

BADANIA GEOCHEMICZNE GLEB W WYBRANYCH PARKACH WARSZAWY

GEOCHEMICAL STUDIES OF SOILS IN SOME CITY PARKS OF WARSAW

ALEKSANDRA DUSZA-DOBEK¹

Abstrakt. Badania gleb na terenie parków położonych w centrum Warszawy miały na celu szczegółowe analizy ich stanu chemicznego, ze szczególnym uwzględnieniem wzbogacenia w pierwiastki toksyczne dla organizmów żywych. Analizowano gleby z dwóch zakresów głębokości (0,0–0,3 i 0,8–1,0 m) dla porównania zmian ich składu wywołanych czynnikami antropogenicznymi w relacji do skał macierzystych. Gęstość opróbowania wynosiła 1 próbka/0,01 km². Oznaczenia Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti i Zn wykonano metodą ICP-AES, a rtęć analizowano metodą CV-AAS. Stwierdzono wzbogacenie warstwy powierzchniowej gleb w miedź, ołów i cynk, wiążące się wyraźnie z oddziaływaniem czynników antropogenicznych. Na obrzeżach parków zaznaczają się anomalie miedzi (>28 mg/kg), ołowiu (>70 mg/kg) i cynku (>206 mg/kg), których źródłem są głównie emisje z zakładów przemysłowych oraz środków transportu. Przeciętne zawartości baru (68 mg/kg), strontu (21 mg/kg) i siarki (0,028%) są również wyraźnie zwiększone w stosunku do wartości regionalnego tła geochemicznego. Zawartości tych pierwiastków są związane przede wszystkim z opadem pyłów z elektrociepłowni miejskich. Przestrzenne rozmieszczenie glinu, kobaltu, chromu, żelaza, niklu i tytanu jest związane ze składem chemicznym skał podłoża. Punktowe anomalie metali w glebach parków są związane z historycznym funkcjonowaniem na ich terenie obiektów wojskowych oraz wykorzystywaniem materiałów pochodzących z odgruzowywania Warszawy po II wojnie światowej do budowy alejek parkowych.

Słowa kluczowe: gleby parków miejskich, zanieczyszczenie, Warszawa.

Abstract. The main purpose of the studies on soils of Warsaw parks was to assess the level of metal pollution and especially enrichment of elements toxic for organisms. Samples were taken from two depth intervals (0.0–0.3 and 0.8–1.0 m) for comparison between anthropogenic changes and natural background. Sample density was 1 sample/0.01 km². Elements were determined using ICP-AES method. Mercury was determined with CV-AAS method. The enrichment of copper, lead and zinc in the topsoil is related to urbanization factors. Cu (>28 mg/kg), Pb (>70 mg/kg) and Zn (>206 mg/kg) concentrations found at the boundaries of the parks are due to atmospheric falls of industrial and traffic origin. The medians of barium (68 mg/kg), strontium (21 mg/kg) and sulphur (0.028%) in park soils are definitely higher than the geochemical background. The source of the enrichment seems to be emissions released from local power plants. Spatial distribution of aluminum, cobalt, chromium, iron, nickel and titanium is related to the geological structure. Spotty anomalies of metals in park soils are related to the long-term existence of polluting objects on their areas and to the use of ruins from Warsaw buildings after World War II as a building material for park footpaths.

Key words: soils of urban parks, pollution, Warsaw.

WSTĘP

Zrównoważony rozwój obszarów zurbanizowanych powinien uwzględniać konieczność ochrony zasobów przyrody, co wymaga wcześniejszego rozpoznania stanu i mechanizmów funkcjonowania wszystkich elementów środowiska, zaś diagnozowanie i monitoring środowiska glebowego, jako siedliska

flory i fauny, jest jednym z priorytetów. Studia geochemiczne na obszarach miejskich dotyczą zazwyczaj szerokiego spektrum pierwiastków i związków chemicznych ze względu na różnorodność możliwości ich rozproszenia w wyniku skomplikowanych procesów urbanizacji i industrializacji.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: aleksandra.dusza@pgi.gov.pl

Problem zanieczyszczenia obszarów zielonych w miastach jest znany i opisywany na świecie od dawna (Madrid i in., 2002; Imperato i in., 2003; Chen i in., 2005; Rodrigues i in., 2006; Galušková i in., 2011; Johnson i in., 2011). Opracowania dotyczące zawartości i rozmieszczenia pierwiastków w glebach parków, zieleńców i skwerów miejskich były realizowane również w Polsce (Malczyk i in., 1996; Czarnowska, 1997; Bach, Pawłowska, 2007; Breś, 2007; Baran i in., 2010). Opublikowano też wiele opracowań dotyczących stanu środowiska gleb przy trasach komunikacyjnych w największych aglomeracjach kraju (Czarnowska i in., 1983; Biernacka, Madany, 1990; Pasieczna, 2003; Niesiobędzka, 2007; Meinhardt i in., 2011).

W Warszawie badania zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi dotyczyły sąsiedztwa tras komunikacyjnych i ogródków działkowych (Czarnowska, Konecka-Betley, 1977; Czarnowska, Gworek, 1988, 1991; Czerwiński, Pracz, 1990b, c; Czarnowska i in., 1994; Dmochowski i in., 2011), zieleńców (Czarnowska, 1999) oraz parków miejskich (Dobrzański i in., 1975b). Przeglądowe badania geochemiczne gleb Warszawy zaprezentowane w formie kartograficznej (Lis, 1992; Pasieczna, 2003) wykazały obecność anomalii metali ciężkich w kilku rejonach miasta.

Zanieczyszczenie metalami ciężkimi roślin na terenach miejskich opisywane jest przez wielu autorów (Czarnowska,

Konecka-Betley, 1977; Hernandez i in., 1987; Czarnowska, 1997; Xiong, 1998; Dmochowski, Badurek, 2001; Gworek, Kwasowski, 2001; Breś, 2007; Niesiobędzka, 2007; Niesiobędzka, Krajewska, 2008; Papafilippaki, Stavroulakis, 2009).

Gleba należy do głównych źródeł pierwiastków śladowych dla roślin. Za niezbędne do rozwoju większości z nich uważa się Al, B, Br, Cl, Co, Cu, F, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Rb, Si, Ti, V i Zn. Bez względu na rolę pierwiastków w metabolizmie roślin, ich nadmiar jest zawsze szkodliwy, choć większa jest odporność na nadmierne koncentracje niż na deficyty (Kabata-Pendias, Pendias, 1999).

Prezentowane badania gleb na terenie grupy parków położonych w centrum Warszawy miały na celu szczegółowe rozpoznanie ich stanu geochemicznego, określenie zanieczyszczenia (szczególnie pierwiastkami toksycznymi dla roślin) w porównaniu z tłem geochemicznym oraz identyfikację źródeł anomalii. Wyniki badań są cennym źródłem informacji dla zarządzających parkami oraz władz miejskich odpowiedzialnych za ochronę przyrody i funkcjonowanie terenów zielonych w Warszawie. Uzyskane dane geochemiczne stanowią podstawę do podjęcia ewentualnych prac rekultywacyjnych lub pielęgnacyjnych niezbędnych dla świadomego kształtowania układów zieleni miejskiej.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Analizowany obszar jest położony w obrębie Równiny Warszawskiej (Kondracki, 2000). Powierzchnia terenu, z wysoczyzną wyróżniającą się w lewobrzeżnej części miasta oraz doliną Wisły (w części prawobrzeżnej), została ukształtowana przez czwartorzędowe procesy geomorfologiczne (Bogdański, 1990; Sarnacka, 1992). Istotne znaczenie odgrywały również czynniki antropogeniczne związane z rozwojem przestrzennym miasta.

Badana grupa parków, obejmująca Zespół Pałacowo-Ogrodowy Łazienki Królewskie (zwany Parkiem Łazienkowskim), Park Ujazdowski, Park Morskie Oko i Agrykola, znajduje się w centralnej części Warszawy (fig. 1). Parki te nie tworzą jednolitego pasa, ale stanowią elementy klinowego układu zieleni miejskiej, której osią jest skarpa warszawska. Otoczone są zwartą zabudową miejską dzielnic Śródmieście i Mokotów. Skarpa warszawska ma zróżnicowaną wysokość, waha się od 25 m w Parku Łazienkowskim do 15 m w Parku Morskie Oko (Biernacki, 2000), a jej nachylenie nie przekracza 20–30°. Stanowi główną oś krajobrazową Parku Morskie Oko i przecina zachodnią część Parku Łazienkowskiego. Park Ujazdowski położony jest na wysoczyźnie, która od wschodu opada stromą skarpią ku dolinie Wisły. Park Agrykola oraz znaczna część Parku Łazienkowskiego położone są na niższym tarasie nadzalewowym Wisły (tzw. praskim).

