

WSTĘP

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy od 25 lat prowadzi badania geochemiczne terenów zurbanizowanych i przemysłowych, których celem jest ocena stopnia zanieczyszczenia gleb, osadów śródlądowych zbiorników wodnych i wód powierzchniowych na terenach aglomeracji miejskich w Polsce.

Pierwszym opracowaniem z tej serii badań, publikowanych w formie kartograficznej, był *Atlas geochemiczny Warszawy i okolic w skali 1:100 000* (Lis, 1992). W atlasie zawarto wyniki analiz powierzchniowej warstwy gleb i osadów badanych w latach 1989–1990. Oznaczono w nich znacznie mniej pierwiastków i wskaźników w stosunku do aktualnych możliwości analitycznych, a pobieranie próbek wykonano z gęstością o połowę mniejszą w porównaniu z zastosowaną w przedstawianej pracy. W dodatku nakład atlasu z 1992 r. został całkowicie wyczerpany, a jednocześnie wzrosło zapotrzebowanie na informacje o stanie środowiska przyrodniczego, przydatne przy opiniowaniu projektów planów zagospodarowania przestrzennego, prowadzeniu postępowań związanych z wydawaniem decyzji o uwarunkowaniach środowiskowych i pozwoleń wodnoprawnych, ocenie zagrożeń dla środowiska gruntowo-wodnego oraz wypełnianiu obowiązku nałożonego na starostów ustawą *Prawo ochrony środowiska*, tj. prowadzeniu okresowych badań jakości gleby i ziemi w ramach państwowego monitoringu.

Z uwagi na szybkie tempo zmian w krajobrazie miasta w okresie ostatnich 20 lat konieczna stała się aktualizacja zdjęcia geochemicznego środowisk powierzchniowych Warszawy. W 2013 r. na zlecenie Ministerstwa Środowiska podjęto zatem prace nad przygotowaniem nowego *Atlasu geochemicznego Warszawy i okolic*. Opracowanie sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Obszar badań (ok. 1200 km²) obejmuje teren m.st. Warszawy oraz jego najbliższe okolice: Łomianki, Ząbki, Marki, Zielonkę, Kobyłkę, Wołomin, Sulejówkę, Józefów, Otwock i Piastów, a także część Konstancina-Jeziorny, Piaseczna i Pruszkowa. Celem projektu jest przedstawienie w formie kartograficznej aktualnego stopnia zanieczyszczenia gleb z dwu zakresów głębokości, osadów rzecznych, strumieniowych i jeziornych oraz wód powierzchniowych. Pobieranie próbek gleb, osadów i wód powierzchniowych z terenu miasta przeprowadzono w regularnej siatce 500 x 500 m, koniecznej do opracowania map w skali 1:50 000 dla terenów w granicach Warszawy. Warto podkreślić, że jeszcze żadna aglomeracja w Europie nie ma tak szczegółowego opracowania geochemicznego.

Istotne jest objęcie badaniami osadów i wód powierzchniowych, które są bardzo czułymi

wskaźnikami źródeł zanieczyszczeń i pierwszym sygnałem ostrzegającym o zagrożeniach. Mogą stanowić podstawę do podjęcia szybkich działań eliminujących degradację. Szczególną wagę mają badania niewielkich zbiorników wód stojących i drobnych cieków, najbardziej narażonych na zanieczyszczenia i nie objętych monitoringiem wód prowadzonym przez GIOŚ.

Nowy *Atlas geochemiczny Warszawy i okolic*, oprócz wersji drukowanej, będzie także dostępny on-line na stronie internetowej PIG-PIB (<http://www.mapgeochem.pgi.gov.pl/>) oraz na stronie Ministerstwa Środowiska.

W realizacji opracowania brali udział:

- H. Tomassi-Morawiec, A. Pasieczna** – koncepcja i projekt badań, nadzór i koordynacja prac;
- A. Biel, A. Bliźniuk, P. Dobek, P. Kaszycki, T. Kolecki, P. Kostrz-Sikora, W. Markowski, T. Szyrak, J. Szyborska-Kaszycka** – pobieranie próbek;
- H. Tomassi-Morawiec, T. Kolecki, W. Markowski** – bazy danych;
- I. Jaroń, D. Lech, A. Maksymowicz, A. Sztuczyńska, E. Włodarczyk** – kierownictwo i koordynacja prac analitycznych;
- M. Cichorski, Z. Prasol** – mechaniczne przygotowanie próbek do analiz;
- M. Bellok, M. Białecka, M. Gembal, E. Kałwa, E. Maciołek** – chemiczne przygotowanie próbek do analiz;
- M. Janasz, M. Jaskólska, M. Stasiuk** – oznaczanie zawartości węgla organicznego w glebach;
- M. Bellok, M. Białecka, M. Gembal, E. Maciołek** – oznaczanie pH;
- E. Górecka, D. Karmasz, J. Retka** – oznaczanie rtęci;
- W. Bureć-Drewniak, I. Jaroń, J. Kucharzyk, M. Liszewska** – analizy ICP-OES;
- D. Karmasz, J. Retka, I. A. Wysocka** – analizy ICP-MS;
- M. Bellok, E. Kałwa, E. Maciołek, A. Maksymowicz, E. Włodarczyk** – oznaczanie wskaźników fizykochemicznych w wodach;
- E. Grabiec-Raczak, M. Janasz, M. Stasiuk, A. Sztuczyńska** – oznaczanie anionów w wodach;
- J. Gąsior, M. Jaskólska, M. Stasiuk, A. Sztuczyńska** – oznaczanie zawartości pestycydów chloroorganicznych oraz polichlorowanych bifenyli;
- B. Kamińska** – oznaczanie zawartości olejów mineralnych;
- J. Gąsior, E. Grabiec-Raczak, M. Jaskólska, A. Sztuczyńska** – oznaczanie zawartości WWA;
- M. Chada, A. Lewandowska, A. Stawicka, W. Wolski, M. Zdonek** – analizy granulometryczne;
- H. Tomassi-Morawiec, A. Dusza-Dobek** – obliczenia statystyczne;
- H. Tomassi-Morawiec, W. Markowski** – opracowanie map geochemicznych;

A. Dusza-Dobek, J. Kaszycka, H. Tomassi-Morawiec – opracowanie mapy geologicznej;
H. Tomassi-Morawiec, I. Bojakowska, A. Pasieczna – interpretacja wyników.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU ARKUSZA

Wśród dużych stolic europejskich Warszawa jest unikatem pod względem środowiska przyrodniczego. Leży nad Wisłą, jedną z największych rzek Europy, której krajobraz w bardzo niewielkim stopniu został przekształcony antropogenicznie. W bezpośrednim sąsiedztwie miasta znajdują się duże tereny chronione. Należą do nich: Kampinoski Park Narodowy, Mazowiecki Park Krajobrazowy (leżący częściowo w granicach Warszawy) oraz Chojnowski Park Krajobrazowy. W końcu 2013 r. 23,6% obszaru Warszawy stanowiła powierzchnia prawnie chroniona, o szczególnych walorach przyrodniczych. Największy udział (64,7%) mają w niej obszary chronionego krajobrazu (Panorama..., 2014), wchodzące w skład Warszawskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu (WOChK), zlokalizowanego na terenie 50 gmin województwa mazowieckiego oraz większości dzielnic Warszawy. WOChK obejmuje tereny chronione ze względu na wyróżniający się krajobraz o zróżnicowanych ekosystemach, służąc równocześnie jako miejsce wypoczynku i rekreacji dla mieszkańców Warszawy i okolic. Na terenie m.st. Warszawy i okolic występują ponadto rezerваты przyrody, użytki ekologiczne, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe i pomniki przyrody.

Część arkusza obejmuje obszary należące do europejskiej sieci ekologicznej Natura 2000. Należy do nich obszar specjalnej ochrony ptaków – Dolina Środkowej Wisły, zajmujący 2350,6 ha w granicach Warszawy (Europejska Sieć..., 2015). Specjalne obszary ochrony siedlisk przyrodniczych to: Białe Błota (w gminie Wołomin), Las Bielański, Las im. Jana III Sobieskiego, Las Natoliński, Łęgi Czarnej Strugi, poligon Rembertów, Puszcza Kampinoska, Strzebla Błotna (w Zielonce).

Położenie administracyjne i geograficzne. Warszawa jest stolicą Polski i województwa mazowieckiego oraz największym miastem w kraju zarówno pod względem powierzchni (517,2 km²), jak i liczby ludności (1 735 400 – stan na dzień 31.12.2014; Dane o Warszawie..., 2014). Miasto stołeczne Warszawa (o statusie powiatu) stanowi jedną gminę, podzieloną na 18 dzielnic.

Warszawa leży w środkowym biegu Wisły, która dzieli ją na część lewobrzeżną i prawobrzeżną. Sieć wodna obszaru objętego *Atlasem*, należąca w całości do zlewni Wisły, to – zarówno ciek i zbiorniki naturalne, jak i urządzenia wodne (kanały). Ciek naturalne odwadniają głównie obszary mniej zurbanizowane – przedmieścia Warszawy oraz otoczenie miasta. Najważniejsze z nich to:

Utrata, Raszynka, Łasica, Czarna, Długa, Świder, Jeziorka, Wilanówka i Potok Służewiecki. Zbiorniki pochodzenia naturalnego to głównie polodowcowe jeziora wytopiskowe i starorzecza. Sztuczne zbiorniki to przede wszystkim zagłębienia po eksploatacji surowców ilastych ceramiki budowlanej, czyli tzw. glinianki, zbiorniki retencyjne i przeciwpożarowe, stawy w parkach, fosy wokół fortów i baseny portowe. Poza granicami miasta występują także stawy hodowlane.

Ukształtowanie powierzchni, geomorfologia. Według regionalizacji fizycznogeograficznej cały obszar arkusza leży w obrębie regionu Niziny Środkowopolskiej, na Nizinie Środkowomazowieckiej (Kondracki, 2009). Główne jednostki morfologiczne występujące na terenie miasta i okolic to wysoczyzny morenowe i dolina Wisły.

Powierzchnie wysoczyzn pochodzą z okresu zlodowaceń środkowopolskich. Większa część lewobrzeżnej Warszawy położona jest na Równinie Warszawskiej, która na zachodzie przechodzi w Równinę Łowicko-Błońską, a na wschodzie ogranicza ją stroma skarpa doliny Wisły o wysokości względnej 10–30 m (Krzywicki, 2013). Równiny Wołomińska i Garwolińska zajmują wschodnią i południowo-wschodnią część obszaru arkusza.

