

MAŁGORZATA OKOŁOWICZ¹, DANUTA CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA^{1,2},
ELŻBIETA JANOWSKA¹, KRYSZYNA KONECKA-BETLEY²

ROZMIESZCZENIE FOSFORU W GLEBACH REZERWATU BIOSFERY „PUSZCZA KAMPINOSKA”

DISTRIBUTION OF PHOSPHORUS IN SOILS OF THE „PUSZCZA KAMPINOSKA” BIOSPHERE RESERVE

¹Katedra Nauk o Środowisku Glebowym, Zakład Gleboznawstwa, SGGW,
²Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa

Abstract: The effect of soil forming processes and natural environmental condition on phosphorus compounds content and distribution in Puszcza Kampinowska Biosphere Reserve soils: both in the strictly protected and partly protected zones was studied. Mineral and organic forms of phosphorus were determined in the soils mineral horizons with use of the modified (by Brogowski) Gigiel's technique in the solution of oxalic acid and ammonia. Besides, phosphorus content in organic and mineral horizons was determined in 20% HCl, after the samples had been mineralized under 480°C. The content of 20% HCl soluble phosphorus varies from 0.99 to 1.81 g P/kg of soil between particular ecto-humus subhorizons. The mineral horizons contained many times lower amounts of phosphorus. Actual concentration of both mineral and organic phosphorus soluble in oxalic acid is from a few to ten times higher in the studied soils than the content of phosphorus compounds soluble in ammonia. On average, the amount of mineral and organic phosphorus in the extracts of oxalic acid and ammonia was equal 85–90% of phosphorus soluble in 20% HCl. The eluvial-iluvial type of movement within the profile has characterized all phosphorus forms. The index of phosphorus mobility reaches the highest value in the podzol soils (1.24 to 5.21), it was lower in the rusty soils (1.04 to 2.26). In the gley-podzol soils, the ongoing gleying process and the upward movement of compounds with water modify phosphorus distribution pattern; as a consequence, the mobility index values are rather low (1.03 to 2.10).

Słowa kluczowe: Rezerwat Biosfery „Puszcza Kampinowska”, gleby leśne, fosfor.

Key words: Biosphere Reserve „Puszcza Kampinowska”, forest soils, phosphorus.

WSTĘP

Rozmieszczenie związków fosforu w profilach gleb zależy przede wszystkim od przebiegu procesów glebotwórczych [Brogowski 1966b; Brogowski, Okołowicz 1986; Cassagne i in. 2000; Czępińska-Kamińska 1986; Konecka-Betley i in. 1985, 1986, 1994, 1999, 2002; Washer, Collins 1986]. Składnik ten jest bardzo czułym

wskaźnikiem procesów glebotwórczych, w wyniku których powstają poziomy genetyczne (diagnostyczne) gleb. Natomiast czynnikiem modyfikującym jego zawartość i rozmieszczenie jest pochodzenie geologiczne skały macierzystej, stopień jej zwietrzenia oraz skład granulometryczny [Czēpińska-Kamińska D. 1994; Janowska 2001; Juo A.S.R., Ellis B.G. 1968; Pokojska 1979].

Celem pracy było określenie wpływu procesów pedogenezy oraz warunków środowiska przyrodniczego na zawartość oraz rozmieszczenie związków fosforu w glebach strefy ochrony ścisłej i częściowej Rezerwatu Biosfery „Puszcza Kampinowska”.

OBIEKT I METODY

Badaniami objęto dwie kateny gleb w Rezerwacie Biosfery „Puszcza Kampinowska”. Katena Wilków (profile 1–5) reprezentuje strefę ochrony ścisłej w północnym pasie wydm, katena Palmiry - Sieraków (profile 6–9) strefę ochrony częściowej w południowym pasie wydm. Części szczytowe wydm i ich skłony zajmują gleby rdzawe (prof. 3, 5, 6, 9) wytworzone z piasków eolicznych luźnych i słabo gliniastych. W obniżeniach międzywydmowych występują gleby bielcowe (prof. 1, 7, 8), a najniżej położone u podnóża wydm są gleby glejbielicowe (prof. 2, 4), w których pod piaskami eolicznymi luźnymi spotyka się aluwialne utwory pylasto-piaszczyste.

Omówienie zagadnień genety i podstawowych właściwości tych gleb zawarte jest w pracy Koneckiej-Betley i in. [2002], a różnych form żelaza i glinu – w pracy Janowskiej i in. [2002].