Największym badanym parkiem są Łazienki Królewskie. Istotny wpływ na jego ukształtowanie miał król Stanisław August Poniatowski, tworząc tu w drugiej połowie XVIII

wieku swoją letnią rezydencję. Park powstał na terenie podmokłych lasów i łąk, u podnóża skarpy warszawskiej. Przez lata zmieniano jego charakter, powierzchnię, kopano stawy i kanały, prowadzono najróżniejszą działalność – od wycieczkowej, rozrywkowej, poprzez edukacyjną oraz wojskową. Obecnie Park Łazienkowski tworzą trzy odrębne stylistycznie i ukształtowane w różnych latach ogrody: Królewski, Belwederski i Modernistyczny, zajmujące powierzchnię 76 ha. Towarzyszą im budynki pałacowe i pawilony ogrodowe (Pałac na Wyspie, Pałac Myślewicki, Amfiteatr, Stara i Nowa Pomarańczarnia, Ermitaż) oraz liczne, wolnostojące rzeźby. Park pełni rolę muzeum.

Na terenach odłączonych od Parku Łazienkowskiego w XIX w., położonych na północ od ulicy Agrykoli (tzw. Łazienki Północne), założono w latach 1903–1905 miejski park Agrykola. Teren ten został przeznaczony na cele sportowe szkolnictwa warszawskiego (Mórawski, Głębocki, 1982). Obecnie na 23,9 ha parku znajdują się obiekty Warszawskiego Centrum Sportu Młodzieżowego „Agrykola” – boiska do gier zespołowych i korty tenisowe.

Park Morskie Oko składa się z dwóch części – północnej i południowej, zajmując powierzchnię 17,9 ha. Część północna ze Stawem Morskie Oko jest założeniem powojennym. Część południowa to teren dawnego zespołu pałacowo-parkowego Mokotów, należącego do księżnej Izabeli Lubomirskiej, którego początki sięgają XVIII wieku. W XIX wieku powstało tu lotnisko i popularne miejsce zabaw zwane Promenadą

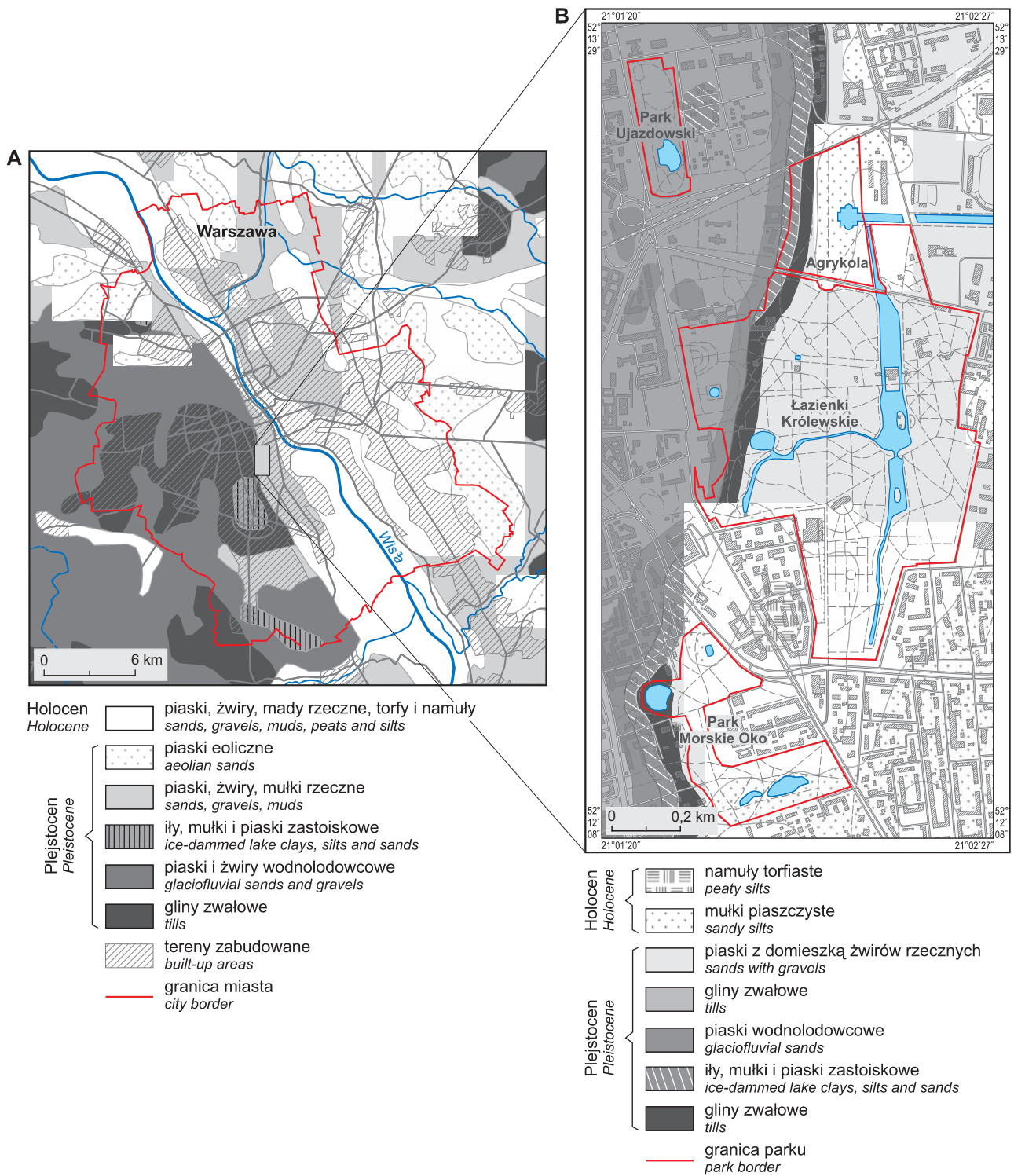


Fig. 1. Mapy geologiczne (wg Sarnackiej, 1979; Marksa i in., 2006; uproszczone)

A – obszar Warszawy; B – badane parki

Geological maps (after Sarnacka, 1979; Marks i in., 2006; simplified)

A – Warsaw area; B – studied parks

(Mórawski, Głębocki, 1982). Obie części parku są całością kompozycyjno-przestrzenną, pomimo istnienia wyraźnych linii podziału, którą tworzą ulica Grottgera i skarpa warszawska. Cechą charakterystyczną tego parku jest podział na zgeometryzowaną część na koronie skarpy oraz krajobrazowy (naturalny) charakter pozostałej jego części. Najcenniejszym obiektem architektonicznym jest tu pałacyk Szustra, odbudowany po zniszczeniach wojennych wg projektu Henryka Marconiego.

Park Ujazdowski, zaprojektowany przez Franciszka Szaniora, powstał w latach 1893–1896 w miejscu, w którym od-

bywały się zabawy ludowe i ćwiczenia kawaleryjskie. Zajmuje powierzchnię 5,7 ha. W parku znajduje się mostek z 1898 r. o nowoczesnej na owe czasy konstrukcji żelbetowej wg projektu Williama Lindleya, a także ciekawe rzeźby i pomniki. W 1926 r. powstał tu pierwszy w mieście stały plac zabaw dla dzieci (Mórawski, Głębocki, 1982).

Założenia urbanistyczne parków oraz położone w nich historyczne budynki są objęte ochroną mazowieckiego konserwatora zabytków.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Warszawa, wraz z przebiegającą przez nią doliną Wisły, jest położona w obrębie dużej mezozoicznej jednostki geologicznej zwanej niecką warszawską (Stupnicka, 2007). W neogenie i paleogenie powstała tu rozległa depresja z centrum w okolicy Warszawy (tzw. niecka mazowiecka), którą wypełniają morskie osady oligocenu, osady miocenu charakterystyczne dla śródlądowych zbiorników wodnych oraz występujące miejscowo ilaste osady pliocenu.

W powierzchniowej budowie geologicznej Warszawy można wyróżnić dwie odrębne strefy o zróżnicowanej genezie: wysoczyznę i dolinę Wisły (fig. 1). Na styku tych dwóch stref jest położona omawiana grupa parków.