Wschodnia część Warszawy położona jest w obrębie aluwialnych tarasów Wisły (*op.cit.*).

W obrębie doliny Wisły wykształciły się cztery tarasy nadzalewowe akumulacyjne oraz dwa tarasy zalewowe (Morawski, Nowacka, 2007; Morawski, 2008). Najstarszym i najwyższym tarasem w dolinie Wisły na obszarze arkusza jest taras erozyjno-akumulacyjny warszawsko-błoński (północna część Równiny Warszawskiej).

Charakterystycznym elementem rzeźby tarasów nadzalewowych są wydmy i pokrywy piasków eolicznych. W obrębie tarasów zalewowych zachowały się zakola starorzeczy, a niektóre z zagłębień nadal wypełnione są wodą. Największe z nich to jeziora: Wilanowskie, Czerniakowskie i Kamionkowskie (Sarnačka, 1992).

Najwyżej położony naturalny punkt wysokościowy lewobrzeżnej części arkusza zlokalizowany jest na terenie dzielnicy Wola, w rejonie zajezdni autobusowej „Redutowa” (115,7 m n.p.m.), a prawobrzeżnej – w miejscowości Pogorzel, na wschód od Otwocka (125,7 m n.p.m.).

W morfologii miasta wyróżnia się kilka kopców antropogenicznych. Najwyższy z nich – Górka Szczęśliwicka (152 m) został utworzony z gruzu zwożonego w latach 50. XX w., a później także z ziemi z placów budów i śmieci. Kopiec Powstania Warszawskiego na Siekierkach także powstał z gruzu ze zniszczonej zabudowy Warszawy oraz śmieci. Górka Kazurka i Kopa Cwila na Ursynowie zostały usypane z ziemi, gliny i piasku pochodzących z wykopów pod budowę bloków, dróg i metra (Krzywicki, 2013).

Przekształcenia rzeźby na terenie Warszawy powstały również w wyniku zasypywania ziemią i gruzem obniżeń terenu, stawów, glinianek i starorzeczy.

Zabudowa i użytkowanie terenu. W strukturze wykorzystania powierzchni m.st. Warszawy 55,6% zajmują grunty zabudowane i zurbanizowane, 22,6% – użytki rolne, 17,0% – grunty leśne, zadrzewione i zakrzewione, 4,8% – grunty pod wodami i pozostałe (Przeгляд, 2015). Obserwacje terenowe przy poborze próbek wykazały, że w otoczeniu miasta ok. 45% powierzchni zajmują tereny zabudowane i nieużytki, ok. 18% – użytki rolne i ok. 35% tereny leśne.

Gospodarka. M.st. Warszawa to ważny ośrodek gospodarczy, polityczny, naukowy i kulturalny. Jest drugim, po Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, ośrodkiem przemysłowym kraju, mimo że w wyniku zmian systemowych po 1989 r. wiele dawnych dużych zakładów przemysłowych przestało funkcjonować. Główne gałęzie przemysłu działającego obecnie na terenie Warszawy to: przemysł elektrotechniczny, chemiczny, poligraficzny, spożywczy, metalurgiczny i energetyczny.

W miejscowościach podwarszawskich zlokalizowane są głównie drobne zakłady produkcyjne oraz firmy handlowo-usługowe. Pojedyncze większe zakłady przemysłowe, reprezentujące przemysł szklarski, chemiczny, paliwowy, maszynowy, metalowy, elektrotechniczny, spożywczy, drzewny i energetyczny, znajdują się w Wołominie, Kobyłce, Markach, Piastowie, Pruszkowie i Ożarowie Mazowieckim.

Warszawa jest ważnym węzłem komunikacyjnym ruchu kołowego, kolejowego i lotniczego, zarówno w skali międzynarodowej, jak i krajowej oraz lokalnej. Według stanu na koniec 2014 r. w Warszawie zarejestrowanych było 1299,9 tys. pojazdów samochodowych, z czego 81,9% to samochody osobowe (Przeгляд..., 2015).

BUDOWA GEOLOGICZNA I ZŁOŻA KOPALIN

Obszar arkusza znajduje się w centralnej części niecki mazowieckiej, utworzonej w osadach ery mezozoicznej i wypełnionej osadami kredy, paleogenu, neogenu i czwartorzędu.

Wydzielenia litologiczne utworów odsłaniających się na powierzchni zostały ponumerowane na mapie geologicznej ([tabl. 1](#)) w kolejności od najmłodszych do najstarszych (1–44).

Kreda. Najstarsze utwory zarejestrowane na terenie arkusza to morskie osady kredy górnej – margle, wapienie i piaskowce (Morawski, Nowacka, 2007; Morawski, 2008). Ich strop w centralnej części niecki występuje na głębokości 260–290 m (Frankowski i in., 2000).

Paleogen. Osady oligocenu tworzą prawie ciągłą warstwę w stropie utworów kredy, wyścielając dno niecki mazowieckiej. Są to morskie utwory klastyczne z glaukonitem, reprezentowane głównie przez piaski kwarcowe oraz mułki i ły. Miąższość tych osadów waha się w granicach 50–60 m (Sarnacka, 1992).

Neogen. Utwory neogenu (44) stanowią bezpośrednie podłoże osadów czwartorzędu na całym omawianym obszarze. Są to silnie zaburzone glacitektonicznie miocenijskie tzw. ły pstre, wychodzące na powierzchnię lub zalegające pod przykryciem cienkiej warstwy osadów czwartorzędu w elewacjach tzw. fałdów warszawskich – w rejonie Lipkowa, Łomianek i Otwocka (Morawski 1979, 1980, 2008; Morawski, Nowacka, 2007). Odslaniają się także w niektórych miejscach skarpy warszawskiej, np. na Młocinach (Krzywicki, 2013).

Czwartorzęd. Cały badany obszar pokrywają utwory czwartorzędu. Nie występują tylko w rejonach wychodni wyniesionych glacitektonicznie łąw neogenu. Największe miąższości (do 225 m) osady te osiagają w miejscach głębokich rozcięć erozyjnych, a najmniejsze (20–60 m) w strefach o spokojnej budowie geologicznej (Frankowski i in., 2000; Krzywicki, 2013).

W obrębie osadów plejstocenu (zwykle glin lodowcowych) dość często napotyka się kry osadów neogenu i paleogenu. Są to przeważnie piaski i mułki z węglem brunatnym oraz ły pstre neogenu (43) (Morawski, 2011; Morawski, Pielach, 2011). Porwaki osadów neogenu odslaniają się w rejonie Sulejówka, a także w okolicy miejscowości Zabraniec (na SE od Wołomina).

Osady plejstocenu w rejonie Warszawy reprezentują kompleksy: preglacialny, południowopolski, środkowopolski i północnopolski (*op.cit.*).

Rzeczne i jeziorne osady preglacjału, miąższości do 29 m (znane tylko z wierceń), występują przede wszystkim na obszarze wysoczyzny lewobrzeżnej Warszawy na głębokości 27–67 m (Morawski, 1979, 1980; Krzywicki, 2013).

Spośród utworów kompleksu południowopolskiego jedynymi osadami odslaniającymi się na powierzchni są gliny lodowcowe z l o d o w a c e n i a s a n u 2 (42), tworzące niewielkie płyty na NE od Otwocka. Ich występowanie na powierzchni jest związane z wyniesieniem w tym rejonie osadów neogenu, tzw. wypiętrzeniem Wólki Mładzkiej (Baraniecka, 1975, 1976).

Kompleks środkowopolski reprezentują osady zlodowaceń krzyny i odry. W okresie z l o d o w a c e n i a k r z n y w dolinach i obniżeniach terenu akumulowane były osady zastoiskowe (41), natomiast na rozległym obszarze wysoczyzny po obu stronach Wisły osadziły się piaski i żwiry rzeczno-lodowcowe (40), miąższości od kilku do kilkunastu metrów (Sarnacka, 1992). Piaski i mułki zastoiskowe (41), związane z tym zlodowaczeniem, odslaniają się na

powierzchni zdenudowanej skarpy tarasu warszawsko-błońskiego w rejonie Wólka Węglowa-Laski, natomiast utwory rzeczno-lodowcowe (40) pojawiają się na powierzchni na NE od Otwocka w rejonie Wólki Mładzkiej i Żanęcina.

Utwory dolnego, środkowego i górnego stadiała zlodowacenia odry budują powierzchnie wysoczyzn po obu stronach doliny Wisły (Morawski, 2011). Iły jeziorno-lodowcowe (39) stadiała dolnego występują na terenie wysoczyzny warszawskiej (Śródmieście, Mokotów), na zerodowanej powierzchni tarasu warszawsko-błońskiego, a także na obszarze doliny Wisły. Są to ropy warwowe brązowe i szare, reprezentujące osady „jeziorzyska dolnej Pilicy”, o miąższości od kilku do dwudziestu kilku metrów. Osady te odsłaniają się w południowo-zachodnim skraju arkusza, w rejonie Kajetan. Zwięzłe, piaszczyste, ciemnoszare gliny lodowcowe stadiała dolnego (38), często z porwakami osadów neogenu, występują na prawie całym omawianym obszarze. Po zachodniej stronie doliny Wisły tworzą ciągły poziom o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Ich wychodnie obserwowane są w skarpie warszawskiej w rejonie Ursynowa i na odcinku od Służewca do Cytadeli, na terenie Żoliborza, Bielania i Włoch oraz w rejonie Starych Babic i Raszyna. Po wschodniej stronie Wisły wychodnie glin lodowcowych (38) zanotowano w dolinie Świdra.

Najstarsze osady zaliczane do stadiała środkowego zlodowacenia odry to najniższa seria zastoiska warszawskiego – brązowe ropy i mułki jeziorno-lodowcowe (37). Ich maksymalna miąższość na terenie Warszawy wynosi ponad 11 m (Sarnacka, 1980a, b). Utwory te odsłaniają się w krawędziach doliny Wisły i Jeziorki, a także na terenie Bielania, Żoliborza, Bemowa i Włoch oraz w rejonie Sulejówka (w dolinie rzeki Długiej).