W niniejszej pracy oznaczano następujące wybrane formy fosforu:

- fosfor związków rozpuszczalnych w 20% HCl (P w HCl) we wszystkich – organicznych i mineralnych poziomach, w próbkach po usunięciu substancji organicznej w temperaturze 480°C (stosunek gleba:roztwór 1:10); ilości zbliżone do całkowitych;
- mineralne i organiczne formy fosforu przechodzące do wyciągu kwasu szczawowego i amoniaku w mineralnych poziomach genetycznych gleb, metodą Giga w modyfikacji Brogowskiego [1966a].

Obliczono wskaźniki przemieszczania (Wp) dla różnych form fosforu w badanych glebach jako iloraz zawartości fosforu w poziomie wzbogacenia B (sideric, spodic, glejospic) do zawartości danej formy fosforu w poziomie eluwalnym Ees lub akumulacyjnym A.

WYNIKI

Badane w obu katenach gleby, których właściwości chemiczne scharakteryzowano we wcześniejszych pracach [Konecka-Betley i in. 2002; Janowska i in. 2002], odznaczają się dużym zróżnicowaniem w zawartości oraz w profilowym rozmieszczeniu fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl (rys. 1 i 2). W podpoziomach ektopróchnicznych ilości tej formy fosforu są największe i zróżnicowane w zależności od stopnia rozkładu ściółki. W podpoziomach surowinowych O1 wynoszą od 1,20 do 1,82, natomiast w bardziej rozłożonych poziomach detrytusowych Ofh od 1,00 do 1,32 g P/kg gleby. Należy podkreślić, że w ektopróchnicy gleb rdzawych występuje najwięcej tej formy

fosforu, nieco mniej w glejobielicowych, a najmniej w glebach bielicowych. W poziomach mineralnych gleb zawartości P w HCl są znacznie mniejsze, a rozmieszczenie w profilu zależy od typu gleby. W glebach rdzawych (prof. 3, 6, 9) zawartość P w 20% HCl jest najwyższa w poziomie sideric i zmniejsza się w głąb profilu gleby. W glebach bielicowych (prof. 1, 7, 8) największe ilości tego składnika występują w poziomach iluwialnych (spodic), a najmniejsze w poziomach eluwialnych (albic). Podobnie w glebach glejobielicowych (prof. 2, 4) poziomy iluwialno-glejowe (glejospodic) są najbogatsze w związki fosforu. W skałach macierzystych gleb ilości fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl kształtują się na ogół powyżej 0,1 g P/kg gleby, ale nie przekraczają 0,2 g P/kg gleby, co stwierdzono również we wcześniejszych pracach [Czępińska-Kamińska 1992, 1994].