Miękkość osadów czwartorzędowych jest tu bardzo zmienna i ściśle związana z ukształtowaniem stropowej po-

wierzchni osadów pliocenu (Sawicki, 1960). Wysoczyznę tworzą głównie plejstocenyjskie gliny zwałowe oraz pokrywy piasków fluwioglacjalnych i rzecznych, pochodzące z okresu zlodowacenia środkowopolskiego. W krawędzi wysoczyzny odsłaniają się gliny zwałowe stadiału maksymalnego oraz osady zastoiskowe i piaski wodnolodowcowe stadiału mazowiecko-podlaskiego.

W dolinie Wisły przeważają piaski rzeczne zlodowacenia północnopolskiego, piaski eoliczne oraz holocenyjskie piaski, żwiry, mady rzeczne, torfy i namuły (Marks i in., 2006). Niższy taras nadzalewowy Wisły (praski), na którym jest położona część wschodnia badanego terenu, budują osady piaszczysto-żwirowe stadiału głównego zlodowacenia północnopolskiego oraz holocenyjskie mułki piaszczyste i namuły torfiaste (Sarnacka, 1979, 1980).

GLEBY

Taras nadzalewowy doliny Wisły pokrywają mady brunatnoziemne i mady czarnoziemne, a gleby mineralno-murszowe i torfowo-murszowe występują w pobliżu krawędzi morenowej w rejonie Parku Morskie Oko. Duże obszary w rejonie skarpy warszawskiej zajmują gleby nasypowe, przeważnie gruzowe i krzemianowo-gruzowe, natomiast w bezpośrednim sąsiedztwie głównych tras komunikacyjnych spotyka się antropogeniczne gleby słone (Czerwiński, Pracz, 1990a).

W większości gleb parków występują domieszki różnych materiałów budowlanych (głównie gruzu), co pozwala na zaliczenie ich do gleb antropogenicznych, tzw. urbanoziemów. Jednak z uwagi na ilość nagromadzonej próchnicy oraz zachowanie pewnych cech procesów naturalnych, gleby zaliczono dodatkowo do gleb antropogenicznych czarnoziemnych z większą ilością substancji organicznej oraz brunatnoziemnych z oznakami brunatnienia (Dobrzański i in., 1975a).

METODYKA BADAŃ

Na terenie parków oraz w ich otoczeniu pobrano próbki gleb w regularnej siatce 100x100 m (1 próbka/0,01 km²), z dwóch zakresów głębokości: 0,0–0,3 i 0,8–1,0 m. Próbki gleb o masie ok. 500 g każda pobrano z 242 miejsc za pomocą sondy ręcznej.

Po wysuszeniu, próbki przesiano przez nylonowe sита o oczkach 2 mm, a następnie utarto do frakcji <0,06 mm w agatowych młynach kulowych. Do roztwarzania gleb stosowano wodę królewską (1 g próbki do końcowej objętości 50 ml) przez 1 godzinę w temp. 95°C w termostacie blo-

ku aluminiowym. Zawartość Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti i Zn oznaczono metodą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES), zawartość Hg oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej z techniką zimnych par (CV-AAS), zawartość węgla organicznego (TOC) metodą kulometryczną, a odczyn (pH) gleb w wyciągach wodnych. Analizy chemiczne wykonano w laboratorium chemicznym PIG-PIB w Warszawie.

Wyniki badań zaprezentowano w postaci izoliniowych map monopierwiastkowych (oddzielnie dla gleb z każdego zakresu głębokości) na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:10 000. Dobierając wydzielone klasy, kierowano

się analizą statystycznych rozkładów zawartości pierwiastków. Przedziały klas są zgodne z wartością percentyli: 10, 25, 50, 75, 90, 99, prezentujących udział próbek o danym stężeniu pierwiastka.

WYNIKI I Dyskusja

Parametry chemiczne oraz fizyczne badanych gleb zostały ukształtowane przez naturalne procesy glebotwórcze oraz czynniki antropogeniczne związane z formowaniem obszarów miejskich. W zależności od warunków fizykochemicznych środowiska procesy glebotwórcze doprowadziły do zmian składu chemicznego gleb w stosunku do skał macierzystych, jednak w wielu miejscach podstawowe cechy geochemiczne skał macierzystych są czytelne. Przestrzenne rozmieszczenie pierwiastków odziedziczonych po skałach macierzystych pozwala zatem prześledzić zróżnicowanie tła geochemicznego i wydzielić anomalie pierwiastków.

Poza czynnikami geologicznymi na zawartość pierwiastków w glebach i roślinach wpływają czynniki antropogeniczne, związane z funkcjonowaniem aglomeracji miejskiej (emisje gazów i pyłów, depozycja odpadów, spływy powierzchniowe, odprowadzanie ścieków oraz przekształcenia gruntu związane z budownictwem).

Powierzchniowa warstwa (0,0–0,3 m) większości badanych gleb charakteryzuje się $\text{pH} > 7,4$ (tab. 1). Na terenie Parku Łazienkowskiego występują gleby o odczynie obojętnym, wśród których, lokalnie, znajdują się gleby kwaśne. Wyraźny wzrost alkalizacji obserwuje się w glebach na głębokości 0,8–1,0 m (przeciętnie 8,2), podobnie jak na terenie całego miasta (Pasieczna, 2003). Alkalizacja gleb jest związana z gruzowym charakterem antropogenicznych warstw nasypowych, które zawierają odłamki węglanowej zaprawy murarskiej, neutralizującej naturalne zakwaszenie gleb oraz opadem alkalicznych pyłów emitowanych przez miejskie elektrociepłownie. Z punktu widzenia zdolności gleby do wiązania metali ciężkich i ich zatrzymywania w fazie stałej, alkalizacja jest procesem korzystnym, jest to jednak zjawisko niekorzystne dla prawidłowego funkcjonowania roślin. Optymalny poziom pH dla większości roślin to zakres 5,5–6,3 (Breś, 2007).

W powierzchniowej warstwie badanych gleb zaznacza się wyraźne wzbogacenie w bar, miedź, rtęć, ołów, siarkę, stront i cynk, wiążące się z oddziaływaniem czynników antropogenicznych.

Przeciętne zawartości ołowiu (mediana 46 mg/kg) i cynku (mediana 132 mg/kg) w badanych glebach powierzchniowych parków są zbliżone do wyników uzyskanych pod koniec lat 90. przez Czarnowską (1999) i mniejsze od wartości stwierdzonych w glebach parków w centralnych dzielnicach Łodzi (Czarnowska, 1997).

Maksymalne koncentracje ołowiu (595 mg/kg) stwierdzono w glebach powierzchniowych w Parku Morskie Oko, które są również wzbogacone w bar (286 mg/kg), chrom, miedź, żelazo, rtęć, nikiel i cynk. Źródłem anomalii mogą być odpady deponowane kiedyś w pobliskim stawie, na co

wskazują również koncentracje wielu badanych pierwiastków w osadach stawu (Dusza-Dobek, 2011).

W rejonie Wielkiej Oficyny i Pałacu na Wyspie w Parku Łazienkowskim zanotowano zwiększone zawartości ołowiu i cynku w glebach, co wiąże się prawdopodobnie z funkcjonowaniem w tym miejscu Szkoły Podchorążych na początku XIX w. (skład amunicji, konserwacja broni). Zawartość ołowiu przekracza 100 mg/kg w glebach obu zakresów głębokości. Gleby w warstwie powierzchniowej zawierają też do 691 mg/kg cynku, a na głębokości 0,8–1,0 m > 200 mg/kg tego pierwiastka (fig. 2, 3).

W glebach centralnej, południowej i wschodniej części Parku Łazienkowskiego, w rejonie Stawu Promenada w Parku Morskie Oko oraz w centralnej części Agrykoli zawartości ołowiu i cynku są zbliżone do tła geochemicznego w glebach Polski, wynoszącego 13 mg/kg ołowiu i 35 mg/kg cynku (tab. 1).

Spośród analizowanych pierwiastków największe zdolności do bioakumulacji z gleby wykazują cynk, ołów i kadm (Niesiobędzka, Krajewska, 2008). Zalecana wartość graniczna dla cynku wynosi 300 mg/kg, dla ołowiu 100 mg/kg i dla kadmu 3 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1999; Migaszewski, Gałuszka, 2003). Są to wartości, powyżej których istnieje ryzyko włączenia tych pierwiastków do łańcucha żywnościowego oraz zaburzenia aktywności biologicznej gleby, która ma decydujący wpływ na rozwój roślin. Szkodliwy wpływ ołowiu i cynku wywołuje głównie zaburzenia fotosyntezy, podziału komórek oraz gospodarki wodnej.