Na wysoczyźnie warszawskiej dość powszechnie występują rzeczno-lodowcowe piaski ze żwirami (36), które były akumulowane w czasie transgresji lądolodu stadiała środkowego (Morawski, 2011; Morawski, Pielach, 2011). Leżą na osadach jeziorno-lodowcowych lub na glinach lodowcowych stadiała dolnego. Miejscami tworzą dwa lub trzy poziomy o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Są to piaski drobno- i średnioziarniste z domieszką żwirów. Występują na powierzchni w Śródmieściu, na Żoliborzu, Woli, Bemowie, Ochocie, we Włochach i na Mokotowie oraz poza Warszawą – w rejonie Starych Babic, między Piastowem a Pruszkowem, a także w rejonie Otwocka (Baraniecka, 1975, 1976).

Osady rzeczno-lodowcowe i zastoiskowe zostały przykryte przez gliny lodowcowe pozostawione przez lądolód stadiała środkowego – brunatne gliny piaszczyste, w stropie zwietrzałe i odwapnione (35). Utwory te, występujące na wysoczyznach, zostały usunięte erozyjnie z doliny Wisły. Na obszarze wysoczyzny warszawskiej gliny zachowały się jedynie w postaci cienkich płytów, głównie w Śródmieściu, na Żoliborzu, Woli, Ochocie i we Włochach oraz w rejonie

Iwicznej, Mysiadła, Janek i Pruszkowa. Po wschodniej stronie doliny Wisły niewielkie płyty tych glin odsłaniają się na południe od Sulejówka.

Niewielkie akumulacyjne formy polodowcowe, związane ze stadiąłem środkowym zlodowacenia odry, zachowały się głównie na obszarze wysoczyzny, po wschodniej stronie doliny Wisły. Nieduże pokrywy piasków i żwirów z głazami (34) występują w okolicy Sulejówka, a także w rejonie Duczek (na NE od Wołomina). Żwiry i piaski moren czołowych budują formy akumulacyjne w rejonie Sulejówka oraz w okolicy Konstancina-Jeziornej (33). Z kolei niewielkie formy utworzone przez żwiry i piaski martwego lodu obserwuje się na wschód od miejscowości Majdan (32). Na zdenudowanej powierzchni wysoczyzny warszawskiej i tarasu warszawsko-błońskiego (w rejonie Starych Babic, między wsiami Klaudyn i Macierzysz) występują wały piaszczysto-żwirowe (31) o przebiegu NNE–SSW i wysokości względnej 2–7 m, uznane za ozy lub formy akumulacji szczelinowej (Morawski, 1979, 1980). Drobnodziarniste piaski i piaszczyste mułki kemów (30) tworzą niewysokie, acz lokalnie dość rozległe formy w okolicach Pruszkowa, na południe od Raszyna, w rejonie Iwicznej i na Ursynowie.

W czasie recesji lądolodu stadiału środkowego były akumulowane rzeczno-lodowcowe piaski, żwiry i mułki (29). Po wschodniej stronie doliny Wisły utwory te (miąższości kilku metrów) leżą na glinach lodowcowych stadiału środkowego i pokrywają znaczne powierzchnie terenu w rejonie Aleksandrowa i Starej Miłosnej. Na wysoczyźnie warszawskiej podobne osady występują izolowanymi płatami na Woli, w Śródmieściu i na Żoliborzu. Większe powierzchnie pokrywają we Włochach, na Ursynowie oraz poza Warszawą – na południowy zachód od Raszyna i między Wólką Węglową a Starymi Babicami.

W interstadiale na terenie Mazowsza zachodziła silna erozja rzeczna. Osady z tego okresu – piaski, żwiry i mułki rzeczne z torfami i namułami torfiastymi (28) – występują na powierzchni w Raszynie (7,8 m miąższości) w dolinie Raszynki (Morawski, 2008) i w okolicy Pruszkowa w dolinie Utraty. Dobrze wysegregowane i przemyte piaski różniodziarniste rzeczne ze żwirami, miejscami z przewarstwieniami torfów i mułków (27) odsłaniają się w dolinie Jeziorki w rejonie Konstancina-Jeziornej oraz w dolinie rowu Jeziorki. Niewielkie wychodnie tych utworów pojawiają się także w brzegu skarpy w rejonie Konstancina-Jeziornej i Natolina.

W czasie transgresji lądolodu stadiału górnego zostały zakumulowane ły i piaski jeziorno-lodowcowe zastoiska warszawskiego (26). Są to ły warwowe o miąższości kilku metrów z piaskami jeziorno-lodowcowymi w stropie, odsłaniające się w dolinie rowu Jeziorki.

Silnie rozmyte brązowe gliny lodowcowe (miąższości 2–6 m) górnego stadiału zlodowacenia

odry (25) występują w dolinie rzeki Czarnej (na NW od Wołomina). Bliżej doliny Wisły seria ta została zniszczona (Morawski, 2011; Morawski, Pielach, 2011). Łądolód stadiału górnego pozostawił po sobie także piaski i żwiry z głazami (24), tworzące niewielkie wystąpienia w północno-wschodniej części arkusza (rejon Nowych i Starych Grabi). W tym samym rejonie zachowały się niewielkie polodowcowe formy akumulacyjne – ozy (23) i wały moren czołowych (22).

W czasie recesji łądolodu stadiału górnego akumulowane były piaski i mułki rzeczno-lodowcowe (21). Występujące na NE od Wołomina pokrywy zbudowane z piasków drobno- i średnioziarnistych, z wkładkami piasków gruboziarnistych i żwirów, o miąższości zazwyczaj 2 m, stanowią południowo-zachodni fragment dużego sandru. W rejonie Wołomina lokalnie występują też utwory jeziorno-lodowcowe – ily, mułki i piaski (20).

Utwory kompleksu północnopolskiego reprezentują osady interglacjału eemskiego i zlodowacenia wisły.

W czasie interglacjału eemskiego, po wycofaniu się łądolodu, Wisła rozcięła obszar wysoczyzny na głębokość 40 m i ukształtowała dolinę szeroką na 11 km, w kształcie zbliżonym do współczesnego. Na terenie doliny w trzech cyklach powstał kompleks osadów rzecznych o miąższości do 40 m. Tworzą go przeważnie żwiry z otoczkami i domieszką piasków gruboziarnistych (19), występujące na dość znacznych obszarach we wschodniej części arkusza. W tym czasie powstały też osady facji jeziornej – torfy, gytie, kreda jeziorna, łupki bitumiczne i mułki jeziorne (18). Wypełniają one kopalne zagłębienia jeziorne w dolinie rynnowej, przebiegającej przez Warszawę od Żoliborza przez Wolę i Szczęśliwice do Okęcia. Na Woli dolina ta ulega rozgałęzieniu ku zachodowi i na linii Wola–Włochy–Opacz biegnie równolegle druga dolina (Morawski, 1979, 1980). Miąższość osadów organicznych w rejonie Moczydła wynosi 11 m, a w rejonie Włoch 6,5 m. Na powierzchni osady te pokazują się na Okęciu.

Podczas zlodowacenia wisły łądolód nie objął swym zasięgiem Warszawy i jej okolic. Na przedpolu lodowca na wysoczyznach trwała erozja i denudacja, w rynn timeralskiej akumulacja osadów jeziorno-rzecznych, a w odtworzonym zastoisku warszawskim – akumulacja osadów zastoiskowych. W północnej części arkusza zachodziła ograniczona sedymentacja utworów rzeczno-lodowcowych i rzecznych. W późniejszym okresie miała miejsce erozja rzeczna i akumulacja tarasów rzecznych w dolinie Wisły, a pod koniec tego okresu zlodowacenia – akumulacja osadów eolicznych.

Piaski i mułki jeziorne, miejscami rzeczne (17), stanowią najwyższą część utworów

wypełniających rynnę żoliborsko-szczęśliwicką oraz jej zachodnią odnogę. Osady te mają miąższość kilku metrów i lokalnie zawierają płaty namulów i torfów.

Piaski i żwiry rzeczno-lodowcowe (16), osadzone przez wody roztopowe płynące od czoła lądolodu z północy i północnego zachodu, zajmują duże powierzchnie między Tarchominem a Legionowem.

Lądolód zlodowacenia wisły utrudnił odpływ wód rzeki na północ, w wyniku czego powstało rozległe zastoisko (warszawskie), w którym doszło do akumulacji najmłodszej generacji osadów (Morawski, 2011; Morawski, Pielach, 2011). Stanowią je ły warwowe barwy czekoladowej, z przewarstwieniami mułków ilastych i piasków pyłowatych (15), występujące na Równinie Wołomińskiej, gdzie tworzą ciągłą warstwę o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Lokalnie odsłaniają się małymi płatami w Radości, na Targówku przy ciepłowni Kawęczyn, w rejonie Kobyłki i Marek.

W wyniku erozji związanej z przemieszczaniem się koryta Wisły utworzył się taras erozyjno-akumulacyjny warszawsko-błoński. Na jego obszarze, między Marymontem a Młocinami, odsłaniają się piaski i żwiry rzeczne (14).

Etapowe ustępowanie czoła lądolodu i związane z tym odblokowywanie doliny Wisły powodowało kilkukrotny cykl erozji i akumulacji rzecznej, w wyniku których powstały tarasy nadzalewowe Wisły. Piaski i żwiry rzeczne budujące tarasy nadzalewowe wyższe (otwocki i falenicki/kampinoski) występują szerokim pasem na prawym brzegu Wisły (13). Tarasy nadzalewowe niższe (praski wyższy i praski niższy) zbudowane są z piasków ze żwirami i lokalnie płatów mad na powierzchni (12 i 11). Utwory te mają miąższość 6–10 m i leżą na wysokości 75–80 m n.p.m. (*op.cit.*). Odsłaniają się po obu stronach Wisły, ale na znacznie większym obszarze po wschodniej stronie rzeki.

Utwory stożków napływowych (piaski z domieszką żwirów) o miąższości kilku metrów (10) pokazują się tylko w Łazach (na S od Magdalenki).

Plejstocen + holocen. Rozdzielenie osadów powstałych pod koniec zlodowacenia odry od tych, które powstały już w okresie zlodowacenia wisły, jest często niemożliwe. Dotyczy to zwłaszcza utworów powstałych na wysoczyznach w wyniku procesów denudacyjnych, wietrzeniowych, stokowych i eolicznych.

Utwory rezydualne występują na niewielkich obszarach wysoczyzn, zwłaszcza w obrębie stoków. Są to pokrywy gliniastych piasków ze żwirami i soczewkami gliniastymi (9). Ich miąższość dochodzi do 2 m. Na powierzchni występują wzdłuż północnej i północno-zachodniej granicy

tarasu warszawsko-błońskiego (rejon Łomianek, pas od Izabelina do Młocin) oraz w obrębie wyniesienia Wólki Młódzkiej.