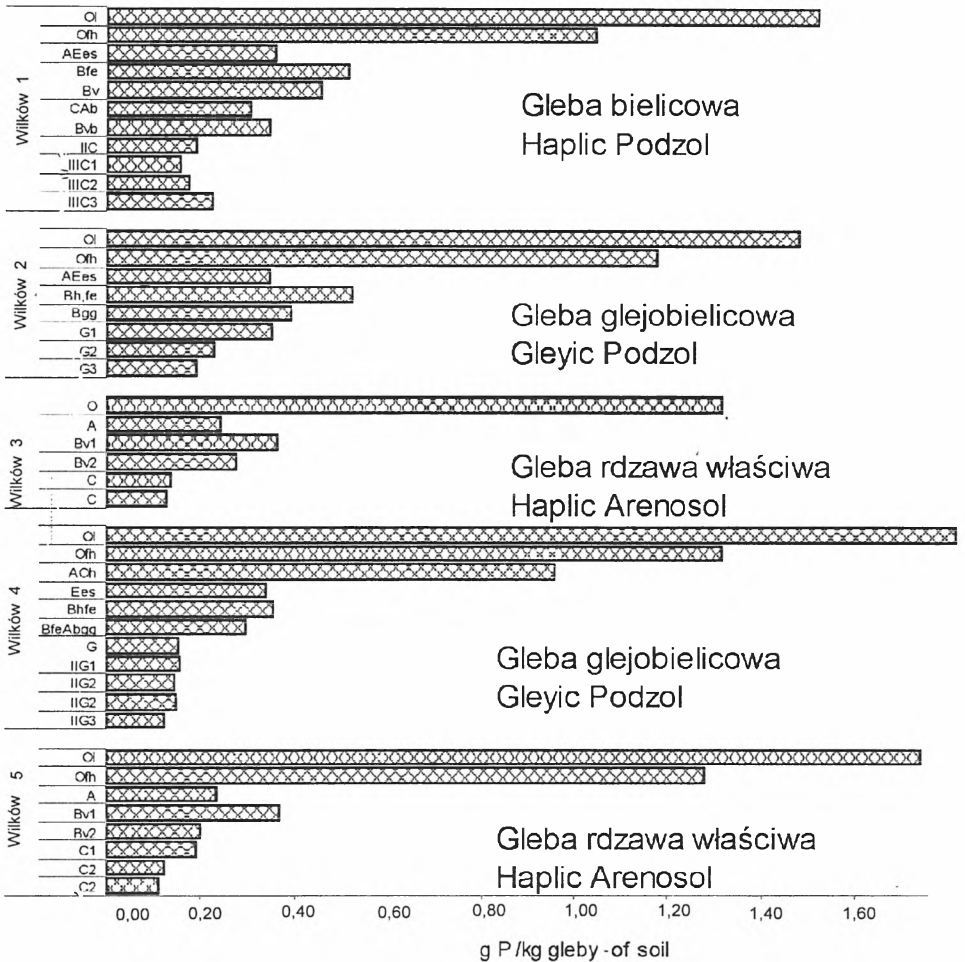
We wszystkich badanych glebach zaznaczyło się przemieszczanie związków fosforu rozpuszczalnych w 20% HCl w głąb profilów. Wskaźnik przemieszczenia fosforu z poziomów A do Bv (tab. 1) w profilach badanych gleb rdzawych mieści się w granicach 1,04–1,76. Wartości tych wskaźników wskazywałyby na słaby (skryty) proces bielicowania w profilach 3, 5 i 9, który nie zaznaczył się jeszcze w morfologii gleb [Konecka-Betley i in. 2002]. W glebach bielicowych (profile 1, 7, 8) przemieszczenie fosforu z poziomów ektopróchnicy oraz eluwialnych Ees, czy AEes do poziomów iluwialnych Bh, Bhfe i Bfe jest znacznie większe. Wskaźnik przemieszczenia dla fosforu rozpuszczalnego w HCl w glebach bielicowych wynosi 1,44–4,18. Najmniejsze profilowe zróżnicowanie tej formy fosforu ma miejsce w glebach glejobielicowych (prof. 2 i 4), gdzie wskaźnik przemieszczania wynosi 1,03–1,49. Jest to najprawdopodobniej związane z obniżeniem lustra wody gruntowej, osłabieniem procesu glejowego, a także spowolnieniem procesu bielicowania.

Zawartość oraz rozmieszczenie w profilach gleb związków fosforu mineralnego i organicznego oznaczono metodą Gigla w modyfikacji Brogowskiego (tab. 2). Nie oznaczano tych form fosforu w ektopróchnicy. We wszystkich badanych glebach przeważają formy fosforu mineralnego rozpuszczalnego w kwasie szczawiowym – 91,4 do 414,7 mg P/kg gleby. Ilości związków mineralnych fosforu rozpuszczalnych w amoniaku są od kilku- do kilkudziesięciokrotnie mniejsze: 2,2–45,4 mg P/kg gleby. Fosfor z połączeń organicznych występuje w ilościach podobnego rzędu jak mineralne formy rozpuszczalne w amoniaku. W większości przypadków obserwuje się następującą kolejność wzrostu zawartości: P organiczny w amoniaku < P mineralny w amoniaku < P organiczny w kwasie szczawiowym < P mineralny w kwasie szczawiowym.

