

Waldemar Martyn*, Bożena Niemczuk**

**ZAWARTOŚĆ ŻELAZA I GLINU W PROFILACH GLEB RDZAWYCH
RÓŻNIE UŻYTKOWANYCH**

**CONTENT OF IRON AND ALUMINIUM IN THE PROFILES OF
VARIOUSLY UTILIZED RUSTY SOILS**

Słowa kluczowe: żelazo, glin, gleba rdzawa, sposób użytkowania.

Key words: iron, aluminium, rusty soil, the way in which soils are utilized.

The aim of the study was to analyze a content and distribution of iron (Fe) and aluminium (Al) in the profiles of variously utilized rusty soils (forest, arable soils).

Analyzed rusty soils were characterized by a low content of iron. In soils profiles examined the highest total content of iron and aluminium was found in the enrichment layer of both arable and forest rusty soils. It concerned their forms soluble in 20% HCl and in 1 mol·dm⁻³ extractable iron.

The way in which soils were utilized has not affected significantly the content of both analyzed elements, however, it was the arable soils, that displayed a higher content of iron and aluminium. Ratios of displacement of aluminum and iron in rusty forest soils were higher than in analogous arable soils.

1. WPROWADZENIE

Żelazo i glin uważane są za ważne wskaźniki glebotwórcze. Układ i rozmieszczenie form żelaza i glinu w profilach jest wskaźnikiem zachodzenia oraz nasilenia procesów rdzawie-

* *Prof. dr hab. Waldemar Martyn – Instytut Przyrodniczo-Matematyczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Zamościu, ul Akademicka 8, 22-400 Zamość; tel.: 84 638 34 44; e-mail: rektorat@pwszamosc.pl; Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Wydział Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Szczębrzeska 102, 22-400 Zamość; tel.: 84 677 27 47; fax 84 636 90 39; e-mail: walmart@op.pl*

** *Bożena Niemczuk – Instytut Przyrodniczo-Matematyczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Zamościu, ul. Akademicka 8, 22-400 Zamość; tel.: 84 638 39 44; 602 528 905; ; e-mail: rektorat@pwszamosc.pl*

nia, bielcowania oraz płowienia. Specyficzna barwa, zależna od stopnia utlenienia żelaza, umożliwia rozpoznanie przemian zachodzących w środowisku glebowym. Barwa jest też jedną z cech stanowiących podstawę do wyróżnienia poziomów diagnostycznych i określenia kierunku zachodzenia procesu gleboznawczego. Zagadnieniem dotyczącym roli żelaza i glinu w procesach pedogenicznych interesowało się wielu badaczy [Bednarek 1991, Chojnicki 2004, Frankowski i Siepak 2011, Janowska 2001, Janowska i in. 2002, Raczuk 2001, Zagórski 2001, Zwydak 2001]. Wszyscy oni zwracają uwagę na ścisły związek występowania różnych form żelaza z przebiegiem odmiennych procesów glebotwórczych.

Żelazo jest jednym z najbardziej mobilnych pierwiastków w glebie, a stopień jego ruchliwości zmienia się wraz ze zmianą warunków środowiskowych. Organiczne połączenia żelaza zwiększają na ogół jego ruchliwość. Rozmieszczenie tego pierwiastka w profilu glebowym oraz rodzaj jego tlenków i wodorotlenków, które decydują o zabarwieniu, stanowią podstawowe wskaźniki do charakterystyki właściwości gleb [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Glin może występować w formie rozpuszczalnej lub nierozpuszczalnej. W zależności od wartości pH gleby może przybierać postać kationu, anionu bądź cząsteczki obojętnej. Formy kationowe glinu, zwane ruchomymi lub wolnymi, uczestniczą w procesach kształtujących podstawowe właściwości środowiska glebowego [Gworek 2006]. Gleby, które charakteryzuje odczyn bardzo kwaśny oraz duża zawartość minerałów ilastych są potencjalnym miejscem występowania glinu. Obecność glinu w glebie decyduje również o jej dużej pojemności sorpcyjnej. Glin jest uważany za ważny element stabilizujący strukturę organiczno-mineralną gleby. Jest w tym względzie antagonistą w stosunku do niskiego pH oraz obecności metali ciężkich w glebach, które sprzyjają destrukcji tej struktury [Badora 2002, Bezak-Mazur 2003, Gruba 2004, Pieprzka 2010, Walna i in. 2005].