Utwory eluwialne tworzą dwie serie osadów o odmiennej genezie (8). Na zboczach dolin i w zagłębieniach bezodpływowych występują piaski ze żwirami i głazami, spotykane w okolicach Wołomina, Sulejówka i Aleksandrowa. Drugi rodzaj utworów to pokrywy zwietrzelinowe zbudowane z osadów miejscami podobnych do lessu pod względem struktury i składu mechanicznego. Tworzą pokrycie tarasu warszawsko-błońskiego o miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do 2 m w rejonie na zachód od Włoch i Bemowa.

Osady eoliczne to piaski drobnoziarniste jasnożółte i żółtobeżowe (6 i 7), tworzące pokrywy o miąższości do 3 m oraz wydmy. Występują na nadzalewowych tarasach Wisły, głównie otwockim i kampinoskim, z których wkraczają na taras warszawsko-błoński. Wydmy tworzą wały zazwyczaj o przebiegu równoleżnikowym lub NW–SE, a także formy paraboliczne i inne. Wysokość względna wydmy wynosi od kilku do 20 m.

W holocenie w wyniku kolejnych cykli erozyjnych i akumulacyjnych powstały tarasy zalewowe oraz ukształtowało się obecne koryto Wisły. Tarasy zalewowe, zbudowane z piasków różnoziarnistych z domieszką żwirów (4) o miąższości kilku metrów, zajmują znaczne obszary po obu stronach rzeki.

Podczas wylewów powodziowych na niższych tarasach nadzalewowych oraz na tarasach zalewowych powstały mady o zróżnicowanej litologii: od lekkich pylasto-piaszczystych do ciężkich ilastych (3). Zwarte obszary pokryw mad występują po obu stronach rzeki, głównie na tarasach zalewowych w południowej części doliny Wisły. Miąższość mad na tarasach nadzalewowych wynosi 0,5–1,5 m, a na tarasach zalewowych zwykle ok. 2 m, maksymalnie do 5 m na obszarze Gocławia (Sarnacka, 1980a, b).

Starorzecza i zagłębienia bezodpływowe wypełniły się w holocenie namułami i osadami organogenicznymi. W płytkich zbiornikach na wysoczyźnie osadziły się piaski i mułki jeziorne (5). Występują one w miejscowości Rżyska na północ od Wołomina oraz w rejonie Dziekanowa Leśnego. W zagłębieniach bezodpływowych, a także w dnach dolin, zlokalizowanych zarówno w obrębie tarasów nadzalewowych i zalewowych Wisły, jak i na wysoczyznach, nagromadziły się namuły i piaski humusowe (2). Osady te zajmują duże powierzchnie w dolinie Wisły po obu stronach rzeki, a także w dolinach Raszynki, Utraty, Jeziorki, Łasicy, Czarnej i Długiej.

Na obszarze arkusza dość powszechnie występują torfy (1). W dolinie Wisły wypełniają starorzecza na tarasach zalewowych (np. u podnóża krawędzi wysoczyzny w Wilanowie) oraz

płytkie obniżenia deflacyjne na tarasach nadzalewowych. Torfy występują także na wysoczyznach w dolinach Raszynki, Utraty, Łasicy, Długiej i Mieni oraz w zagłębieniach bezodpływowych. Największe obszarowo wystąpienia torfów obserwuje się u podnóża tarasu falenickiego w rejonie Ząbek oraz w północno-wschodnim skraju Białoleki i nieco dalej na północ. Miąższość torfów wynosi zazwyczaj od kilkudziesięciu centymetrów do ok. 2 m.

Kilkusetletnia działalność człowieka doprowadziła do licznych przekształceń pierwotnej morfologii terenu oraz do powstania nasypów antropogenicznych. Pokrywają one znaczny procent powierzchni miasta: głównie Śródmieście, a także częściowo Mokotów, Wolę, Ochotę, Włochy, Żoliborz i w mniejszym stopniu Pragę. Na głębokości 2 m obszar gruntów nasypowych ogranicza się prawie wyłącznie do Śródmieścia (Frankowski i in., 2000). Najstarsze nasypy, pochodzące nawet sprzed kilkuset lat, znajdują się w obrębie Starego i Nowego Miasta. Powstały ze śmieci wyrzucanych na skarpę i poza nią. Gnojna Góra, przylegająca do murów Starego Miasta na wysokości ul. Jezuickiej, jest bardzo starym wysypiskiem odpadów i nieczystości wyrzucanych na skarpę przez mieszkańców w czasie kilku stuleci. Gruba warstwa nasypów (3–10 m) zalega na tarasach Wisły pomiędzy Nowym Miastem a Trasą Łazienkowską, a także w okolicy parku Traugutta (1–6 m; Krzywicki, 2013). Do starych nasypów budowlanych należą umocnienia ceglano-ziemne fortów XIX-wiecznej twierdzy Warszawy. Młodsze nasypy składają się głównie z powojennych gruzów i osiągają miąższość do 8, a nawet 10 m (Frankowski i in., 2000). Pokrywa gruzu o największej miąższości znajduje się na Muranowie. Po II wojnie światowej gruzem ze zniszczonych domów nadbudowano skarpę na Mokotowie i Żoliborzu. Zsypano go także pod skarpą Nowego Miasta i Cytadeli, na zabagniony teren w rejonie Marymontu, a część wywieziono na nasyp Wisłostrady w rejonie Bielán (Krzywicki, 2013). Nasypy złożone z gruzu i ziemi znajdują się pod stadionami (Narodowy, Warszawianka) i pod trasami komunikacyjnymi.

Złóża kopalin. Na obszarze arkusza jest zewidencjonowanych 39 złóż kopalin (Szuflicki i in., red., 2014). Wszystkie zlokalizowane są poza granicami Warszawy, gdyż z uwagi na zurbanizowany charakter obszaru miasta nie ma możliwości prowadzenia prac poszukiwawczych i eksploatacji złóż surowców mineralnych na jego terenie. Poza jednym złożem wód mineralnych w Konstancinie-Jeziornie pozostałe to złoża surowców budowlanych (surowce ilaste ceramiki budowlanej, piaski kwarcowe, kruszywa naturalne) lub surowców szklarskich. 23 złoża mają status złoża zaniechanego, jedno zostało skreślone z ewidencji. Cztery złoża są zagospodarowane, w tym: złożo surowców ilastych ceramiki budowlanej Kobyłka Kolonia Chór 5, złoża kruszyw naturalnych: Sokołów-Żwirownia 1, Janki-Sokołów VII, Janki-Sokołów I (eksploatowane okresowo). Dziesięć złóż niezagospodarowanych jest rozpoznanych szczegółowo w kat. A+B+C₁.

ANTROPOPRESJA

Zanieczyszczenie powietrza. Na stan jakości powietrza atmosferycznego wpływają emisje pyłowo-gazowe pochodzące z działalności przemysłowej (emisje punktowe), z sektora bytowego (emisje powierzchniowe) oraz komunikacji (emisje liniowe). Ilość zanieczyszczeń pyłowych wprowadzonych do powietrza na terenie Warszawy w 2013 r. wyniosła 849 Mg, a zanieczyszczeń gazowych (bez dwutlenku węgla) – 26 704 Mg (Dane powiatowe..., 2014). Niemal 100% zanieczyszczeń pyłowych oraz niecałe 50% zanieczyszczeń gazowych (bez dwutlenku węgla) zostało zatrzymane w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń.

Głównymi źródłami punktowych emisji zanieczyszczeń powietrza są zakłady energetyczne i zakłady przemysłowe. Najważniejsze zakłady energetyczne na badanym terenie to elektrociepłownie i ciepłownie (Siekierki, Żerań, Pruszków, Kawęczyn, Wola i Regaty), a do głównych emitatorów technologicznych należą huta ArcelorMittal, Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych (ZUSOK) oraz zakłady Danone i Polfa Tarchomin.

Znaczącymi źródłami emisji powierzchniowej są lokalne kotłownie i paleniska domowe, dostarczające do atmosfery głównie dwutlenek siarki, tlenki azotu, pyły, sadzę, tlenek węgla oraz węglowodory aromatyczne (tzw. niska emisja).

Emisje liniowe, pochodzące ze źródeł komunikacyjnych, stanowią ponad połowę ogólnej ilości emisji atmosferycznych. Pochodzą z procesów spalania paliw w silnikach pojazdów, ze źródeł towarzyszących ruchowi pojazdów (ścieranie nawierzchni dróg, opon, okładzin) oraz z pyłu unoszonego z dróg.

Wyniki badań powietrza atmosferycznego, prowadzone w ramach państwowego monitoringu środowiska w 2014 r., pokazały, że dopuszczalne stężenia takich zanieczyszczeń jak benzen, ołów, arsen, kadm, nikiel, dwutlenek siarki i tlenek węgla nie zostały przekroczone. Przekroczenie dopuszczalnych norm zanotowano w przypadku stężenia pyłów PM10, PM2,5, dwutlenku azotu oraz benzo(a)pirenu (Roczna ocena..., 2015). Do niekorzystnego stanu powietrza atmosferycznego na terenie Warszawy głównie przyczyniają się emisja powierzchniowa związana z ogrzewaniem mieszkań w sektorze komunalno-bytowym oraz emisja liniowa związana z ruchem pojazdów i spalaniem paliw. Wpływ emisji punktowej, pochodzącej np. z elektrociepłowni, to zaledwie kilka procent udziału w ogólnym bilansie zanieczyszczeń (*op.cit.*).

Ścieki. Największy wpływ na zanieczyszczenie cieków i zbiorników wodnych na badanym terenie mają ścieki przemysłowe i komunalne oraz spływ powierzchniowy z terenów zurbanizowanych i rolniczych. Na stan wód i osadów Wisły wpływają również zanieczyszczenia

docierające z terenu południowej części jej zlewni.

W latach 2010–2013 ponad siedmiokrotnie zmniejszyła się ilość ścieków nieoczyszczonych odprowadzanych do środowiska na terenie województwa mazowieckiego, co jest związane przede wszystkim z zakończeniem rozbudowy i modernizacji oczyszczalni Czajka w Warszawie (Stan..., 2014). Aktualnie wszystkie ścieki wytwarzane na terenie aglomeracji warszawskiej są oczyszczone przed wprowadzeniem do Wisły.