TABELA 1. Wskaźnik przemieszczania (Wp) fosforu w wyciągu 20% HCl

TABLE 1. Translocation indicator (Wp) of phosphorus extracted in 20% HCl

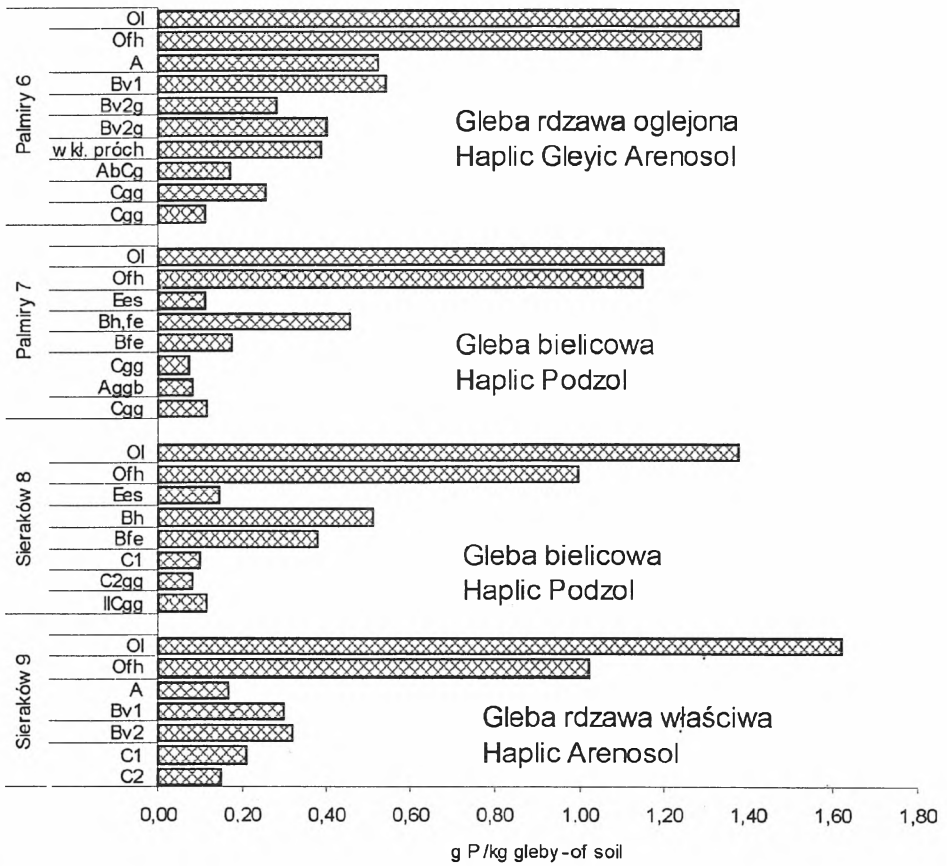
Typ gleby Soil type	Nr profilu Profile No	Poziomy Horizons	Wp
Gleby rdzawe Haplic Arenosols	3	Bv1/A	1,50
	5	Bv1/A	1,61
	6	Bv1/A	1,04
	9	Bv1/A	1,76
Gleby bielicowe Haplic Podzols	1	Bfe/AEes	1,44
	7	Bh,fe/Ees	4,18
	8	Bh/Ees	3,64
Gleby glejobielicowe Gleyic Podzols	2	Bh,fe/AEes	1,49
	4	Bfe/AEes	1,03



RYSUNEK 1. Zawartość fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl w glebach strefy ochrony ścisłej [g P/kg gleby]

FIGURE 1. Content of phosphorus soluble in 20% HCl in soils of strictly protected zone [g P/kg of soil]

W profilowym rozmieszczeniu fosforu mineralnego i organicznego rozpuszczalnego w kwasie szczawiowym stwierdzono największe ilości tych form w poziomach sideric gleb rdzawych (prof. 3, 5, 6, 9), w poziomach spodic gleb bielnicowych (prof. 1, 7, 8) oraz w poziomach glejospic gleb glejbielicowych (prof. 2, 4). Wskaźniki przemieszczenia wskazują na eluwalno-iluwalne przemieszczanie tych form fosforu w badanych glebach, największe w glebach bielnicowych, najmniejsze w glebach rdzawych. W glebach bielnicowych intensywniej zaznaczyło się przemieszczanie mineralnych form fosforu, natomiast w glebach glejbielicowych – form organicz-



RYSUNEK 2. Zawartość fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl w glebach strefy ochrony częściowej [g P/kg gleby]

FIGURE 2. Content of phosphorus soluble in 20% HCl in soils of partially protected zone [g P/kg of soil]

nych. Przy tym w większości badanych gleb bardziej ruchliwe okazały się związki fosforu rozpuszczalne w kwasie szczawiowym.

DYSKUSJA

Zawartość oraz różne przemieszczanie fosforu wskazują, że jest on dobrym wskaźnikiem procesów glebotwórczych związanych również z rzeźbą terenu oraz stosunkami wilgotnościowymi. Jak wynika z obecnych oraz wcześniejszych badań [Brogowski, Okołowicz 1986; Czepińska-Kamińska 1986, 1994; Janowska 2001; Konecka-Betley i in. 1985, 1986, 1999, 2002], na wierzchołkach oraz skłonach wydm poza zasięgiem wody gruntowej powstały gleby rdzawe o dobrze wykształco-

TABELA 2. Zawartość form fosforu oznaczonych w glebach metodą Gigla [mg/kg gleby]
TABLE 2. Content of phosphorus forms in soils determined by Gigiel's method [mg/kg of soil]