W badanych glebach zagrożenie dla rozwoju roślin mogą stanowić rejon anomalii cynku i ołowiu w Parku Morskie Oko i Parku Łazienkowskim. Obniżenie przyswajalności tych pierwiastków przez rośliny można uzyskać poprzez dodatek do gleb wapnia, nawozów fosforowych i związków siarki oraz zwiększenie ilości próchnicy. Korzystnym czynnikiem hamującym pobieranie metali przez rośliny jest stwierdzony odczyn gleb (w większości $\text{pH} > 6,5$).

Zawartości kadmu nie stwarzają zagrożeń dla roślin parkowych.

Przeciętna zawartość miedzi w powierzchniowej warstwie badanych gleb wynosi 20 mg/kg i jest zdecydowanie większa od jej zawartości w glebach Polski, czy Warszawy i okolic (tab. 1). Zawartości miedzi są związane z zanieczyszczeniem atmosfery, jak również ze składem mechanicznym gleb. Gleby wytworzone z glin i utworów pyłowych są zasobniejsze w miedź niż gleby wytworzone z piasków. W większości gleb Parku Łazienkowskiego stwierdzono < 20 mg/kg miedzi, natomiast w pozostałych parkach jej zawartości wahają się od 20 do ponad 100 mg/kg. Punktową

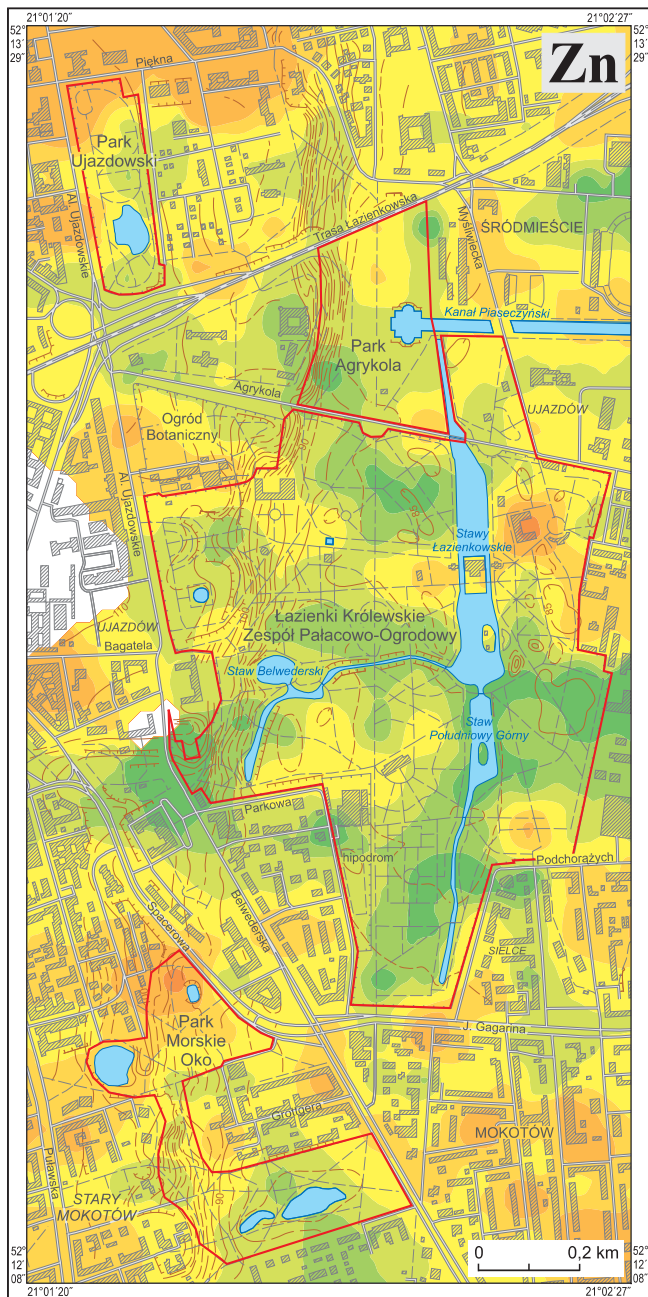


Fig. 2. Cynk w glebach (0,0–0,3 m)

Zinc in topsoil (0.0–0.3 m)

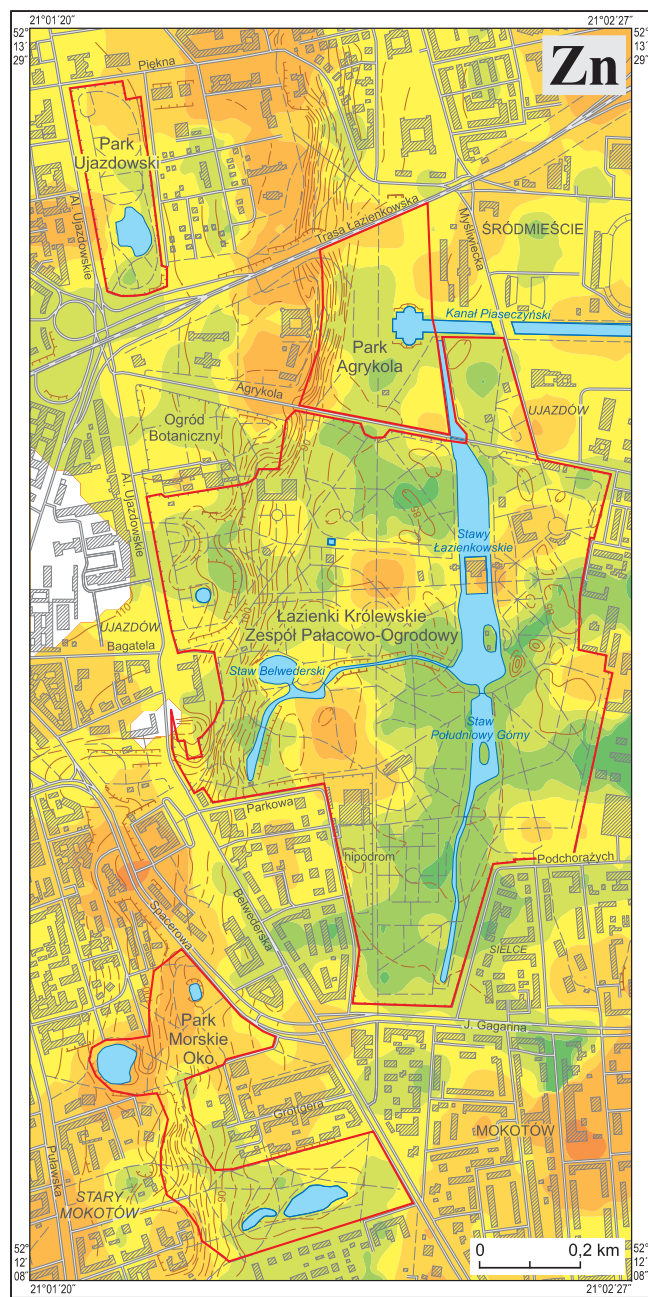
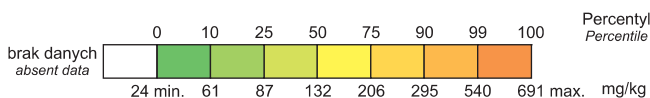
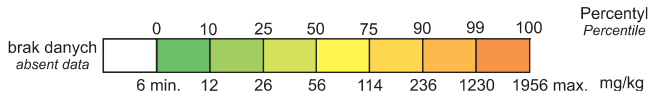


Fig. 3. Cynk w glebach (0,8–1,0 m)

Zinc in subsoil (0.8–1.0 m)



anomalię miedzi zanotowano w powierzchniowej warstwie gleb we wschodniej części Parku Łazienkowskiego. Gleby zawierają tu do 525 mg/kg tego pierwiastka oraz do 52 mg/kg chromu. W głębszej warstwie zawartości obu pierwiastków wyraźnie maleją. Zanieczyszczenie o charakterze lokalnym związane jest prawdopodobnie z działalnością Koszar Kantonistów lub remontami tego obiektu prowadzonymi od lat 80. XX wieku.