Celem pracy była ocena zawartości oraz rozmieszczenia żelaza (Fe) i glinu (Al) w profilach gleb rdzawych leśnych i uprawnych.

2. MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na glebach rdzawych występujących w Kotlinie Sandomierskiej. Pobrane próbki pochodziły z 10 profili: 5 profili gleb leśnych i 5 profili gleb uprawnych.

W próbach glebowych oznaczono według ogólnie przyjętych metod w gleboznawstwie podstawowe właściwości fizyczne, chemiczne i fizykochemiczne. Po ich mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów (azotowego i nadchlorowego w stosunku 1:1) oznaczono zbliżoną do całkowitej zawartość żelaza i glinu, metodą F–AAS. Zawartość Fe i Al rozpuszczalnego w roztworze 1 mol HCl·dm⁻³ oznaczono metodą Rinkisa [IUNG 1985]. Formy Fe i Al w wyciągu 20% HCl oznaczono metodą ICP (metoda Giedrojcja) [IUNG 1980]. Zawartość składników rozpuszczalnych w 20% HCl (potencjalnie przyswajalnych dla roślin) przyjęto jako miarę zasobności siedlisk wpływających na żyzność gleb [Szafranek 2000, Degórski 2002].

Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu STATISTICA 6.0. Obliczono korelację Pearsona. Istotność różnic szacowano na poziomie istotności $p = 0,05$. W niniejszej pracy pominięto charakterystykę analizowanej gleby, która zawarta jest w pracy Wójcikowskiej-Kapusty i Niemczuk [2010].

3. WYNIK BADAŃ

3.1. Zawartość żelaza

Całkowita zawartość żelaza w poziomach próchnicznych gleb leśnych mieściła się w przedziale $0,75\text{--}1,66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, średnio zaś wynosiła $1,21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Poziomy rdzawienia były bogatsze w żelazo, a jego zawartość wahała się w granicach $1,58\text{--}2,90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy średniej zawartości $2,10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. W skale macierzystej zawartość żelaza sięgała średnio $0,76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i była najmniejsza spośród zawartości żelaza w analizowanych poziomach (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość żelaza całkowitego oraz rozpuszczalnego w 1 mol i 20% HCl w profilach gleb rdzawych w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1. Content of total iron and iron soluble in 1 mol and 20% HCl in the profiles of rusty soils in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

Właściwości	Poziom genetyczny								
	A			Bv			C		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LAS									
Minimum	0,75	0,22	0,51	1,58	0,49	1,17	0,50	0,09	0,35
Maksimum	1,66	0,58	1,01	2,90	1,20	2,17	1,07	0,27	0,70
Średnia	1,21	0,44	0,81	2,10	0,78	1,53	0,76	0,14	0,54
Odchylenie standardowe	0,33	0,16	0,20	0,51	0,30	0,38	0,22	0,07	0,16
POLE									
Minimum	1,02	0,44	0,73	1,57	0,58	1,20	0,63	0,05	0,45
Maksimum	2,37	0,67	1,67	2,89	1,32	1,94	1,34	0,20	0,92
Średnia	1,60	0,52	1,11	2,30	0,82	1,62	0,84	0,13	0,59
Odchylenie standardowe	0,56	0,09	0,42	0,55	0,30	0,36	0,29	0,07	0,19
NIR dotyczący sposobów użytkowania	I	2,7							
	II	2,3							
	III	1,18							
NIR dotyczący poziomów	I	2,7							
	II	2,3*							
	III	1,18							

Objaśnienia: I – Fe – zawartość całkowita, II – Fe rozpuszczalne w 1 mol HCl·dm⁻³, III – Fe rozpuszczalne w 20% HCl, *Istotne przy $p\leq 0,05$, **Istotne przy $p\leq 0,01$.