Miejsc.nr Locality, No	Głębok. Depth [cm]	Poziom genet. Genetic horizon	P rozpuszcz. w – P soluble in				Suma P rozpuszczalnego w Sum of P soluble in		
			0,5 N (COOH) ₂		4% NH ₄ OH		0,5 N (COOH) ₂ i 4% NH ₄ OH		
			Min.(1)	Org. (2)	Min. (3)	Org. (4)	Min. (1+3)	Org. (2+4)	Σ (1+2+ 3+4)
Stefa ochrony ścisłej – Strictly protected zone									
Gleba bielnicowa – Haplic Podzol									
Wilków 1	5–15	AEes	291,50	37,10	9,60	13,10	301,10	50,20	351,30
	15–17	Bfe	414,70	45,00	24,00	17,00	438,70	62,00	500,70
	20–30	Bv	376,90	31,90	17,60	5,60	394,50	37,50	432,00
	35–40	CAB	244,50	21,80	5,10	12,40	249,60	34,20	283,80
	50–55	Bvb	289,30	40,20	3,50	5,20	292,80	45,40	338,20
	60–70	IIC	145,40	10,30	2,90	2,60	148,30	12,90	161,20
	100–110	IIIC1	118,50	21,00	4,20	3,20	122,70	24,20	146,90
	121–125	IIIC2	132,80	14,80	6,60	3,80	139,40	18,60	158,00
170–180	IIIC3	187,40	13,10	11,80	3,90	199,20	17,00	216,20	
Gleba glejbielicowa – Gleyic Podzol									
Wilków 2	15–20	AEes	187,80	37,10	45,40	16,60	233,20	53,70	286,90
	20–30	Bh,fe	337,30	89,50	24,00	23,30	361,30	112,80	474,10
	30–40	Bgg	297,80	44,70	19,20	9,30	317,00	54,00	371,00
	50–60	G1	282,30	43,00	5,90	11,80	288,20	54,80	343,00
	100–110	G2	168,10	33,10	8,10	5,70	176,20	38,80	215,00
	180–190	G3	122,50	34,90	5,50	3,70	128,00	38,60	166,60
Gleba rdzawa właściwa - Haplic Arenosol									
Wilków 3	5–15	A	161,30	29,00	12,10	9,00	173,40	38,00	211,40
	30–40	Bv1	281,80	27,90	17,90	58,00	299,70	85,90	385,60
	55–65	Bv2	197,20	23,00	14,10	7,00	211,30	30,00	241,30
	70–80	C	101,70	7,30	7,00	6,60	108,70	13,90	122,60
	160–170	C	91,40	4,70	7,00	1,30	98,40	6,00	104,40
Gleba glejbielicowa – Gleyic Podzol									
Wilków 4	10–15	Ees	169,40	51,80	26,60	10,50	196,00	62,30	258,30
	20–30	Bhfe	213,50	90,10	37,60	17,50	251,10	107,60	358,70
	35–45	BfeAbgg	192,60	58,30	17,80	11,40	210,40	69,70	280,10
	50–60	G	118,30	21,70	6,30	2,50	124,60	24,20	148,80
	80–85	IIG1	106,10	27,40	14,00	2,00	120,10	29,40	149,50
	110–120	IIG2	119,00	10,70	7,90	1,10	126,90	11,80	138,70
	140–147	IIG2	123,10	14,40	3,80	5,80	126,90	20,20	147,10
	170–180	IIG3	88,80	16,00	3,50	2,70	92,30	18,70	111,00
Gleba rdzawa właściwa – Haplic Arenosol									
Wilków 5	7–12	A	163,90	12,80	20,40	17,10	184,30	29,90	214,20
	20–35	Bv1	270,10	25,60	5,40	17,30	275,50	42,90	318,40
	55–65	Bv2	124,60	39,30	8,60	7,40	133,20	46,70	179,90
	75–85	C1	94,30	16,80	4,80	3,10	99,10	19,90	119,00
	130–140	C2	55,90	16,00	2,20	1,70	58,10	17,70	75,80
	190–200	C2	47,90	8,00	5,40	9,00	53,30	17,00	70,30