Zakład Czajka MPWiK m.st. Warszawy jest największą oczyszczalnią ścieków na omawianym terenie. Przyjmuje ścieki z prawobrzeżnych i z większości lewobrzeżnych dzielnic Warszawy oraz z Legionowa, Zielonki, Jabłonnej, Marek i Ząbek. Na terenie zakładu, zlokalizowanego w Białolece, mieści się również Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych. Na terenie dzielnicy Wilanów znajduje się mniejszy Zakład Południe, przyjmujący ścieki z południowej części lewobrzeżnej Warszawy. Oba zakłady to oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne z podwyższonym usuwaniem związków biogenych ze ścieków. Pozostałe zakłady należące do MPWiK m.st. Warszawy, zlokalizowane w Pruszkowie i Wieliszewie (gmina Legionowo), znajdują się poza granicami terenu objętego arkuszem.

Miejskie i gminne biologiczne oczyszczalnie ścieków odprowadzają ścieki do rzek: Wisła, Długa, Mienia, Raszynka i Utrata oraz do strumieni: Jagodzianka, Struga i Perelka.

Zarówno w Warszawie, jak i na terenie sąsiednich gmin znajdują się lokalne oczyszczalnie ścieków (zakładowe, osiedlowe i przydomowe), odprowadzające oczyszczone ścieki do miejscowych zbiorników wodnych.

Na obszarze objętym arkuszem znajduje się kilkanaście punktów kontrolno-pomiarowych, w których prowadzony jest monitoring wód powierzchniowych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Ocenę stanu wód powierzchniowych wykonuje się dla jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) na podstawie oceny stanu/potencjału ekologicznego i stanu chemicznego (Rozporządzenie..., 2011). Monitoring wód rzecznych, przeprowadzony w latach 2010–2013 r. przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, wykazał zły stan wód na terenie Warszawy i okolic, o czym zdecydował przede wszystkim stan/potencjał ekologiczny wód. Zły stan stwierdzono w wodach Wisły (od Jeziorki do Kanału Młocińskiego), Kanału Wawerskiego oraz strumienia Jagodzianka (od dopływu z Regut do ujścia). O wynikach stanu/potencjału ekologicznego wód decydowały wskaźniki biologiczne oraz fizykochemiczne: zawartość azotu Kjeldahla, fosforanów, fosforu ogólnego, ChZT oraz odczyn. Stan chemiczny w zdecydowanej większości skontrolowanych JCWP był poniżej stanu dobrego, najczęściej ze

względu na przekroczenia dopuszczalnych stężeń średniorocznych związków WWA (sumy benzo(ghi)perylenu oraz indeno(1,2,3-cd)pirenu). Stan chemiczny dobry stwierdzono jedynie dla JCWP Jagodzianka od dopływu z Regut do ujścia (Monitoring..., 2015).

Uzupełnieniem monitoringu wód powierzchniowych jest monitoring osadów dennych rzek, kanałów rzecznych i jezior. Na analizowanym obszarze badano osady Wisły i Kanału Żerańskiego. Wyniki badań przeprowadzonych w roku 2014 dowodzą, że osady Wisły na wysokości Warszawy nie są zanieczyszczone ani metalami, ani związkami organicznymi (WWA, PCB i pestycydy chloroorganiczne) (Raport..., 2014). Natomiast osady Kanału Żerańskiego na terenie Warszawy są zanieczyszczone srebrem, kadmem, miedzią, ołowiem i cynkiem oraz związkami WWA i związkami z grupy DDT.

Zanieczyszczenie gleb. Gleby na terenach miejskich i przemysłowych ulegają różnym formom degradacji, a odporność na procesy zmian zależy od ich składu oraz właściwości fizycznych i chemicznych, takich jak odczyn, zdolności sorpcyjne i oksydoredukcyjne. Najniższą odpornością na degradację charakteryzują się gleby lekkie, występujące na tarasach Wisły zbudowanych z piasków rzecznych oraz na terenach pokrytych piaskami eolicznymi. Najbardziej odporne na degradację są gleby wytworzone na glinach, iłach i madach.

Zanieczyszczenie gleb na terenach miejskich spowodowane jest przez przemysł i komunikację, ale także przez działalność rolniczą i ogrodniczą. Szkodliwe pierwiastki i związki wprowadzane są do gleby wraz z opadami pyłów i gazów, kwaśnymi deszczami, nawozami, pestycydami, ściekami oraz odciekami z magazynów i składowisk.

Najważniejszymi źródłami zanieczyszczeń gleb na terenie Warszawy i okolic są:

- zakłady energetyczne: elektrociepłownie i ciepłownie (Siekierki, Żerań, Pruszków, Kawęczyn, Wola i Regaty), Elektrociepłownia Energetyka Ursus, Veolia Energia Warszawa, Ciepłownia Międzyzlesie, Zakład Energetyki Ciepłej w Wołominie, Energopep dla Elektrociepłowni Jeziorna w Konstancinie-Jeziornej;
- duże obiekty przemysłowe takie jak: huta ArcelorMittal Poland, ZUSOK, Danone, Polfa Tarchomin, Lotte Wedel, Procter and Gamble DS Polska, EADS PZL Warszawa-Okęcie, PIT-Radwar, Warszawskie Zakłady Przemysłu Nieorganicznego Stochem, Termisil Huta Szkła Wołomin, DJCHEM Chemicals Poland w Wołominie, Huta Szkła Gospodarczego w Wiązownej, Piastowskie Zakłady Przemysłu Gumowego Stomil, Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe POLAMP-WARSZAWA w Ożarowie Mazowieckim;
- lotniska na Okęciu i na Bemowie;

- składowiska, stacje i magazyny paliw płynnych;
- stare stacje transformatorowe i stacje demontażu pojazdów;
- szpitale oraz punkty unieszkodliwiania odpadów;
- poligony i bazy wojskowe;
- miejsca zrzutu ścieków do wód powierzchniowych;
- powierzchniowa infrastruktura kolejowa (torowiska kolejowe, bocznicę, warsztaty remontowe);
- torowiska tramwajowe i drogowe ciągi komunikacyjne;
- rurociągi i instalacje liniowe różnego typu.

Na omawianym terenie, a zwłaszcza w Warszawie, duży wpływ na jakość gleb wywarła historyczna działalność przemysłowa i rzemieślnicza, która w okresie drugiej połowy XIX w. i pierwszej połowy XX w. skupiała się głównie na terenach Powiśla, tzw. Dzielnicy Zachodniej (pomiędzy ul. Towarową, Okopową oraz trasą N-S), Woli, Nowej Pragi, Szmulkowizny i Kamionka. Po II wojnie światowej, w latach pięćdziesiątych, na mapie Warszawy pojawiły się dwa nowe obszary przemysłowe: Żerań i Służewiec. Na tzw. Służewcu Przemysłowym do końca lat osiemdziesiątych funkcjonowało kilkadziesiąt dużych zakładów reprezentujących różne branże przemysłu, z przewagą przemysłu elektronicznego, elektrotechnicznego, precyzyjnego i maszynowego (Rutkowska-Gurak, 2000).

Wiele zakładów przemysłowych istniejących w okresie Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej (i często kontynuujących produkcję przedwojenną) nie przetrwało procesów transformacji po 1989 r., ale ich długoletnia działalność, połączona zazwyczaj z brakiem dbałości o środowisko, spowodowała zanieczyszczenie środowisk powierzchniowych. Wśród нефункционujących już na badanym terenie obiektów przemysłowych do największych należały: Zakłady Mechaniczne Ursus, Fabryka Samochodów Osobowych na Żeraniu, Warszawskie Zakłady Fotochemiczne Foton, Zakłady Wytwórcze Lamp im. R. Luksemburg, Zakłady Radiowe im. M. Kasprzaka, Zakłady Mechaniczne PZL-Wola, Naukowo-Produkcyjne Centrum Półprzewodników CEMI, Zakłady Ceramiki Radiowej CERAD, Zakłady Pollena-Uroda, Thomson Technicolor Polska, Fabryka Kabli Ożarów. Aktualnie działające większe zakłady przemysłowe w Warszawie są skupione głównie w dzielnicach: Praga Północ, Praga Południe, Targówek i Białołęka.

Badania geochemiczne gleb na terenie Warszawy wykazały ich zanieczyszczenie metalami, a stwierdzone anomalie miedzi, kadmu, ołowiu i cynku oraz część anomalii arsenu uznano za antropogeniczne (Lis, 1992). Najbardziej zanieczyszczone tymi pierwiastkami są gleby Śródmieścia

i części Pragi, co należy wiązać z dawną i obecną działalnością zakładów przemysłowych (zakładów obróbki metali nieżelaznych, ceramicznych, chemicznych, galwanizerni, farbiarni, elektrociepłowni) oraz dużym natężeniem ruchu samochodowego. Badania prowadzone przez Czarnowską z zespołem w latach 1973–2000 wykazały zanieczyszczenie metalami powierzchniowej warstwy gleb zieleńców przyulicznych i osiedlowych oraz ogródków działkowych położonych blisko tras komunikacyjnych (Nowakowski, 2004).

Składowiska. Na analizowanym terenie znajduje się czynne składowisko odpadów komunalnych Lipiny Stare w gminie Wołomin. Nieczynne, już zrehabilitowane składowiska odpadów komunalnych położone są na obrzeżach Józefowa i w Markach. Na granicy Warszawy i gminy Stare Babice zlokalizowane jest składowisko Radiowo, na którym do 1991 r. były składowane odpady komunalne. Obecnie jest to obiekt technologiczny, przyjmujący tzw. odpady balastowe z kompostowni, a od 2012 r. składowisko przyjmuje także odpady komunalne (zwłaszcza zawierające duże ilości substancji organicznej) po ich przetworzeniu mechaniczno-biologicznym. Instalacje mechaniczno-biologicznego przetwarzania znajdują się w Warszawie przy ulicach Gwarków, Wólczyńskiej i Zawodzie.

Na terenie Warszawy oraz w jej otoczeniu zlokalizowanych jest kilka czynnych i zamkniętych składowisk odpadów przemysłowych.

Czynne składowisko odpadów paleniskowych elektrociepłowni Siekierki funkcjonuje na osiedlu Zawady w dzielnicy Warszawa Wilanów. Składowisko odpadów paleniskowych elektrociepłowni Żerań na terenie dzielnicy Warszawa Białołęka jest nieczynne i podlega procesowi rekultywacji (Plan..., 2008).