Zawartość żelaza w poszczególnych poziomach gleb uprawnych wahała się – w poziomach Ap wynosiła średnio $1,60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, w poziomach Bt $2,30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ i w poziomach C $0,84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wartości te były większe niż stwierdzone w analogicznych poziomach gleb leśnych, chociaż różnice te okazały się statystycznie nieistotne. Na zawartość żelaza całkowitego w badanych glebach nie miały wpływu ani sposoby użytkowania, ani poziomy genetyczne (tab. 1).

Poziomy próchniczne i rdzawienia gleb leśnych zawierały formy żelaza rozpuszczalnego w $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ w ilościach rzędu $0,44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (poziomy A) i $0,78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (poziomy Bv), co stanowiło odpowiednio 36,36% i 37,14% całkowitej zawartości tego pierwiastka (tab. 1 i tab. 2).

Tabela 2. Procentowy udział żelaza rozpuszczalnego w 1 mol i 20% HCl w stosunku do całkowitej zawartości w glebach rdzawych

Table. 2. Percentage share of iron soluble in 1 mol and in 20% HCl compared to the total iron content in rusty soils

Sposób użytkowania	Poziom genetyczny					
	A	Bv	C	A	Bv	C
	I			II		
Las	36,36	37,14	18,42	66,94	72,86	71,05
Pole	32,50	35,65	15,48	69,38	70,43	70,24

Objaśnienia: I – udział Fe rozpuszczalnego w 1 mol HCl w stosunku do całkowitej zawartości w %, II – udział Fe rozpuszczalnego w 20% HCl w stosunku do całkowitej zawartości w %.

Poziomy gleb uprawnych ogólnie zawierały więcej żelaza rozpuszczalnego w 1 mol HCl w porównaniu do analogicznych gleb pod lasami. Poziomy A gleb uprawnych zawierały średnio $0,52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, co stanowiło 32,50% całkowitej zawartości żelaza, poziomy Bv $0,82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, co stanowiło 35,65% ogólnej ilości, poziom C zaś – $0,13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, czyli 15,48% całkowitej zawartości żelaza (tab. 1, tab. 2). Nie były to jednakże różnice istotne, co potwierdziła analiza wariancji. Na zawartości żelaza rozpuszczalnego w 1 mol HCl nie miały wpływu sposoby użytkowania ani poziomy: próchniczne lub skała macierzysta (tab. 1).

Na podstawie zawartości żelaza rozpuszczalnego w 1 mol HCl w poziomach próchnicznych badane gleby możemy zaliczyć do gleb nisko zasobnych w żelazo [Zalecenia nawozowe 1990].

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 4 można stwierdzić, że forma żelaza rozpuszczalnego w 20% HCl nie wykazała żadnych statystycznie udowodnionych zależności w stosunku do analizowanych właściwości gleb.

Gleby uprawne zawierały w poziomach próchnicznych nieco więcej żelaza rozpuszczalnego w 20% HCl, niż leśne, średnio $1,11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (69,38% całkowitej zawartości) (tab. 1, tab. 2). Nie były to różnice istotne statystycznie. Analiza wariancji natomiast wykazała statystycznie istotną zależność między formą żelaza rozpuszczalną w 20% HCl a poziomami genetycznymi. Poziomy próchniczne bez względu na sposób użytkowania były istotnie bogatsze w tę formę żelaza w stosunku do skał macierzystych (tab. 1).

Analizując zawartość żelaza ogólnego w poziomach próchnicznych badanych gleb stwierdzono istotną, statystycznie udowodnioną dodatnią korelację z zawartością manganu rozpuszczalnego w 20% HCl (tab. 4).