TABELA 2cd. – TABLE 2 continued

Miejsco- wość nr Locality, No	Głębokość Depth [cm]	Poziom genet. Genetic horizon	P rozpuszcz. w – P soluble in				Suma P rozpuszczalnego w Sum of P soluble in		
			0,5 N (COOH) ₂		4% NH ₄ OH		0,5 N (COOH) ₂ i 4% NH ₄ OH		
			Min. (1)	Org. (2)	Min. (3)	Org. (4)	Min. (1+3)	Org. (2+4)	Σ (1+2+ 3+4)
Strefa ochrony częściowej – Partially protected zone									
Gleba rdzawa oglejona – Haplic Gleyic Arenosol									
6	10–20	A	183,80	48,80	21,00	17,20	204,80	66,00	270,80
	33–43	Bv1	331,40	89,50	28,80	17,30	360,20	106,80	467,00
	50–100a	Bv2g	291,00	49,50	15,70	9,00	306,70	58,50	365,20
	50–100b	Bv2g	295,60	52,70	10,50	13,40	306,10	66,10	372,20
	110–115	wkl.próch.	303,50	33,40	32,80	8,70	336,30	42,10	378,40
	100–125	AbCg	129,40	20,80	7,00	5,50	136,40	26,30	162,70
	150–160	Cgg	135,90	38,30	15,90	5,00	151,80	43,30	195,10
	190–200	Cgg	57,50	19,00	10,50	3,90	68,00	22,90	90,90
Gleba bielnicowa – Haplic Podzol									
7	10–15	Ees	54,00	20,70	9,00	8,80	63,00	29,50	92,50
	22–25	Bh,fe	311,60	90,80	16,60	16,00	328,20	106,80	435,00
	50–60	Bfe	95,90	24,00	18,20	1,70	114,10	25,70	139,80
	110–120	Cgg	43,40	10,50	5,40	1,30	48,80	11,80	60,60
	125–130	Aggb	29,00	9,40	5,80	2,70	34,80	12,10	46,90
	175–185	Cgg	63,60	14,40	1,10	6,10	64,70	20,50	85,20
Gleba bielnicowa – Haplic Podzol									
8	15–20	Ees	76,70	19,20	7,20	17,50	83,90	36,70	120,60
	23–28	Bh	383,50	59,10	12,70	26,60	396,20	85,70	481,90
	35–45	Bfe	286,10	38,30	13,50	9,50	299,60	47,80	347,40
	60–70	C1	65,50	14,40	6,10	6,10	71,60	20,50	92,10
	140–150	C2gg	51,10	9,60	4,40	4,40	55,50	14,00	69,50
	185–190	IICgg	50,50	17,20	7,90	7,90	58,40	25,10	83,50
Gleba rdzawa właściwa – Haplic Arenosol									
9	5–15	A	115,80	18,60	6,60	10,70	122,40	29,30	151,70
	20–30	Bv1	227,70	35,20	9,10	3,60	236,80	38,80	275,60
	50–60	Bv2	249,30	38,90	3,90	4,60	253,20	43,50	296,70
	150–160	C1	166,20	18,60	12,20	2,70	178,40	21,30	199,70
	195–200	C2	121,40	11,30	5,10	1,50	126,50	12,80	139,30

TABELA 3. Wskaźnik przemieszczania (Wp) fosforu organicznego i mineralnego w glebie oznaczonego metodą Gigla w modyfikacji Brogowskiego

TABLE 3. Translocation indicator (Wp) of organic and mineral phosphorus in soil according to Gigle's method in modification according Brogowski

Typ gleby Type of soil	Nr Profilu Profile No	Poziomy Horizons	Wp fosforu – Wp of phosphorus	
			P min. – Min. P	P org. – Org. P
Gleby rdzawe – Haplic Arenosols	3	Bv1/A	1,72	2,26
	5	Bv1/A	1,49	1,43
	6	Bv1/A	1,76	1,62
	9	Bv1/A	1,93	1,32
Gleby bielnicowe – Haplic Podzols	1	Bfe/AEes	1,46	1,24
	7	Bhfe/Ees	5,21	3,62
	8	Bh/Ees	4,72	2,34
Gleby glejbielnicowe – Gleyic Podzols	2	Bhfe/AEes	1,55	2,10
	4	Bhfe/AEes	1,28	1,73

nym poziomie sideric, w niższych położeniach terenu w warunkach większego uwilgotnienia – gleby bielcowe z poziomem spodic, a w zasięgu oddziaływania wody gruntowej – glejobielcowe z poziomem glejospodic.

Ogółem fosfor mineralny i organiczny w wyciągu kwasu szczawiowego oraz amoniaku stanowił średnio 85–90% fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl.