Zdecydowana większość badanych gleb zawiera <100 ppm miedzi, co stanowi najczęściej przyjmowaną granicę dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka (Kabata-Pendias, Pendias, 1999). Miedź jest niezbędnym składnikiem roślin do ich normalnego rozwoju i wzrostu. Częściej stwierdza się niedobory tego pierwiastka, które są równie szkodliwe jak nadmiar. Na szkodliwe oddziaływanie nadmiaru miedzi w postaci ograniczenia wzrostu czy chlorozy mogą być nara-

Tabela 1

Parametry statystyczne pierwiastków chemicznych i kwasowości powierzchniowej warstwy gleb
Statistical parameters of chemical elements and acidity of topsoil

Pierwiastek	Jednostka	Gleby parków ¹⁾ n = 242				Gleby Warszawy ²⁾ n = 57		Gleby Warszawy i okolic ³⁾ n = 1713		Gleby Polski ²⁾ n = 10 840	
		min.	max.	mediana	średnia geom.	mediana	średnia geom.	mediana	średnia geom.	mediana	średnia geom.
pH		5,8	8,9	7,8	7,7	7,3	7,0	6,1	5,8	6,1	5,9
Al	%	0,19	0,95	0,56	0,55	–	–	–	–	–	–
As	mg/kg	<5	9	<5	<5	<5	<5	3	3,4	<5	<5
Ba	mg/kg	21	286	68	69	41	41	–	–	32	32
Ca	%	0,06	3,17	0,68	0,62	0,43	0,35	–	–	0,18	0,17
Cd	mg/kg	<1	2	<1	<1	<1	<1	<0,3	0,3	<0,5	<0,5
Co	mg/kg	<1	7	3	3	2	1,5	1	1,5	2	2
Corg.	%	0,26	5,27	1,96	1,91	–	–	–	–	–	–
Cr	mg/kg	3	52	10	10	5	4,5	–	–	4	4
Cu	mg/kg	4	525	20	21	12	11	9	8	5	5
Fe	%	0,22	1,61	0,86	0,84	0,50	0,49	0,47	0,43	0,51	0,15
Hg	mg/kg	<0,05	2,17	0,17	0,16	0,05	0,06	–	–	<0,05	<0,05
K	%	0,04	0,21	0,10	0,10	–	–	–	–	–	–
Mg	%	0,04	0,35	0,12	0,12	0,07	0,06	–	–	0,06	0,06
Mn	mg/kg	60	799	248	242	156	137	149	118	217	173
Na	%	0,007	0,110	0,014	0,015	–	–	–	–	–	–
Ni	mg/kg	3	97	8	8	5	4	4	4	4	4
P	%	0,016	0,146	0,055	0,055	0,035	0,034	–	–	0,034	0,033
Pb	mg/kg	7	595	46	47	20	22	18	18,3	13	16
S	%	0,006	0,065	0,028	0,027	0,010	0,010	–	–	0,012	0,012
Sr	mg/kg	5	78	21	20	16	12	–	–	8	8
Ti	mg/kg	41	253	109	105	30	28	–	–	26	26
Zn	mg/kg	24	691	132	132	64	65	54	51,7	35	40

n – liczba próbek; ¹⁾ Dusza-Dobek, 2011; ²⁾ Lis, Pasieczna, 1995; ³⁾ Lis, 1992

żone rośliny w rejonie anomalii występującej w glebach w Parku Morskie Oko i Parku Łazienkowskim.

Przeciętne zawartości rtęci w glebach powierzchniowych parków (0,17 mg/kg) oraz na głębokości 0,8–1,0 m (0,12 mg/kg) przekraczają wartość mediany w glebach Warszawy i Polski (tab. 1). Są jednocześnie wyraźnie mniejsze od zawartości oznaczonych w parkach miejskich kilku miast europejskich, m.in. Glasgow, Ljubljany i Uppsali (Rodrigues i in., 2006). Biorąc pod uwagę skalę przedstawionych badań (1:10 000), trudno w sposób jednoznaczny łączyć anomalie rtęci z najbardziej powszechnymi źródłami tego pierwiastka w środowisku miejskim (emisje komunikacyjne i przemysłowe), wskazywanymi przez wielu autorów (Paulo, Krzak, 1997; Rodrigues i in., 2006; Pasieczna, 2012).

Zakres i przestrzenne rozmieszczenie rtęci w badanych glebach są bardzo zróżnicowane. Do nagromadzenia rtęci

w glebach w północnej części Parku Łazienkowskiego oraz w rejonie tzw. folwarku, czyli zaplecza technicznego parku, mogło przyczynić się stosowanie rtęciowych zapraw nasiennych. W powierzchniowej warstwie gleb stwierdzono tu do 1,58 mg/kg rtęci, a na głębokości 0,8–1,0 m nawet 3,17 mg/kg (fig. 4, 5). Do koncentracji rtęci w glebach zielców i parków miejskich przyczynia się również nawożenie ściekami komunalnymi oraz stosowanie środków ochrony roślin. Anomalie >1 mg/kg rtęci zanotowano również w glebach na terenie Agrykoli (zwłaszcza na większej głębokości) oraz w północnej części parków Morskie Oko i Ujazdowskiego.

Maksymalne stężenia rtęci mieszczą się w zakresie stężeń dopuszczalnych (0,3–5 mg/kg) zaproponowanych w celu ochrony gleb (Kabata-Pendias, Pendias, 1999). Rtęć nie podlega na ogół dużej koncentracji w roślinach i nie

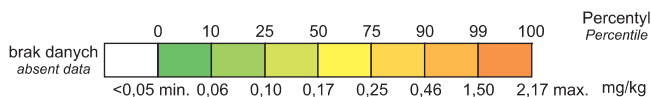
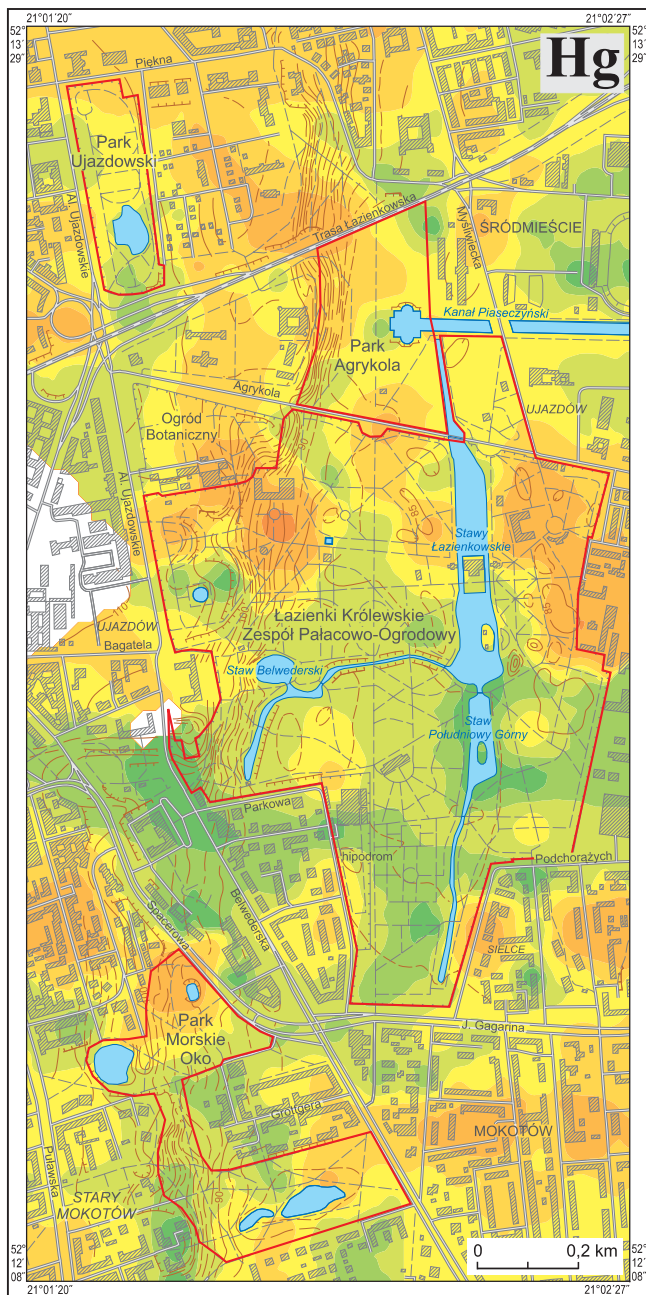


Fig. 4. Rtęć w glebach (0,0–0,3 m)

Mercury in topsoil (0.0–0.3 m)

spełnia w nich żadnej określonej funkcji metabolicznej, a do roślin najbardziej wrażliwych na nadmiar tego pierwiastka należą róże.