3.2. Zawartość glinu

Całkowita zawartość glinu w poziomach próchnicznych gleb leśnych mieściła się w przedziale 1,53–4,08 g·kg⁻¹ wynosiła przeciętnie 2,29 g·kg⁻¹ i była niższa niż w glebach uprawnych (3,03 g·kg⁻¹) (tab. 3). W poziomach rdzawienia i skale macierzystej gleb leśnych i uprawnych całkowita zawartość glinu kształtowała się na podobnych poziomach.

Zawartość glinu rozpuszczalnego w 20% HCl traktowana jest jako jeden z najważniejszych wskaźników procesu rdzawienia. Ilości glinu ekstrahowanego 20% HCl mieściły się w poziomach powierzchniowych gleb leśnych w przedziale 1,50–3,51 g·kg⁻¹, średnio 2,09 g·kg⁻¹, w uprawnych zaś średnio 2,40 g·kg⁻¹ (tab. 3).

Tabele 3. Zawartość glinu całkowitego i rozpuszczalnego w 20% HCl w profilach gleb rdzawych w g·kg⁻¹

Table 3. Content of total aluminium and aluminium soluble in 20% HCl in the profiles of rusty soils in g·kg⁻¹

Właściwości	Poziom genetyczny								
	A			Bv			C		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LAS									
Minimum	1,53	1,50	–	3,37	2,27	–	1,80	1,42	–
Maksimum	4,08	3,51	–	6,45	5,96	–	3,57	2,76	–
Średnia	2,29	2,09	91,27	4,60	4,20	91,30	2,50	1,95	78,00
Odchylenie standardowe	1,03	0,83		1,43	1,59		0,65	0,50	
POLE									
Minimum	2,35	1,84	–	3,41	2,46	–	2,29	1,61	–
Maksimum	5,30	3,55	–	7,65	5,30	–	3,29	2,13	–
Średnia	3,03	2,40	79,21	4,88	3,73	76,43	2,54	1,81	71,26
Odchylenie standardowe	1,27	0,68	–	1,64	1,09	–	0,43	0,25	–
NIR dotyczących sposobów użytkowania	I	10,0							
	II	8,6							
NIR dotyczących poziomów	I	10,0							
	II	8,6							

Objaśnienia: I – zawartość Al całkowita, II – Al rozpuszczalny w 20% HCl, III – procentowy udział Al rozpuszczalnego w 20% HCl w stosunku do całkowitej zawartości. *Istotne przy p≤0,05, **Istotne przy p≤0,01, – nie obliczano.

3.3. Korelacja między zawartością żelaza i glinu a właściwościami gleb

Obliczone współczynniki korelacji wskazywały na ujemną korelację pomiędzy glinem ogółem a zawartością frakcji piasku w składzie granulometrycznym badanych gleb. Pozostałe właściwości gleb nie wykazały wpływu na analizowane formy glinu (tab. 4).

Zawartość żelaza rozpuszczalnego w 20% HCl pozostawała w statystycznie udowodnionej dodatniej zależności w stosunku do jego zawartości całkowitej (tab. 4). Obliczony wskaźnik przemieszczania żelaza z poziomów próchnicznych do poziomów wzbogacenia, był wyższy w glebach leśnych niż w uprawnych (tab. 5).

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością żelaza i glinu w poziomach próchnicznych a właściwościami gleb rdzawych

Table 4. Correlation coefficients between iron and aluminium contents and properties of humus layers of rusty soils

Wyszczególnienie	Fe			Al	
	I	II	III	I	III
C org.					
pH KCl					
Frakcje: 1–0,1 mm				-0,72	-0,67
0,1–0,02 mm					
< 0,02 mm					
T					
Fe: całkowite			0,96		
1 mol HCl					
20% HCl	0,96				
Mn: całkowity					
1 mol HCl					
20% HCl	0,70				
Al: całkowity					0,95
20% HCl				0,95	

Objaśnienia: I – zawartość całkowita, II – rozpuszczalny w 1 mol HCl·dm⁻³, III – rozpuszczalny w 20% HCl, puste pola – korelacja nie występuje.