Stwierdzono niewiele form organicznych fosforu, w tym głównie rozpuszczalne w kwasie szczawiowym, w którym według Brogowskiego [1966a,b] rozpuszczają się średnio wietrzejące minerały fosforu z grupy apatyty, a z form organicznych przede wszystkim fosfor kwasów fulwowych i być może innych związków organicznych rozpuszczalnych w kwasach. Ta forma fosforu występuje w największych ilościach w poziomach Bhfe gleb bielcowych i w poziomach Bgg gleb glejobielcowych, a w znacznie mniejszych ilościach w poziomach Bv gleb rdzawych. Organiczne formy fosforu wyekstrahowane amoniakiem obejmują P kwasów huminowych oraz innych związków rozpuszczalnych w alkalicznym wyciągu, takich jak fityna i jej pochodne. W glebie rdzawej oglejonej (profil 6) zawartość fosforu kwasów fulwowych układa się podobnie jak w glebach glejobielcowych. Natomiast związków fosforowych kwasów huminowych rozpuszczalnych w amoniaku jest bardzo mało. Największe ich zawartości występują w glebach rdzawych w poziomach Bv, najmniej zaś w glebach bielcowych, choć i tu są wyjątki (Sieraków nr 8). Podobne tendencje stwierdził w swoich badaniach Iwanow [1987] znajdując dwu- do siedmiokrotnie więcej fosforu w kwasach fulwowych niż w huminowych. Udział fosforu organicznego w badanych glebach wynosi 12–33% w stosunku do sumy fosforu ekstrahowanego metodą Gigiela i jest nieco niższy od stwierdzonego w badaniach Brogowskiego [1966a,b, 1974].

Głównym źródłem fosforu mineralnego w glebie są jony fosforanowe pochodzące z rozkładu resztek organicznych w poziomach ektopróchnicznych oraz z wietrzenia minerałów pierwotnych [Brogowski 1966a]. Najczęściej są one adsorbowane przez bezpostaciowe formy Fe i Al, których ilość zależy od pochodzenia i stopnia zwietrzenia skały macierzystej gleb. W glebach bielcoziemnych główna część fosforu mineralnego gleby występuje w postaci okludowanych fosforanów żelaza oraz nieokludowanych fosforanów glinu [Czępińska-Kamińska 1994; Day i in. 1987; Johnson i in. 1986; Pokojka 1979; Sinha 1971; Wójcik 1990]. Największą rolę w przemieszczaniu fosforu w glebie w procesie bielcowania gleb odgrywają połączenia kompleksowe: kwas fulwowy – metal (Al, Fe) – fosforan [Pokojka 1979], co potwierdzają również badania Czępińskiej-Kamińskiej [1992, 1994] oraz Szafranka [1994].

Rozmieszczenie fosforu oznaczonego w badanych glebach koresponduje z badaniami nad rozmieszczeniem profilowym różnych form żelaza i glinu przedstawionymi w pracy Janowskiej i in. [2002]. Największe wartości wskaźników przemieszczania fosforu występują w tych samych glebach, w których wskaźniki przemieszczania aktywnych form żelaza i glinu są największe.

WNIOSKI

1. Największe nagromadzenie fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl występuje w ektopełkach obu katen, w niewielkim stopniu jest zależne od typu gleb i strefy ochrony środowiska przyrodniczego.
2. W części mineralnej badanych gleb rozmieszczenie fosforu zależy głównie od procesu glebotwórczego. Podobną zależność stwierdzono dla form fosforu rozpuszczalnego w 20% HCl jak również mineralnego i organicznego oznaczonego metodą Gigla.
3. Wskaźniki przemieszczenia fosforu są najwyższe w glebach bielcowych, a najniższe w glejobielcowych; gleby rdzawe zajmują miejsce pośrednie.
4. Stwierdzono, że zawartość i przemieszczanie fosforu dobrze informują o procesach glebotwórczych zachodzących w glebach wytworzonych z piasków obszarów wydmych.