W dzielnicy Warszawa Bielany mieści się składowisko odpadów pohutniczych huty ArcelorMittal. Obecnie odpady nie są już składowane na składowisku, a już złożone podlegają procesom odzysku.

W Konstancinie-Jeziornie, na terenie dawnych Warszawskich Zakładów Papierniczych znajduje się nieczynne składowisko odpadów poprodukcyjnych firmy Metsa Tissue.

W Markach znajdują się dwa składowiska odpadów produkcyjnych Fabryki Okładzin Ściernych – jedno zamknięte w 1999 r., a drugie nowe. Składowane były/są na nich odpady azbestowe, odpady lakieru nitro, popioły, tworzywa sztuczne i czysciwa (Monitoring..., 2006).

W Warszawie w ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby nielegalnych wysypisk. W 2013 r. wszystkie nielegalne wysypiska (12) były zlokalizowane na terenie dzielnicy Warszawa Targówek i zajmowały obszar 30 835 m² (Stan..., 2014).

Na omawianym terenie, podobnie jak w całym województwie, zlikwidowano wszystkie mogilniki, stanowiące poważne źródło zanieczyszczeń zwłaszcza wód podziemnych (Stan..., 2014).

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania wykonane w latach 2013–2015 obejmowały studium materiałów publikowanych i archiwalnych, wyznaczenie miejsc pobierania próbek gleb na mapach topograficznych w skali 1:10 000, pobranie próbek i pomiary współrzędnych w miejscach ich lokalizacji, analizy chemiczne próbek, utworzenie baz danych terenowych i laboratoryjnych, opracowanie wektorowego podkładu topograficznego, obliczenia statystyczne, opracowanie mapy geologicznej i map geochemicznych oraz interpretację wyników. Kolejność prac ilustruje załączony schemat ([fig. 1](#)).

PRACE TERENOWE

W granicach administracyjnych Warszawy próbki gleb pobierano w regularnej siatce 500x500 m (4 próbki/km²), a poza Warszawą w siatce 1000x1000 m (1 próbka/km²). Łącznie pobrano próbki gleb z 2764 miejsc. W każdym miejscu pobierano gleby z głębokości 0,0–0,3 m i 0,8–1,0 m (lub z mniejszej głębokości w przypadku płytszego zalegania trudnej do przewiercenia warstwy nasypu antropogenicznego) z przeznaczeniem do oznaczeń składu granulometrycznego, odczynu i zawartości składników nieorganicznych. Próbki gleb (o masie ok. 500 g), pobierane za pomocą ręcznej sondy o średnicy 60 mm, umieszczano w woreczkach płóciennych opatrzonych odpowiednimi numerami i suszono.

Dodatkowo, w co czwartym punkcie opróbowania pobierano próbki warstwy powierzchniowej gleb do oznaczeń zawartości związków organicznych. Były one umieszczane w słoikach z ciemnego szkła o pojemności 250 ml.

Próbki osadów i wód powierzchniowych pobierano z rzek, strumieni, rowów melioracyjnych, kanałów, jezior, sadzawek, stawów i fos przy fortach. Odległość między miejscami pobierania próbek na ciekach wynosiła ok. 500 m w granicach Warszawy lub ok. 1000 m poza granicami administracyjnymi miasta.

Próbki osadów o masie ok. 500 g (i możliwie najdrobniejszej frakcji) pobierano z brzegów zbiorników za pomocą czerpaka i umieszczano w pojemnikach plastikowych o pojemności 500 ml, opisanych odpowiednimi numerami. W co czwartym punkcie opróbowania pobierano dodatkową próbkę osadu do analiz zawartości związków organicznych. Próbki umieszczano w słoikach z

ciemnego szkła o pojemności 250 ml.

Próbki wód powierzchniowych pobierano z tych samych miejsc, z których pobrano próbki osadów. Przewodność elektrolityczną właściwą wód (EC) i ich odczyn (pH) mierzono w terenie. Do pomiarów EC stosowano konduktometr z automatyczną kompensacją temperaturową, przyjmując temperaturę referencyjną 25°C. Próbki wód przeznaczone do oznaczenia kationów były filtrowane w terenie przez filtry Milipore 0,45 µm, a po napełnieniu butelek o objętości 30 ml, zakwaszane kwasem azotowym. Próbki wód przeznaczone do oznaczeń anionów były transportowane do laboratorium w butelkach o pojemności 250 ml, umieszczanych w schłodzonych pojemnikach. W co czwartym punkcie pobierano dodatkową próbkę wody do oznaczenia wskaźnika tlenowego ChZT, zawartości azotu amonowego, ogólnego węgla organicznego oraz zawiesiny. Próbki pobierano do butelek o pojemności 15 ml, opisanych odpowiednimi numerami.

Miejsca pobrania wszystkich próbek zaznaczano na mapach topograficznych w skali 1:10 000 i opisywano odpowiednimi numerami.

Położenie miejsc pobierania próbek określono techniką GPS (*Global Positioning System*), stosując urządzenie wyposażone w zewnętrzną antenę oraz komputer umożliwiający obok pomiarów współrzędnych rejestrację dodatkowych informacji (wartości pH i EC wód, danych o zabudowie i użytkowaniu terenu oraz o charakterze litologicznym próbek). Pomiar współrzędnych rejestrowano z dokładnością $\pm 2-10$ m. Przed wyjazdem w teren do pamięci urządzenia GPS wprowadzono sieć współrzędnych miejsc pobierania próbek. Kolejne miejsca pobierania próbek były wyszukiwane w terenie metodą nawigacji satelitarnej. Dla większego bezpieczeństwa wszystkie dane terenowe notowane były również na specjalnie przygotowanych kartach ([fig. 2](#)).

PRACE LABORATORYJNE

Przygotowanie próbek. Próbki gleb, po przewiezieniu do laboratorium, były suszone w temperaturze pokojowej i przesiewane przez sita nylonowe o oczkach 2 mm. Każdą próbkę gleby (z obu zakresów głębokości), po przesianiu i kwartowaniu, dzielono na trzy podpróbki: jedną przeznaczoną do analizy chemicznej, drugą do analizy granulometrycznej i trzecią – archiwalną. Próbki gleb przeznaczone do analiz chemicznych ucierano do frakcji <0,06 mm w agatowych młynach kulowych.

Próbki osadów były suszone w temperaturze pokojowej, a następnie przesiewane przez sita nylonowe o oczkach 0,2 mm. Frakcję <0,2 mm, po kwartowaniu, dzielono na dwie podpróbki: jedną przeznaczoną do analizy chemicznej, drugą – archiwalną ([fig. 1](#)).

Próbki gleb i osadów przeznaczone do oznaczeń związków organicznych były doprowadzane do stanu powietrznie suchego i ucierane ręcznie.

Próbki archiwalne zmagazynowano w Państwowym Instytucie Geologicznym-Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) w Warszawie.

Analizy chemiczne wykonano w laboratorium chemicznym PIG-PIB w Warszawie.

Próbki gleb i osadów były roztwarzane w wodzie królewskiej (1 g próbki do końcowej objętości 50 ml) przez 1 godz. w temp. 95° w termostatowym bloku aluminiowym.

Oznaczenia zawartości Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V i Zn w glebach i osadach wykonano za pomocą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES). Analizy Hg w próbkach gleb i osadów przeprowadzono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej w połączeniu z techniką zimnych par (CV-AAS) z systemem przepływowym FIAS-100. Odczyn gleb oznaczono w wyciągach wodnych metodą potencjometryczną, a zawartość węgla organicznego w glebach metodą kulometryczną oraz metodą wysokotemperaturowego spalania z detekcją termoprzewodnościową TCD.

Analizy zawartości związków WWA w próbkach stałych wykonano metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS) po ekstrakcyjnym wydzieleniu dichlorometanem. Oznaczenia polichlorowanych bifenyli oraz pestycydów chloroorganicznych w glebach i osadach przeprowadzono metodą chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów (GC-ECD) po ekstrakcyjnym wydzieleniu dichlorometanem. Analizy zawartości olei mineralnych w próbkach stałych zostały wykonane metodą spektroskopii w zakresie podczerwieni (FTIR) po ekstrakcyjnym wydzieleniu tetrachloroetenem.

W próbkach wód oznaczenia zawartości B, Ba, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, SiO₂, Sr i Zn przeprowadzono metodą ICP-OES, zawartości Ag, Al, As, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, U i V metodą ICP-MS, a zawartości Br, Cl, F, NO₂, NO₃ i SO₄ metodą chromatografii jonowej. Analizy zawartości HCO₃⁻, NH₄⁺, OWO, zawiesiny oraz wartości ChZT wykonano metodą spektrofotometryczną.

Zestawienie metod analitycznych i granic wykrywalności pierwiastków oraz związków organicznych przedstawiono w tabelach [1](#) i [2](#).

Zastosowane procedury kontroli poprawności wykonywanych oznaczeń chemicznych zestawiono w [tabeli 3](#).

Dla próbek stałych precyzja oznaczeń kationów wynosi $\pm 10\text{--}15\%$ (na podstawie analiz próbek

podwójnych). Dla próbek wód precyzja wynosi $\pm 10\text{--}20\%$ (zależnie od zawartości pierwiastka).

Analizy granulometryczne gleb wykonano w laboratorium PIG-PIB w Warszawie, łącząc analizę sitową z metodą laserowego pomiaru wielkości cząstek. Badania składu ziarnowego przeprowadzono metodami odbiegającymi od klasycznych (stosowanych według odpowiednich norm w gleboznawstwie). Ich wyniki nie mogą zatem służyć do podziału gleb według kryteriów gleboznawczych. Są natomiast bardzo pomocne przy interpretacji wyników badań geochemicznych.

Próbki przesiewano przez zestaw sit o oczkach 2 mm, 1 mm i 0,5 mm. Próbki niektórych gleb gliniastych rozdrabniano w młynku porcelanowym przed przesiewaniem. Ważono uzyskane frakcje: 2–1 mm, 1,0–0,5 mm i <0,5 mm. Pomiary wielkości ziaren we frakcji <0,5 mm przeprowadzono za pomocą laserowego miernika wielkości cząstek.

Wyniki analiz granulometrycznych (po przeliczeniu na udziały procentowe) przedstawiono na mapach z uwzględnieniem wybranych klas ziarnowych: 1,0–0,1 mm – frakcja piaszczysta, 0,1–0,02 mm – frakcja pylasta, <0,02 mm – frakcja ilasta.