Poziomy rdzawienia zawierały najwięcej tej formy glinu, przy czym gleby leśne zawierały średnio 4,20 g·kg⁻¹, gleby uprawne zaś 3,73 g·kg⁻¹. W skałach macierzystych badanych gleb leśnych i uprawnych zawartość glinu rozpuszczalnego w 20% HCl kształtowała się na zbliżonym poziomie i wynosiła odpowiednio 1,95 g·kg⁻¹ i 1,81 g·kg⁻¹ (tab. 3). Na zawartość tej formy glinu nie miał istotnego wpływu sposób użytkowania gleby. Analiza wariancji nie wykazała również istotnych różnic w zawartości glinu rozpuszczalnego stwierdzanego w poziomach próchnicznych i w skałach macierzystych (tab. 3).

Poziomy próchniczne i rdzawienia gleb leśnych charakteryzował większy procentowy udział glinu rozpuszczalnego w 20% HCl w stosunku do jego całkowitej zawartości (ponad 90%), podczas gdy w analogicznych poziomach gleb uprawnych udział glinu wynosił 76–79% (tab. 3).

Gleby leśne odznaczały się również wyższym wskaźnikiem przemieszczania glinu z poziomów próchnicznych do poziomów rdzawienia aniżeli miało to miejsce w glebach uprawnych. Wskaźnik ten przyjmował odpowiednio wartości 2,01 i 1,55 (tab. 5).

Glin rozpuszczalny w 20% HCl wykazywał dodatnią korelację z glinem całkowitym, ujemną zaś z zawartością frakcji piasku stwierdzanych w składzie granulometrycznym (podobnie jak glin całkowity; tab. 4).

Tabela 5. Wskaźniki przemieszczania żelaza i glinu do poziomów rdzawienia

Table 5. Ratios of displacement into enrichment layers of iron and aluminium

Sposób użytkowania gleby	Fe w 20% HCl Bv/A	Al w 20% HCl Bv/A
Las	1,89	2,01
Pole	1,46	1,55

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz wynika, że w profilach gleb rdzawych poziomy rdzawienia były najbogatsze we wszystkie badane formy żelaza. Uzyskane w badaniach wyniki zaprezentowane w niniejszej publikacji potwierdzają swoimi badaniami Skłodowski i Sapek [1977]. Cytowani autorzy uważają, że rozmieszczenie profilowe żelaza jest uzależnione od przebiegu zachodzących procesów glebotwórczych. Wskaźniki przemieszczania żelaza rozpuszczalnego w 20% HCl do poziomów wzbogacenia, w glebach leśnych były wyższe niż w uprawnych. W poziomach próchnicznych stwierdzono więcej całkowitego żelaza oraz jego rozpuszczalnych form w 1mol i 20% HCl niż w skałach macierzystych.

Obliczone współczynniki korelacji pomiędzy formami żelaza a właściwościami badanych gleb nie wykazały istotnych zależności.

Wielu autorów stwierdziło oddziaływanie składu granulometrycznego (konkretnych frakcji) na zawartość żelaza w materiale glebowym [Bogacz i in. 1996, Lipiński, Bednarek 1998, Skłodowski, Sapek 1977]. W badaniach Bogacza i in. [1996] stwierdzono najwyższe koncentracje żelaza w glinach ciężkich i ilach, zawierających największy udział części koloidalnych. Dane te korespondują z analizą statystyczną badań Kucharzewskiego i Nowaka [2004], którzy również potwierdzili istotne zależności między zawartością żelaza a frakcją spławialną i ilem koloidalnym.

Łabętowicz [1998] badając gleby kwaśne i bardzo kwaśne stwierdził ujemną korelację między odczynem gleby a stężeniem żelaza w roztworze glebowym.