LITERATURA

- BROGOWSKI Z. 1966a: Metodyka oznaczania mineralnego i organicznego fosforu w glebie. *Rocz. Glebozn.*, **16**, 1: 193–208.
- BROGOWSKI Z. 1966b: Fosfor organiczny i mineralny w niektórych glebach Polski. *Rocz. Glebozn.*, **16**, 1: 209–240.
- BROGOWSKI Z. 1974: Organiczne i mineralne związki fosforu w glebach piaskowych w nawiązaniu do krajobrazu. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A, **100**, 2: 59–65.
- BROGOWSKI Z., OKOŁOWICZ M. 1986: Rozmieszczenie związków fosforu w glebie kopalnej wytworzonej z holocenijskich piasków wydmych. [W] Wpływ działalności człowieka na środowisko glebowe Kampinoskiego Parku Narodowego (1984–1986). Wyd. SGGW, Warszawa: 179–187.
- CASSAGNE N., REMAURY M., GAUQUELIN T., FABRE A. 2000: Forms and profile distribution of soil phosphorus in alpine Inceptisols and Spodosols (Pyrenees). *Geoderma* **95**, 1–2: 161–172.
- CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D. 1986: Zależność między rzeźbą terenu a typami gleb obszarów Puszczy Kampinoskiej. [W] Wpływ działalności człowieka na środowisko glebowe w Kampinoskim Parku Narodowym. Wyd. SGGW, Warszawa: 5–72.
- CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D. 1992: Wpływ procesów glebotwórczych na rozmieszczenie mineralnych związków fosforu w glebach. Wyd. SGGW-AR: ss. 78.
- CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D. 1994: The effect of the podzolization process on the profile distribution of mineral compounds of phosphorus. *Rocz. Glebozn. Supl.*: 63–70.
- DAY L.D., COLLINS M.E., WASHER N.E. 1987: Landscape position and particle-size effects on soil phosphorus distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 4: 1547–1553.
- IWANOW P. 1987: Rozpreделение na почвеня органичен вав фракциите на чумуса. *Agrochimija i Rastitelna Zaszta*, **1**: 38–42.
- JANOWSKA E. 2001: Geneza i właściwości gleb rdzawych na obszarze złodowacenia środkowopolskiego. *Rozprawy Nauk.*, Wyd. Fundacja Rozwój SGGW: 1–75.
- JANOWSKA E., KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., OKOŁOWICZ M. 2002: Formy żelaza i glinu jako wskaźniki niektórych procesów glebotwórczych w Rezerwacie Biosfery „Puszcza Kampinoska”. *Roczn. Glebozn.* **53**, 3–4: 33–46.
- JUO A.S.R., ELLIS B.G. 1968: Particle size distribution of aluminium, iron and calcium phosphate in soil profiles. *Soil Sci.*, **100**, 5: 374–380.
- JOHNSON D.W., COLE D.W., VAN MIEGROE T.H., HORNG F.W. 1986: Factors affecting anion movement and retention in four forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**, 3: 776–783.

- KONECKA-BETLEY K., BROGOWSKI Z., OKOŁOWICZ M. 1985: Rozmieszczenie związków fosforu w kopalnych glebach wytworzonych z późno plejstoceńskich piasków wydmywanych w Cięciwie. *Rocz. Glebozn.*, **36**, 2 supl.: 75–84.
- KONECKA-BETLEY K., ZARĘBA R., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., JAKUBOWSKI G., MARCINIAK M., STOPNICKI M. 1986: Gleby i zbiorowiska roślinne rezerwatu Wilków w Kampinoskim Parku Narodowym. [W] Wpływ działalności człowieka na środowisko glebowe Kampinoskiego Parku Narodowego (1984–1985). Wyd. SGGW-AR, Warszawa: 73–102.
- KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., JANOWSKA E. 1994: Właściwości fizyko-chemiczne i chemiczne gleb w Kampinoskim Parku Narodowym (stan na 1991). [W] Prognozowanie przemian gleb Kampinoskiego Parku Narodowego na tle innych komponentów środowiska przyrodniczego. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa: 17–70.
- KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., JANOWSKA E. 1999: Przemiany pokrywy glebowej w Kampinoskim Parku Narodowym (1990–1994). *Rocz. Glebozn.*, **50**, 4: 5–20.
- KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., JANOWSKA E., OKOŁOWICZ M. 2002: Gleby strefy ochrony ścisłej i częściowej w Rezerwacie Biosfery – Puszcza Kampinowska. *Roczn. Glebozn.* **53**, 3/4: 5–21.
- POKOJSKA U. 1979: Geochemical studies on podzolization. Part 3. Phosphorus in Podzolization. *Roczn. Glebozn.*, **33**, 2: 153–160.
- SINHA M.K. 1971: Organo metallic phosphates. I. Interaction of phosphorus compounds with humic substances. *Plant and Soil*, **35**: 471–484.
- SZAFRANEK A. 1994: Phosphate sorption in relation to extractable iron and aluminium in rusty soils. *Roczn. Glebozn.*, **49**, 1–2: 61–69.
- WASHER N.E., COLLINS M.E. 1986: Genesis and adjacent morphologically distinct soils in northwest Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **52**, 1.
- WÓJCIK J. 1990: Starzenie się fosforanów nawozowych w różnych glebach. *Rocz. Glebozn.* **41**, 1–2: 93–115.

Praca wpłynęła do redakcji w grudniu 2002 r.

*Adres autora: dr Małgorzata Okołowicz
Zakład Gleboznawstwa, Katedra Nauk o Środowisku Glebowym SGGW,
ul. Rakowiecka 26/30, 02-528 Warszawa*