BAZY DANYCH I KONSTRUKCJA MAP GEOCHEMICZNYCH

Podkład topograficzny. Do opracowania podkładu topograficznego map geochemicznych w skali 1:100 000 użyto najbardziej aktualnych map w skali 1:50 000 w układzie współrzędnych 1992, arkusze: N-34-126-D, N-34-127-C, N-34-127-D, N-34-138-B, N-34-138-D, N-34-139-A, N-34-139-B, N-34-139-C, N-34-139-D (zapis wektorowy VMap L2). Mapa topograficzna zawiera następujące wektorowe warstwy informacyjne:

- rzeźba terenu,
- hydrografia (z podziałem na rzeki, strumienie, rowy i zbiorniki wód stojących),
- sieć komunikacji drogowej (z podziałem według klas),
- sieć kolejowa,
- zabudowa terenu
- lasy,
- tereny przemysłowe (obiekty przemysłowe i wysypiska).

Mapa geologiczna. Dla ilustracji budowy geologicznej badanego obszaru opracowano mapę geologiczną, wykorzystując odpowiednie fragmenty obrazów wektorowych Mapy geologicznej Polski 1:200 000 arkusz Warszawa Zachód (Morawski, Nowacka, 2007) oraz arkusz Warszawa Wschód (Morawski, Pielach, 2011). Uzyskany obraz cyfrowy mapy geologicznej dla obszaru arkusza został połączony z podkładem topograficznym w skali 1:100 000 ([tabl. 1](#)).

Bazy danych. Utworzono oddzielne bazy danych dla:

- gleb z zakresu głębokości 0,0–0,3 m,
- gleb z zakresu głębokości 0,8–1,0 m,
- osadów,
- wód powierzchniowych.

Bazy danych dla gleb zawierają: numery próbek, wyniki pomiarów współrzędnych w miejscach pobierania próbek, zapis obserwacji terenowych (rodzaj zabudowy, użytkowanie terenu, gatunek gleby, lokalizacja miejsca pobierania próbek – powiat, gmina, miejscowość), datę i nazwisko osoby pobierającej próbkę oraz wyniki analiz chemicznych.

Bazy danych dla osadów śródlądowych zbiorników wodnych i wód powierzchniowych zawierają: numery próbek, wyniki pomiarów współrzędnych w miejscach pobierania próbek, zapis obserwacji terenowych (rodzaj zabudowy, użytkowanie terenu, rodzaj zbiornika wodnego, gatunek osadu, lokalizacja miejsca pobierania próbek – powiat, gmina, miejscowość), datę i nazwisko osoby pobierającej próbkę oraz wyniki analiz chemicznych.

Obliczenia statystyczne. Wyniki zgromadzone w bazach danych służyły do wydzielenia podzbiorów do obliczeń statystycznych według różnych kryteriów środowiska, na przykład zawartości pierwiastków w glebach terenów przemysłowych, glebach leśnych, glebach miejskich oraz w osadach i wodach poszczególnych zlewni, jak również do tworzenia map geochemicznych. Obliczenia parametrów statystycznych wykonano zarówno dla całych zbiorów, jak i podzbiorów dla gleb, osadów i wód powierzchniowych. Do obliczeń statystycznych przyjmowano zawartość równą połowie limitu detekcji danej metody analitycznej w przypadku zawartości pierwiastków poniżej granicy wykrywalności tej metody. Wyliczano średnią arytmetyczną, średnią geometryczną, medianę oraz wartość minimalną i maksymalną. Dane te dla poszczególnych pierwiastków i wskaźników zestawiono w [tabelach 4–11](#) i zamieszczono na mapach geochemicznych. Inne parametry statystyczne, takie jak wariancja czy odchylenie standardowe, charakteryzują gorzej badane populacje, gdyż mamy tu do czynienia z bliżej nieokreślonymi rozkładami przyrodniczymi.

Opracowanie map. Opracowano następujące mapy ([tabl. 2–80](#)):

- zabudowa terenu;
- użytkowanie terenu;
- zawartość frakcji piaszczystej, pylastej i ilastej w glebach z głębokości 0,0–0,3 m i w glebach z głębokości 0,8–1,0 m;
- zawartość węgla organicznego w glebach z głębokości 0,0–0,3 m;

- pH w glebach z głębokości 0,0–0,3 i 0,8–1,0 m;
- zawartość Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V i Zn w glebach z głębokości 0,0–0,3 m i 0,8–1,0 m oraz w osadach;
- zawartość dieldryny, endosulfanu I, sumy DDT wraz z pochodnymi, sumy HCH, sumy PCB, sumy WWA i olejów mineralnych w glebach z głębokości 0,0–0,3 m oraz w osadach;
- pH, EC, ChZT oraz zawartość Al, As, B, Ba, C_{org.}, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, HCO₃, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, NH₄, Ni, NO₂, NO₃, P, Pb, SO₄, Sb, SiO₂, Sr, Ti, Tl, U, V i Zn w wodach powierzchniowych;
- klasyfikacja gleb z głębokości 0,0–0,3 m, wskazująca właściwy sposób ich użytkowania (z wydzieleniem grup użytkowania gleb na podstawie Rozporządzenia..., 2002).

Zabudowę i użytkowanie terenu oraz klasyfikację gleb z zakresu głębokości 0,0–0,3 m, wskazującą właściwy sposób ich użytkowania, przedstawiono w postaci map punktowych (tabl. [2](#), [3](#) i [80](#)).

Do przedstawienia rozkładu klas ziarnowych (tabl. [4–9](#)) oraz zawartości pierwiastków w glebach wybrano izoliniową (obszarową) metodę opracowania map ze względu na jej przejrzystość i czytelność. Izoliniowe mapy geochemiczne utworzono z użyciem programu Surfer, stosując metodę *Inverse Distance to a Power*. Klasy zawartości pierwiastków dobierano zgodnie z podziałem na percentyle: 25, 50, 75, 90, 95 i 97.

Odczyn gleb (tabl. [10](#) i [11](#)) przedstawiono według skali przyjętej w gleboznawstwie (z podziałem na gleby kwaśne, obojętne i zasadowe). Odczyn wód (tabl. [10](#)) przedstawiono według skali przyjętej w hydrogeologii (z podziałem na wody kwaśne, słabo kwaśne, obojętne, słabo zasadowe i zasadowe).

Mapy geochemiczne osadów zbiorników wodnych i wód powierzchniowych utworzono w formie kartodiagramów kołowych, przypisując wielkość ich średnic do poszczególnych klas zawartości pierwiastków, dobranych zgodnie z podziałem na percentyle (25, 50, 75, 90, 95, 97).

Sporządzając mapę klasyfikacji gleb warstwy powierzchniowej (tabl. [80](#)), wskazującą właściwy sposób ich użytkowania, wyniki badań geochemicznych odniesiono do wartości stężeń dopuszczalnych metali określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2002), zgodnie z zaleceniem „glebę lub ziemię uznaje się za zanieczyszczoną, gdy stężenie co najmniej jednej substancji przekracza wartość dopuszczalną”.

Na podstawie zawartości każdego z badanych metali, a także oznaczonych związków organicznych (Rozporządzenie..., 2002) każda z badanych próbek gleb została zaklasyfikowana do grupy A, B lub C. W przypadku jednakowych granic wartości dopuszczalnych dla grupy A i B

(wyznaczonych w Rozporządzeniu..., 2002 dla arsenu, baru i kobaltu) przyjęto zasadę klasyfikacji gleb do grupy A, korzystniejszej dla użytkownika i pozwalającej na wielofunkcyjne wykorzystywanie terenu.

Dla celów publikacji mapy geochemiczne opracowano poprzez połączenie parami na jednej tablicy mapy geochemicznej gleb z głębokości 0,0–0,3 m z mapą geochemiczną osadów oraz mapy geochemicznej gleb z głębokości 0,8–1,0 m z mapą geochemiczną wód powierzchniowych. Ten sposób prezentacji pozwala na bezpośrednie porównanie obrazów geochemicznych różnych środowisk.

W komentarzach do map geochemicznych do oceny stopnia zanieczyszczenia wód powierzchniowych zastosowano wartości granicznych wskaźników jakości wód odnoszące się do jednolitych części wód powierzchniowych, określone w Rozporządzeniu... (2014).

WYNIKI BADAŃ

PIERWIASTKI W GLEBACH, OSADACH I WODACH POWIERZCHNIOWYCH

SKŁAD GRANULOMETRYCZNY

Gleby: [tabl. 4–9](#)

Skład ziarnowy gleby w znacznym stopniu determinuje jej odporność na degradację oraz ma istotny wpływ na zawartość pierwiastków chemicznych. Gleby z dużym udziałem frakcji ilastej (<0,02 mm) i pylastej (0,1–0,02 mm) charakteryzują się zazwyczaj podwyższoną zawartością pierwiastków oraz ich mniejszą mobilnością w warunkach hipergenicznych. W normach i zaleceniach określających dopuszczalne stężenia metali w glebach uwzględnia się zazwyczaj skład granulometryczny, dopuszczając większe stężenia graniczne dla gleb z dużym udziałem frakcji ilastej i mniejsze stężenia dla gleb z dużym udziałem frakcji piaszczystych (Kabata-Pendias i in., 1995).

W badaniach gleb z obu zakresów głębokości wydzielono grupy granulometryczne: 1,0–0,1 mm, 0,1–0,02 mm i <0,02 mm, zgodnie z normą BN-78/9180-11 zalecaną przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (Prusinkiewicz i in., 1994). Wyniki badań wskazują, że skład granulometryczny gleb wiąże się przede wszystkim z litologią podłoża, a związek ten jest wyraźniej widoczny dla gleb z głębokości 0,8–1,0 m. W warstwie powierzchniowej pierwotny skład uziarnienia na znacznej powierzchni uległ zatarciu w wyniku prowadzonych prac ziemnych, budowlanych czy nawet ogrodniczych (szczególnie na terenie miasta w okresie powojennym).

Gleby bogate we frakcje piaszczyste występują przede wszystkim na tarasach nadzalewowych po wschodniej stronie Wisły. Po stronie zachodniej gleby o zawartości >75% frakcji piaszczystej stwierdzono na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego, w północnej części Warszawy (Bielany, Żoliborz, Bemowo) oraz na terenie Lasów Sękocińskich. Są to gleby wytworzone na piaskach i żwirach rzecznych tarasów nadzalewowych i tarasu warszawsko-błońskiego (Bielany) bądź na piaskach eolicznych i piaskach dolin rzecznych.