Poziomy rdzawienia badanych gleb charakteryzowała największa zawartość glinu zarówno całkowitego, jak i rozpuszczalnego w 20% HCl. Obie formy glinu występowały w tym

poziomie w większym stężeniu niż w poziomach próchnicznych i skałach macierzystych. Większa zawartość glinu ogółem cechowała gleby uprawne, gleby leśne zaś zawierały więcej glinu ekstrahowanego 20% HCl. Nie były to jednak różnice statystycznie istotne. Zarówno na zawartość glinu całkowitego, jak i na zawartość glinu rozpuszczalnego w 20% kwasie chlorowodorowym nie miał istotnego wpływu sposób użytkowania gleb i poziomy genetyczne wyróżnione w profilach.

Degórski [2005], badając zawartość składników ekstrahowanych 20% HCl stwierdził większą zawartość glinu w glebach rdzawych leśnych w porównaniu do zawartości w glebach płowych leśnych. W glebach rdzawych autor ten zaobserwował powolne zmniejszanie się zawartości składników rozpuszczalnych w 20% HCl wraz z głębokością występowania poziomu genetycznego gleby lub też nieznaczny wzrost zawartości tych wskaźników w poziomie Bv – w odniesieniu do glinu i żelaza.

Badania Dłapy [2002] wykazały, że aktywność glinu była uzależniona od ilości substancji organicznej w glebie. W zasobnych w substancję organiczną poziomach próchnicznych gleb rdzawych i bielcowych to ona decydowała o aktywności glinu. W zdecydowanie mineralnym podglebiu gleb rdzawych aktywność glinu uzależniona była od składu mineralnych cząstek. W prezentowanych w pracy badaniach natomiast glin rozpuszczalny w 20% HCl dodatnio korelował z glinem całkowitym, ujemnie zaś z zawartością frakcji piasku, podobnie jak i glin całkowity.

W glebach rdzawych wartość wskaźnika przemieszczania glinu do poziomów wzbogacenia w glebach leśnych była wyższa niż w glebach użytkowanych rolniczo.

5. WNIOSKI

1. Gleby rdzawe charakteryzowała mała zasobność w żelazo. Analizując rozmieszczenie glinu i żelaza w profilach gleb stwierdzono największe ich nagromadzenie w poziomach rdzawienia zarówno gleb leśnych, jak i uprawnych.
2. Sposób użytkowania nie miał istotnego wpływu na całkowitą zawartość analizowanych pierwiastków, niemniej jednak gleby uprawne były bogatsze w glin i żelazo niż gleby leśne.
3. Wskaźnik przemieszczania glinu i żelaza w glebach rdzawych leśnych był wyższy niż w glebach uprawnych.

PIŚMIENNICTWO

- BADORA A. 2002. Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 21–36.
- BEDNAREK R. 1991. Wiek, geneza i stanowisko systematyczne gleb rdzawych w świetle badań paleopedologicznych w okolicach Osia (Bory Tucholskie). Wyd. UMK – Rozprawy, Toruń: 155.

