebowych od zakładu, zawartość w nich próchnicy, iłu koloidalnego oraz pH, tłumaczy 36% zmienności koncentracji Zn oraz 57% stężenia Pb w warstwie ornej gleb.

4. Stężenie Zn i Pb w warstwie ornej, zawartość iłu koloidalnego oraz pH, wprowadzone jako zmienne niezależne do regresji wielorakiej krzywoliniowej, tłumaczą 52% zmienności zawartości Zn oraz 69% zmienności zawartości Pb w warstwie 25–40 cm.

5. Całkowite zawartości Cd w warstwie ornej gleb są wysoce istotnie skorelowane ($r = 0,960$) z zawartością w niej Zn.

6. Wpływ utworów geologicznych na akumulację Zn, Pb i Cd w glebach został zakłócony przez przekształcenia geomechaniczne (wielowiekowa eksploatacja rud) oraz emisję zanieczyszczeń. Działalność emisyjna zakładu, rozpatrywana na tle właściwości fizycznych i chemicznych gleb, tłumaczy od 36 do 69% zmienności zawartości Zn i Pb w badanych warstwach gleby.

LITERATURA

- [1] Baran S.: Akumulacja Pb, Zn, Cu, Mn, B i Sr w wybranych elementach środowiska przyrodniczego objętego oddziaływaniem huty cynku. Praca doktorska (AR Lublin 1974).
- [2] Ekiert F.: Złoże kopalni Bolesław na tle geologii obszaru pomiędzy Sławkowem i Olkuszem. Biul. Inst. Geol., Warszawa 1959.
- [3] Faber A.: Zanieczyszczanie gleb i roślin w strefie oddziaływania emisji huty cynku „Bolesław”. Praca doktorska, IUNG Puławy 1979.
- [4] John M. K., Van Laerhoven C. J., Cross Ch. H.: Cadmium, lead and zinc accumulation in soil near a smelter complex. Environ Letters 10, 1975, 25.
- [5] Kaźmierczakowa R.: Correlation between the amount of industrial dust fall and the lead and zinc accumulation in some plant species. Biul. Acad. Polon. Sci. 23, 1975, 611.
- [6] Klocke A.: Blei-Zink-Cadmium Aureicherung in Böden und Pflanzen. Staub-Reinhult. Luft 34, 1974, 18.
- [7] Mac Lean A. J., Halstead R. L., Finn B. J.: Extractability of added lead in soil and its concentration in plants. Cam. J. Soil Sci. 49, 1969, 327.
- [8] Marszałkiewicz T.: Zastosowanie korelacji do badania efektywności nakładów na produkcję roślinną. PWE, Warszawa 1963.
- [9] Roberts T. M., Gizyn W., Hutchinson T. C.: Lead contamination of air, soil, vegetation and people in the vicinity of secondary lead smelters. "Trace Substances in Environmental Health — VIII". A Symp. Univ. Missouri, Columbia 1974, 155.
- [10] Roszyk E.: Lead in some very fine sandy soils of the Lower Silesia. Roczn. glebozn. 19 (dodat.), 1968, 123.
- [11] Sillampää M.: Trace elements in Finnish soils as related to soil texture and organic matter content. Journ. Sci. Agric. Soc. Finland, 34, 1962, 34.
- [12] Skawina T. i in.: Badanie wpływu eksploatacji górniczej i odwadniania na zachowanie się powierzchni terenu celem opracowania zasad kompleksowej ochrony. AGH Kraków 1975 (maszynopis).
- [13] Soldatini G. F., Riffaldi R., Levi-Minzi R.: Pb adsorption by soil. Water, Air, Soil Pollut. 6, 1976, 11 (Part II, 119).
- [14] Śliwiński S.: Rozwój dolomitów kruszczoonych w Obszarze Krakowsko-Śląskim. Prace Geolog. 57, Wyd. Geolog., Warszawa 1969.

А. ФАБЕР, Я. НЕЗГОДА

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ И КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ВБЛИЗИ
ЦИНКОПЛАВИЛЬНОГО И СВИНЦОВОПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА
Часть 1-я. Почвы.

Институт агротехники, удобрения и почвоведения в Пулавах.

Резюме

В районе цинкоплавильного и свинцовоплавильного заводов, расположенных на рудоносной территории, изучали загрязнение почв Zn, Pb и Cd. В пахотном слое (0–20 см) исследованных почв было обнаружено: 1656–5587 ppm (мг на кг) Zn, 122–285 ppm Pb и 11,1–28,4 ppm Cd. В слое 25–40 см обнаружено 376–7010 ppm Zn и 112–365 ppm Pb. Эмитированная заводская пыль и свойства почв оказывали сильное влияние на состояние (величину) загрязнения почв исследованными химическими элементами.

A. FABER, J. NIEZGODA

CONTAMINATION OF SOILS AND PLANTS IN THE VICINITY
OF THE ZINC AND LEAD SMELTER
PART I. SOILSInstitute of Soil Science and Clutivation
of Plants at Puławy

Summary

In the region of the zinc and lead smelter located on the ore-bearing area, investigations on soil contamination with Zn, Pb and Cd were carried out. In the arable layer (0–20 cm) of the soils investigated 1656–5567 ppm of Zn, 122–265 ppm of Pb and 11.1–28.4 ppm of Cd were found. In the layer of 25–40 cm 376–7010 ppm of Zn and 112–365 ppm of Pb were detected. The immission of metallurgic dusts and the soil properties exerted a strong effect on the contamination state of soils with the elements investigated.

Dr hab. Antoni Faber
Osada Pałacowa — IUNG
24-100 Puławy