Wartość mediany baru w badanych glebach powierzchniowych przekracza wartość tła geochemicznego tego pierwiastka (32 mg/kg). Na terenach zwartej zabudowy miejskiej położonych na północ od parku Agrykola i południe od Parku Łazienkowskiego, zawartość baru w powierzchniowej

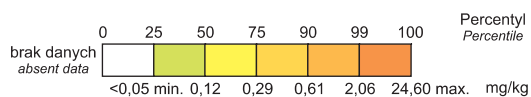
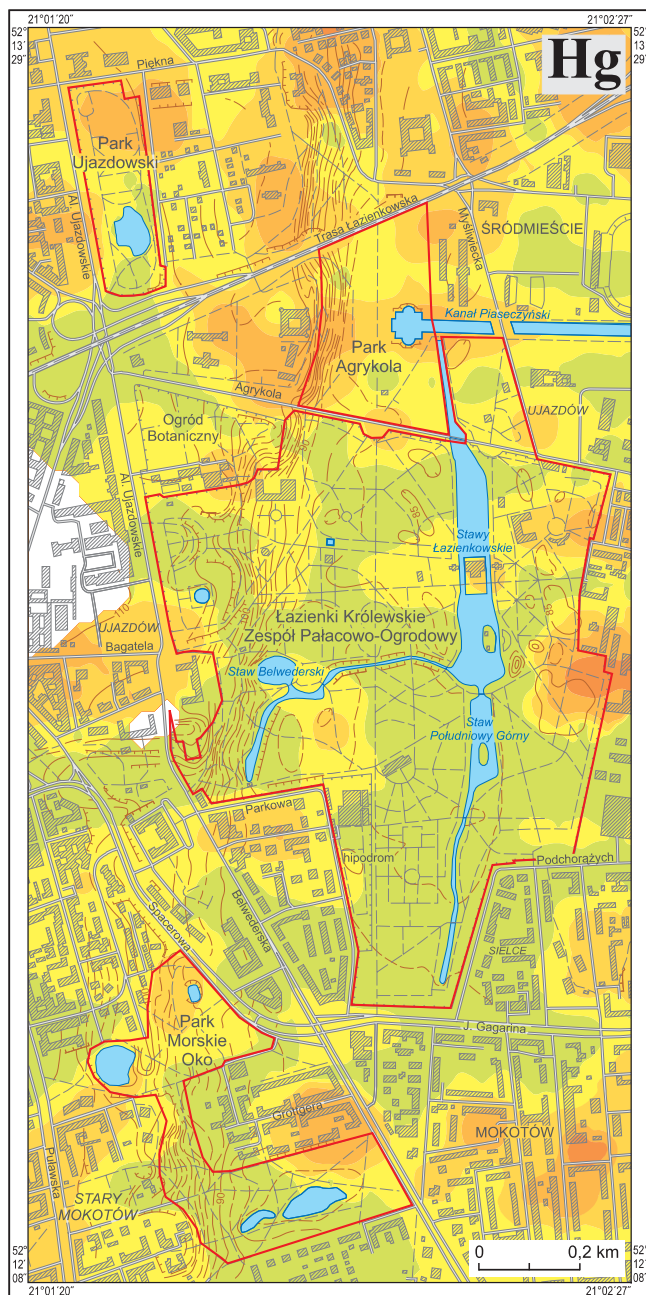


Fig. 5. Rtęć w glebach (0,8–1,0 m)

Mercury in subsoil (0.8–1.0 m)

warstwie gleb przekracza 86 mg/kg, a w zakresie głębokości 0,8–1,0 m 71 mg/kg. W glebach na głębokości 0,0–0,3 m w Parku Morskie Oko występuje średnio od 68 do 112 mg/kg baru, natomiast w pozostałych parkach jego zawartości jedynie punktowo przekraczają wartość przeciętną. Głównym źródłem baru w glebach miejskich są opady pyłów ze spalania węgla w warszawskich elektrociepłowniach, które obfitują w ten pierwiastek (Różkowska, Ptak, 1995).

Z tym samym źródłem związana jest zawartość siarki i strontu. Przeciętne zawartości tych pierwiastków w warstwie powierzchniowej (0,027% siarki i 20 mg/kg strontu) przekraczają wyraźnie zawartości występujące w glebach całej Warszawy i Polski (tab. 1). Najwięcej punktowych anomalii siarki (w granicach 0,035–0,055%) zawierają gleby w Parku Łazienkowskim i Morskie Oko, a jej średnia zawartość maleje wraz z głębokością.

Najsilniej wzbogacone w stront są gleby z obu zakresów głębokości w Parku Morskie Oko. Zawierają od około 20 do ponad 40 mg/kg strontu. Maksymalne zawartości strontu (199 mg/kg) i baru (362 mg/kg) stwierdzono w rejonie bieżni boiska piłkarskiego w parku Agrykola. Gleby na głębokości 0,8–1,0 m zawierają tam również 15 mg/kg kobaltu, 34 mg/kg niklu i 746 mg/kg tytanu. Anomalia jest prawdopodobnie związana z wykorzystaniem zanieczyszczonych materiałów budowlanych (zawierających m.in. popioły paleniskowe) do prac modernizacyjnych prowadzonych w parku do 2008 r.

Większość gleb z obu badanych zakresów głębokości charakteryzuje się bardzo małą zawartością arsenu (<5 mg/kg) i kadmu (<1 mg/kg), co odpowiada wcześniejszym badaniom Czarnowskiej i Gworek (1988), Lisa (1992) i Pasiecznej (2003).

Rozkład przestrzenny zawartości glinu, kobaltu, chromu, żelaza, potasu, magnezu, niklu i tytanu w glebach, wskazuje na wyraźny związek ze składem chemicznym ich skał macierzystych. Najmniejszymi zawartościami tych pierwiastków charakteryzują się gleby Parku Łazienkowskiego utworzone na piaszczystych osadach rzecznych o ubogim składzie litologicznym. Na terenie pozostałych parków, zlokalizowanych w rejonach występowania gliniastych i ilastych utworów plejstocenu wysoczyzny i jej skłonu, gleby obfitują w wymienione pierwiastki, szczególnie na głębokości 0,8–1,0 m. Ich zawartości są związane ze składem mechanicznym gleb, zawartością substancji organicznej i ilością żelaza. Na zawartości naturalne nakładają się punktowe anomalie antropogeniczne, stąd przeciętne zawartości kobaltu, chromu, żelaza, magnezu, niklu i tytanu są większe od zawartości charakterystycznych dla gleb Warszawy i tła geochemicznego w glebach Polski (tab. 1). Odmienny obraz przestrzennego rozmieszczenia tych pierwiastków jest obserwowany w glebach całej Warszawy (Lis, 1992). Stężenia maksymalne występują wzdłuż doliny Wisły w glebach jej tarasu zalewowego, co związane jest z transportem zanie-

czyszczonych wód z silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych rejonów na południu kraju.

W glebach Parku Łazienkowskiego zanotowano niewielkie zawartości magnezu, potasu i fosforu, co może prowadzić do zakłóceń fizjologicznych roślin (Stuczyński i in., 2000). Zawartości tych pierwiastków, obok kwasowości gleb, są istotnym czynnikiem warunkującym kształtowanie i kondycję zbiorowisk roślinnych.

Większe zawartości sodu (>0,018%) obserwowane w glebach wykształconych na wysoczyźnie i skarpie warszawskiej, są związane z większą ilością cząstek spławialnych (<0,02 mm) w porównaniu z glebami piaszczystymi oraz alkalizacją środowiska. Obecność sodu w glebach wzdłuż tras komunikacyjnych jest też wynikiem odśnieżania ulic za pomocą chlorku sodu. Zwiększona zawartość sodu w glebach (>2,5 mg/100 g gleby) oraz odczyn zasadowy (pH >8), ograniczają pobieranie fosforu i większości mikroelementów z gleby przez rośliny, prowadząc do chlorozy liści, a w sytuacjach krytycznych do zamierania roślin (Breś, 2007). Największe zagrożenie dla roślin na badanym terenie występuje wzdłuż ulic przy Parku Morskie Oko i Parku Ujazdowskim.