- BEZAK-MAZUR E. 2003. Analizy form chemicznych glinu w matrycach środowiskowych. Inżynieria i Ochrona Środowiska t. 6, 3–4: 391–405.
- BOGACZ W., VERLOO M., KASPERSKA J. 1996. Badania nad formami mikroelementów glebach Belgii. Cz. 2. Wpływ składu granulometrycznego wybranych gleb Flandrii na zawartość różnych form mikroelementów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 1017–1023. PAN, Warszawa.
- CHOJNICKI J. 2004. Formy żelaza w madach Żuław. Roczn. Gleb. LV, 1: 77–86. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- DEGÓRSKI M. 2002. Przestrzenna zmienność właściwości gleb bielicoziemnych środkowej i północnej Europy a geograficzne zróżnicowanie czynników pedogenicznych. Prace Geogr. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej. Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
- DEGÓRSKI M. 2005. Wpływ sposobu użytkowania lasu na zapasy węgla organicznego w glebie. Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 6: 75–83. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- DLAPA P. 2002. Solid-phase and pH control of aluminium activity in acid soils. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 135–141.
- FRANKOWSKI M., SIEPAK J. 2011. Nowe narzędzie w analityce specjacyjnej glinu (HPLC FAAS). Analityka 1: 60–64.
- GRUBA P. 2004. Organiczne kompleksy glinu w glebach brunatnych Beskidów. Roczn. Gleb. LV, 1: 135–141. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- GWOREK B. 2006. Glin w środowisku przyrodniczym a jego toksyczność. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 29: 27–38 IOŚ, Warszawa.
- JANOWSKA E. 2001. Geneza i właściwości gleb rdzawych na obszarze zlodowacenia środkowopolskiego. Rozpr. habil. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- JANOWSKA E., KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., OKOŁOWICZ M. 2002. Formy żelaza i glinu jako wskaźniki niektórych procesów glebotwórczych w Rezerwacie Biosfery: Puszcza Kampinowska, Roczn. Gleb. 53, ¾: 33–46. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KUCHARZEWSKI A., NOWAK L. 2004. Żelazo i mangan w glebach ornym Dolnego Śląska. Rocznik PZH 55; Supl.
- LIPIŃSKI W., BEDNAREK W. 1998. Występowanie łatwo rozpuszczalnych form metali w glebach Lubelszczyzny w zależności od odczynu i składu granulometrycznego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 399–404. PAN, Warszawa.
- ŁABĘTOWICZ J. 1998. Zakwaszenie gleby jako czynnik determinujący stężenie jonów w roztworze glebowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 177–181.
- Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I. Badanie gleb.** 1980. Wyd. IUNG, Puławy.

- Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych** (wspólna ekstrakcja w 1 M HCl). 1985. IUNG O/Wrocław; mat. niepublikowane.
- PIEPRZKA R. 2010. Formy wodnorozpuszczalne i wymienne glinu w glebach leśnych parku narodowego Gór Stołowych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 42: 122–129.
- RACZUK J. 2001. Rozmieszczenie związków żelaza w glebach płowych Wysoczyzny Sieleckiej. *Rocz. Gleb. t. LII, Supl.*: 109–117. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- SKŁODOWSKI P., SAPEK A. 1977. Rozmieszczenie Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Pb i Cd w profilach czarnoziemów leśno-stepowych. *Rocz. Gleb. XXVIII, 1*: 72–83. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- SZAFRANEK A. 2000. Właściwości oraz przydatność rolnicza gleb płowych i rdzawych Wysoczyzny Kałuszyńskiej. *Rozprawy Naukowe i Monografie. Wyd. SGGW, Warszawa.*
- WALNA B., SIEPAK J., DRZYMAŁA S., SOBCZYŃSKI T. 2005. Research on aluminium speciation in poor forest soils using the sequential extraction method. *Polish Journal of Envir. Stud.* 14, 2: 243–250.
- WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A., NIEMCZUK B. 2010. Wpływ sposobu użytkowania na zawartość i rozmieszczenie ołowiu i niklu w profilach rędzin i gleb rdzawych. *Effect of type use on content and layout of lead and nickel in profiles of rendzinas and rusty soils. Ecological Chemistry and Engineering, vol. 17(4–5)*: 519–527.
- ZAGÓRSKI Z. 2001. Formy żelaza jako wskaźniki procesów pedo- i litogenezy w glebach niecałkowitych. *Rocz. Gleb. t. LII, Supl.*: 87–96. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- Zalecenia nawozowe.** Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. 1990. Wyd. IUNG, Puławy; P(44).
- ZWYDAK M. 2001. Wybrane formy żelaza w glebach zespołu Jaworzyny Górskiej *Phyllitido-Aceretum Moor 1952*. *Rocz. Gleb. t. LII, Supl.*: 145–151. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.