Zawartość wapnia lokalnie przekracza 1%, osiągając maksymalnie 3–4%, m.in. w rejonie Parku Morskie Oko i Agrykoli. Są to wartości znacznie przekraczające tło geochemiczne w glebach Polski. Obecność tego pierwiastka, zwłaszcza w powierzchniowej warstwie gleb, jest związana z wprowadzeniem do nich materiałów budowlanych (np. gruzu), który w okresie powojennym był głównym materiałem w składzie nasypów miejskich, w tym w nadbudowie skarpy wiślanej (Biernacki, 2000). Źródłem wapnia w glebach są również lotne popioły z elektrociepłowni.

Zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleb na terenie badanych parków waha się w granicach od 0,26 do 5,27%. Największe zawartości zanotowano w glebach Ogrodu Botanicznego, zlokalizowanego przy północno-zachodniej granicy Parku Łazienkowskiego, co należy wiązać z prowadzonym tam intensywnym nawożeniem organicznym pod uprawę roślin. Zwiększone zawartości węgla organicznego występujące w glebach Parku Łazienkowskiego, Ujazdowskiego i Morskie Oko wskazują na obecność dobrze rozłożonej substancji organicznej zapewniającej żyzność i urodzajność gleb (Dobrzański i in., 1975a). Mniejszymi zawartościami węgla charakteryzują się gleby Parku Agrykola – średnio 1,77%.

PODSUMOWANIE

Skład chemiczny gleb znajduje odzwierciedlenie w geologii i geochemii skały macierzystej (podłoża). Gleby utworzone z utworów piaszczystych budujących taras nadzalewowy Wisły są ubogie we wszystkie badane pierwiastki. Na plejstocenijskich glinach zwałowych wytworzyły się gleby wzbogacone we frakcję pylastą i ilastą oraz glin, kobalt, chrom, żelazo, potas, magnez, nikiel i tytan.

Odczyn badanych gleb jest zróżnicowany i w znacznym stopniu uwarunkowany sposobem ich użytkowania. Powierzchniowa warstwa gleb na obszarach zabudowanych oraz w parkach: Ujazdowskim, Agrykola i Morskie Oko wykazuje najczęściej odczyn zasadowy, pH gleb Parku Łazienkowskiego jest obojętne. Charakterystyczny jest wzrost odczynu gleb wraz z głębokością.

Zawartości miedzi, ołowiu i cynku w analizowanych glebach wiążą się głównie z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego pyłami i gazami, pochodzącymi ze środków transportu. Anomalie baru, strontu i siarki są związane przede wszystkim z opadem pyłów po spalaniu węgla, emitowanych przez warszawskie elektrociepłownie i zakłady przemysłowe. Większość anomalii antropogenicznych skupia się w powierzchniowej warstwie gleb, co obserwowane jest na terenie wielu miast.

Do wzbogacenia gleb parków w rtęć przyczyniają się emisje przemysłowe i komunikacyjne oraz zabiegi pielęgnacyjne i konserwacyjne, związane z utrzymywaniem miejskich terenów zielonych.

Gleby Parku Łazienkowskiego są ubogie w potas, magnez i fosfor, co może prowadzić do zakłóceń fizjologicznych

roślin. Podobne zagrożenie stwarzają zwiększone zawartości sodu w glebach wzdłuż tras komunikacyjnych.

Zawartości kadmu, ołowiu, cynku i rtęci w większości badanych gleb nie stanowią zagrożenia fitotoksycznego dla roślin.

Przeciętne zawartości wielu pierwiastków oznaczone w glebach parków są większe od wartości średnich w glebach Warszawy. Na anomalie antropogeniczne, obejmujące swym zasięgiem całe miasto, nakłada się duża ilość anomalii punktowych, których obecność mogła być stwierdzona dzięki szczegółowej skali przeprowadzonych badań.

Badania zrealizowano w projekcie 61.3207.0701.00.0 finansowanym ze środków przeznaczonych na działalność statutową Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.

LITERATURA

- BACH A., PAWŁOWSKA B., 2007 — Wpływ metali ciężkich na stan roślinności drzewiastej Krakowa. *Chem. Inż. Eko.*, **14**, 9: 911–917.
- BARAN S., BIELIŃSKA E.J., KAWECKA-RADOMSKA M., 2010 — Zawartość metali ciężkich w glebach parków miejskich podlegających zróżnicowanemu wpływowi antropogenicznemu. *Zesz. Nauk. Inż. Środow. Uniw. Zielonogór.*, **137**, 17: 131–137.
- BIERNACKA E., MADANY R., 1990 — Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń metalicznych aglomeracji warszawskiej w przekroju południkowym. Sem. Nauk. „Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych”. Cz. I, 28–29 czerwca, Warszawa: 87–94.
- BIERNACKI Z., 2000 — Geomorfologia i wody powierzchniowe. *W: Wisła w Warszawie. Biuro Zarządu m.st. Warszawy*: 22–70.
- BOGDAŃSKI J., 1990 — Uwarunkowania geomorfologiczne. *W: Środowisko przyrodnicze Warszawy* (red. J. Kazimierski): 90–97. PWN, Warszawa.
- BREŚ W., 2007 — Przyczyny zamierania drzew w miastach. *Prz. Kom.*, **191**, 8: 38–42.
- CHEN T.B., ZHENG Y.M., LEI M., HUANG Z.C., WU H.T., CHEN H., FAN K.K., YU K., WU X., TIAN Q.Z., 2005 — Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, **60**: 542–551.
- CZARNOWSKA K., 1997 — Poziom niektórych metali ciężkich w glebach i liściach drzew miasta Łodzi. *Rocz. Gleb.*, **48**, 3/4: 49–61.
- CZARNOWSKA K., 1999 — Metale ciężkie w glebach zieleńców Warszawy. *Rocz. Gleb.*, **50**, 1/2: 31–39.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., 1988 — Zanieczyszczenie kadmem gleb Warszawy. *Rocz. Gleb.*, **39**, 4: 129–133.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., 1991 — Stan zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem i miedzią gleb Warszawy. *Rocz. Gleb.*, **42**, 1/2: 49–56.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., KOZANIECKA T., LATUSZEK B., SZAFRAŃSKA E., 1983 — Heavy metals content in soils as indicator of urbanization. *Pol. Ecol. Stud.*, **9**, 1/2: 63–79.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., SZAFRANEK A., 1994 — Akumulacja metali ciężkich w glebach i warzywach korzeniowych z ogrodów działkowych dzielnicy Warszawa-Mokotów. *Rocz. Gleb.*, **45**, 1/2: 45–54.
- CZARNOWSKA K., KONECKA-BETLEY K., 1977 — Wpływ zanieczyszczeń atmosfery na właściwości gleb i akumulację metali ciężkich w glebach i roślinach na terenie Warszawy. *Człowiek i Środowisko*, **4**: 73–90.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., 1990a — Gleby. *W: Środowisko Przyrodnicze Warszawy* (red. J. Kazimierski): 197–212. PWN, Warszawa.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., 1990b — Zawartość chromu, niklu i kadmu w powierzchniowej warstwie gleb Warszawy. Sem. Nauk. „Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych”. cz. I, 28–29 czerwca, Warszawa: 80–86.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., 1990c — Zawartość cynku, ołowiu i miedzi w powierzchniowej warstwie gleb Warszawy. Sem. Nauk. „Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych”. Cz. I, 28–29 czerwca, Warszawa: 80–94.
- DMOCHOWSKI W., BADUREK M., 2001 — Zmiany składu chemicznego liści drzew pod wpływem środowiska miejskiego. *W: Obieg pierwiastków w przyrodzie* (red. B. Gworek, A. Mock). Monografia t. I. IOŚ: 218–224.
- DOBZJAŃSKI B., BOREK S., CZARNOWSKA K., CZERWIŃSKI Z., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., KĘPKA M., KONECKA-BETLEY K., KUSIŃSKA A., MAZUREK A., PRACZ J., 1975a — Badania gleboznawcze Parku Łazienkowskiego w Warszawie w nawiązaniu do ochrony środowiska. cz. I. Charakterystyka gleb. *Rocz. Nauk Rol.*, seria A, **101**, 1: 101–139.
- DOBZJAŃSKI B., BOREK S., CZARNOWSKA K., CZERWIŃSKI Z., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., KĘPKA M., KONECKA-BETLEY K., KUSIŃSKA A., MAZUREK A., PRACZ J., 1975b — Badania gleboznawcze Parku Łazienkowskiego w Warszawie w nawiązaniu do ochrony środowiska. cz. I. Wpływ aglomeracji miejskiej na gleby i rośliny. *Rocz. Nauk Rol.*, ser. A, **101**, 1: 141–157.
- DUSZA-DOBEK A., 2011 — Szczegółowe badania geochemiczne gleb, osadów wodnych i wód powierzchniowych w wybranych parkach Warszawy. *Centr. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa*.
- GALUŠKOVÁ I., BORŮVKAL., DRÁBEK O., 2011 — Urban soil contamination by potentially risk elements. *Soil & Water Res.* **6**, 2: 55–60.

- GWOREK B., KWASOWSKI W., 2001 — Wpływ motoryzacji na środowisko. *W: Obieg pierwiastków w przyrodzie* (red. B. Gworek, A. Mock). Monografia t. I. IOŚ: 39–48.
- HERNANDEZ L.M., RICO M.C., GONZALEZ M.J., HERNAN M.A., 1987 — Environmental contamination by lead and cadmium in plants from urban area of Madrid, Spain. *Bull. Environ. Cont. Toxic.*, **38**: 203–208.
- IMPERATO M., ADAMO P., NAIMO D., ARIENZO M., STANZIONE D., VIOLANTE P., 2003 — Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environ. Pol.*, **124**, 2: 247–256.
- JOHNSON C.C., DEMETRIADES A., LOCUTURA J., OTTENSEN R.T., 2011 — Mapping the chemical environment of urban areas. Wiley-Blackwell, UK.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999 — Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa
- KONDRACKI J., 2000 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- LIS J., 1992 — Atlas geochemiczny Warszawy i okolic 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995 — Atlas geochemiczny Polski 1:2 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MADRID L., DIAZ-BARRIENTOS E., MADRID F., 2002 — Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, **49**: 1301–1308.
- MALCZYK P., KĘDZIA W., NOWAK M., 1996 — Metale ciężkie w glebach miasta Bydgoszczy. *Rocz. Gleb.*, **47**, 3/4: 195–202.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W., PIOTROWSKA K. (red.), 2006 — Mapa geologiczna Polski w skali 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MEINHARDT B., DANIELSKA I., LUBACKA L., HANULA P., 2011 — Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb w województwie dolnośląskim w 2010 roku. WIOŚ, Wrocław.
- MIGASZEWSKI Z., GAŁUSZKA A., 2003 — Zarys geochemii środowiska. Wyd. Akademii Świętokrzyskiej, Kielce.
- MÓRAWSKI K., GŁĘBOCKI W., 1982 — Warszawa. Przewodnik turystyczny. Kraj. Ag. Wyd., Warszawa.
- NIESIOBĘDZKA K., 2007 — Akumulacja metali ciężkich w glebach i roślinności trawiastej przy trasach szybkiego ruchu. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych. *Inst. Ochr. Środ.*, **31**: 278–283.
- NIESIOBĘDZKA K., KRAJEWSKA E., 2008 — Metale ciężkie w układzie gleba-roślinność w środowisku wielkomiejskim. Mat. z II konf. nauk. „Ekotoksykologia w ochronie środowiska” (red. B. Kołwzan, K. Grabas): 265–270. Szklarska Poręba, 25–27 września 2008. Wyd. PZITS.
- PAPAFILIPPAKI A., STAVROULAKIS G., 2009 — Assessment of lead and cadmium contamination in roadside soils and plants from Chania city (Greece). Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology, Chania, Crete, Greece, 3–5 September, 2009.
- PASIECZNA A., 2003 — Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A., 2012 — Rteć w glebach obszarów zurbanizowanych Polski. *Prz. Geol.*, **60**, 1: 46–58.
- PAULO A., KRZAK M., 1997 — Rteć z końcem XX wieku. *Prz. Geol.*, **45**, 10A: 951–956.
- RODRIGUES S., PEREIRA M.E., DUARTE A.C., AJMONE-MARSAN F., DAVIDSON C.M., GRČMAN H., HOSSACK I., HURSTHOUSE A.S., LJUNG K., MARTINI C., OTABONG E., REINOSO R., RIUZ-CORTES E., URQUHART G.J., VRŠČAJ B., 2006 — Mercury in urban soils: A comparison of local spatial variability in six European cities. *Sci. Tot. Environ.*, **368**: 926–936.
- RÓŻKOWSKA A., PTAK B., 1995 — Bar w węglach kamiennych Górnego Śląska. *Prz. Geol.*, **43**, 3: 223–226.
- SARNACKA Z., 1979 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Warszawa Wschód (524). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1980 — Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Warszawa Wschód (524). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1992 — Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **88**.
- SAWICKI L., 1960 — Budowa geologiczna i morfologia terenu Warszawy. *Prz. Geol.*, **93**, 12: 622–628.
- STUCZYŃSKI T., BUDZYŃSKA K., GAWRYSIK L., JAD-CZYSZYŃ J., 2000 — Gleby. *W: Wisła w Warszawie*. Biuro Zarządu m.st. Warszawy: 71–81. Warszawa.
- STUPNICKA E., 2007 — Geologia regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa.
- XIONG Z., 1998 — Heavy metal contamination of urban soils and plants in relation to traffic in Wuhan city, China. *Toxic. & Environ. Chem.*, **65**, 1–4: 31–39.

SUMMARY

Rational development of urban areas should include the necessity of natural resources protection. Diagnosis and monitoring of soils, as a flora and fauna habitat, are the priorities.

The main purpose of the studies was to assess the level of metal pollution in soils of some Warsaw urban parks (Łazienki Królewskie, Park Ujazdowski, Park Morskie Oko and Agrykola), along with comparison to the geochemical background and identification of sources of anomalies. Results of the studies may be a valuable source of geochemical information for the Łazienki Królewskie Park management and municipal administration responsible for environmental protection and urban greenery.

Samples were collected from the depth of 0.0–0.3 m and 0.8–1.0 m at 242 points, with density of 1 sample/0.01 km².

Samples were digested with *aqua regia* at the temperature 95°C for 1 hour. The following elements were determined with an ICP-AES method: Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti and Zn. Mercury was determined with a CV-AAS method. The analyses were performed at the laboratory of the Polish Geological Institute in Warsaw.

Anthropogenic factors (dust deposition of fuel burning origin, building materials in soils e.g. rubble) influence neutral or alkaline reaction of most urban top and bottom soils.

High concentrations of copper, lead and zinc are an indicator of communication pollution in city areas (fuel combustion, dusts, tyre wear). The medians of copper (20 mg/kg), lead (46 mg/kg) and zinc (132 mg/kg) in the analysed soils are higher than the geochemical background. The Pb and Zn

contents in both soil intervals (>200 mg/kg) near Wielka Oficyna in Łazienki Królewskie Park, is related probably to the Military College existing in this place in the 19th century (ammunition compound, weapon conservation). Concentrations of Pb and Zn in the central and south-eastern parts of Łazienki Królewskie Park, southern part of Park Morskie Oko and central part of Agrykola stayed close to the natural geochemical background (13 and 35 mg/kg, respectively). In general, the accumulation of Cu, Pb and Zn in the park soils is limited to the surface level.

Industrial emissions also contribute to mercury accumulation in the park soils. A high Hg anomaly (top – 1.58 mg/kg, bottom – 3.17 mg/kg) was detected in the soils of the eastern part of Łazienki Królewskie Park. The pollution is probably due to applying seeds with mercury mortar (in the past) or sewages as a fertilizers or pesticides.

Spatial distribution of barium, strontium and sulphur in the park soils (as well as Warsaw soils) is mostly related to dusts from suburban power plants and other industrial emissions. The medians of Ba (68 mg/kg), Sr (21 mg/kg) and S (0.028%) in the park soils are definitely higher than the geochemical background.

Most soils from both depth intervals contain low arsenic (<5 mg/kg) and cadmium (<1 mg/kg) concentration.

The accumulation of aluminum, cobalt, chromium, iron, potassium, magnesium, manganese, nickel and titanium in the park soils is dominated by natural (geological) factors. The lowest concentrations occurred in sandy soils of the central and eastern parts of the study area.

Low contents of magnesium, potassium and phosphorus and enrichment of sodium in soils may negatively influence the urban greenery condition.