W obu badanych warstwach gleb rozkład zawartości frakcji pylastej jest zbliżony. Około 70% gleb charakteryzuje się jej zawartością <25%. Zawartością tej frakcji >50% wyróżnia się ok. 10% badanych gleb warstwy powierzchniowej i ok. 16% gleb z warstwy głębszej. Najbogatsze we frakcję pylastą są mady tarasów zalewowych i nadzalewowych oraz gleby wykształcone na glinach lodowcowych i utworach eluwialnych (piaski, mułki, gliny).

Frakcja ilasta ma najmniejszy udział w badanych glebach. W warstwie powierzchniowej aż 81% gleb cechuje się udziałem frakcji ilastej <15%, a na głębokości 0,8–1,0 m ok. 70% gleb jest ubogich w tę frakcję. Największą jej ilością cechują się gleby lewobrzeżnej Warszawy (Śródmieście, Mokotów, Wola, Ursus, Włochy) oraz gleby jej zachodnich peryferii z głębokości 0,8–1,0 m. Są to gleby utworzone na glinach lodowcowych, piaskach i mułkach kemów, a także na utworach zwiertzelinowo-eolicznych (piaski, pyły i mułki lessopodobne). Podwyższonym udziałem frakcji najdrobniejszej (>30%) wyróżniają się też gleby warstwy powierzchniowej w północno-zachodniej części arkusza, na tarasach zalewowych Wisły (w okolicach Jabłonna i na zachód od Legionowa). W obydwu badanych warstwach gleb (ale głównie na głębokości 0,8–1,0 m) obserwuje się lokalne wzbogacenia we frakcję ilastą również w części wschodniej arkusza. Są one związane z wystąpieniami w podłożu glin lodowcowych bądź utworów eluwialnych (piaski, mułki, gliny).

pH ODCZYN

Gleby: tabl. 10–11, tab. 4–5

Odczyn gleb jest uzależniony zarówno od litologii podłoża (bardziej w warstwie głębszej), jak i od sposobu ich użytkowania i czynników antropogenicznych.

W warstwie powierzchniowej odczyn kwaśny (pH <6,3) wykazują gleby terenów leśnych. Gleby pól uprawnych cechują się zazwyczaj odczynem obojętnym bądź lekko alkalicznym, a gleby z obszarów najsilniej zurbanizowanych – głównie alkalicznym (pH >7,4), podobnie w innych miastach w Polsce (Pasiczna, 2003). Alkaliczacja gleb jest spowodowana przede wszystkim przez

opad pyłów emitowanych z zakładów energetycznych i przemysłowych. Dodatkowym czynnikiem alkalinizującym gleby jest duży udział gruzu w nasypach antropogenicznych występujących na znacznym obszarze centralnych części miasta. Największe obszary gleb silnie zasadowych (pH >8,0) występują na Białoleńce (Żerań i Tarchomin) oraz w rejonie Łuku Siekierkowskiego – na terenach w pobliżu największych elektrociepłowni, a w przypadku Białoleki – także w zasięgu oddziaływania licznych zakładów przemysłowych (niektórych już nieczynnych, np. FSO). Najwyższą wartość pH 10,3 zarejestrowano w glebie warstwy powierzchniowej na terenie huty ArcelorMittal na Bielanach.

O wpływie antropopresji na odczyn gleb świadczy znacznie mniejsza przeciętna wartość odczynu gleb warstwy powierzchniowej z terenów niezabudowanych (mediana 6,5) w porównaniu z terenami o zabudowie miejskiej i przemysłowej (mediany odpowiednio 7,6 i 7,8).

Na głębokości 0,8–1,0 m gleby o odczynie kwaśnym występują tylko lokalnie na niewielkich obszarach. Przeważają gleby obojętne i lekko alkaliczne. W porównaniu z warstwą powierzchniową znacznie większy zasięg mają gleby silnie alkaliczne. Na terenach zurbanizowanych jest to spowodowane rozpraszaniem pyłów przemysłowych bogatych w związki magnezu i wapnia i przemieszczaniem się tych związków w głąb profili glebowych. W ścisłym centrum Warszawy alkalizację można częściowo wiązać także z występowaniem nasypów antropogenicznych. W innych rejonach arkusza wysokie pH wynika z naturalnego wzbogacenia podłoża w wapń. Podwyższonymi zawartościami wapnia i magnezu cechują się m.in. mady występujące w dolinie Wisły, a także osady zwietrzelinowo-eoliczne, przypominające częściowo lessy, rozpościerające się szerokim pasem od zachodnich obrzeży Warszawy w stronę Ożarowa. Na głębokości 0,8–1,0 m najbardziej alkaliczne gleby stwierdzono na terenie nieczynnej cementowni Warszawa na Żeraniu.

Wody: [tabl. 10](#), [tab.7](#)

Zdecydowana większość wód (79,8%) wykazała odczyn słabo zasadowy: pH 7,0–9,0. Do wód kwaśnych (pH <5) należy 0,4% zbadanych próbek, do słabo kwaśnych (pH 5–6,5) 3,6%, do obojętnych (pH 6,5–7,0) 15,3%, a do zasadowych (pH >9) 0,9% (klasyfikacja wg Kleczkowski, Rózkowski, 1997). Wody kwaśne, słabo kwaśne i obojętne (pH <7) występują głównie na obszarze Wilanowa, Ursynowa, Konstancina-Jeziorny i Raszyna oraz na terenach leśnych (Puszcza Kampinoska, Lasy Rembertowskie, Lasy Otwockie).

Najmniejszą wartość pH (4,6) zarejestrowano w wodzie stawu/rozlewiska na terenie leśnym w Zagórzcu (gmina Wiązowna). Z kolei najbardziej zasadowe są wody Wisły (pH 8,1), wykazujące

dodatkowo zmiany sezonowe (pH >8,5 w lipcu i sierpniu oraz 7,1–7,9 w maju, czerwcu i październiku).

Zasadowym charakterem odznaczają się wody niektórych zbiorników wód stojących (sadzawka w Ogrodzie Saskim, Stawy Kacze w Parku Skaryszewskim, staw Cietrzewia, Glinianki Szczęśliwickie), wody stawów hodowlanych w Raszynie (stawy Falencki i Puchalski), a także lokalnie wody cieków i zbiorników w zlewni Czarnej i Długiej. W wodzie stawu w miejscowości Konik Nowy (gmina Halinów) wartość pH wynosi 9,9.

EC PRZEWODNOŚĆ ELEKTROLITYCZNA WŁAŚCIWA

Wody: [tabl. 11](#), [tab. 7](#)

Wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wód służy do oceny mineralizacji (zasolenia) wód i stopnia ich zanieczyszczenia. O zanieczyszczeniu wód świadczą już wartości EC powyżej 1 mS/cm (Witczak, Adamczyk, 1994), a maksymalna dopuszczalna przewodność wody do picia wynosi 2,5 mS/cm (Rozporządzenie..., 2010). Większość zbadanych wód (87%) charakteryzuje się przewodnością $\leq 1,0$ mS/cm, spełniając warunki normy dla I klasy jakości wód. Do klasy II (EC $\leq 1,5$ mS/cm) zaliczono 9% wód. Największą przeciętną przewodnością charakteryzują się wody zlewni Łasicy (mediana 0,85 mS/cm).

Podwyższoną przewodnością cechują się wody wielu zbiorników zamkniętych. Wartości EC >1,39 mS/cm zanotowano w wodach takich zbiorników, jak: Bernardyńska Woda (3,06 mS/cm), staw Jeziorze (2,91 mS/cm), fosy fortów Czerniakowskiego, Piłsudskiego i Blizne, Staw pod Królikarnią, Łacha Potocka, staw w pobliżu ul. Dolnej, staw na Paluchu. Głównym źródłem zanieczyszczeń wód tych zbiorników jest prawdopodobnie spływ powierzchniowy. Duża ilość substancji organicznej oraz słaby lub całkiem ograniczony przepływ sprzyjają unieruchomieniu wielu związków na miejscu.

Anomalne wartości EC zaobserwowano także w wodach niektórych rowów i kanałów: rowu na Paluchu w rejonie lotniska Chopina (2,33 mS/cm), rowu płynącego z rejonu Wólki Węglowej i zasilającego Lipkowską Wodę (do 2,33 mS/cm), rowu biegnącego wzdłuż ul. Piaseczyńskiej (do 2,14 mS/cm), Kanału Henrykowskiego (do 1,99 mS/cm), Kanału Czerniakowskiego (do 1,51 mS/cm) i Kanału Sieleckiego (do 1,47 mS/cm).

Zanieczyszczenie wód Kanału Henrykowskiego jest prawdopodobnie spowodowane ściekami przemysłowymi. Zawierają one znaczne stężenia arsenu ($14 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), baru ($303 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), bromu ($0,16 \text{ mg}/\text{dm}^3$), wapnia ($177,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$), kadmu ($0,09 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), chloru ($316 \text{ mg}/\text{dm}^3$), kobaltu ($10,26$

$\mu\text{g}/\text{dm}^3$), miedzi ($6,38 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), fluoru ($0,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$), wodorowęglanów ($468 \text{ mg}/\text{dm}^3$), manganu ($5578 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), molibdenu ($5,21 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), sodu ($218,1 \text{ mg}/\text{dm}^3$), jonu amonowego ($29,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$), niklu ($12,11 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), siarczanów ($278,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$), antymonu ($1,97 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), krzemionki ($17,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$), strontu ($1025 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), uranu ($2,52 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), wanadu ($3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i cynku ($378 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Anomalną przewodnością (do $1,83 \text{ mS}/\text{cm}$) cechują się wody dolnego odcinka Rudawki, płynącej przez rezerwat Lasu Bielańskiego. W wodach tego strumienia zarejestrowano duże stężenia baru ($205 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), wapnia ($228,7 \text{ mg}/\text{dm}^3$), chloru ($288,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$), litu ($18,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), magnezu ($32,4 \text{ mg}/\text{dm}^3$), molibdenu ($4,74 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), siarczanów ($235,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$), krzemionki ($17,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$), strontu ($445 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), uranu ($2,60 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i wodorowęglanów ($393 \text{ mg}/\text{dm}^3$).

Poza Warszawą wysoką przewodnością wyróżniają się lokalnie wody cieków i stawów w zlewni Czarnej i Raszynki. Przewodnością $3,93 \text{ mS}/\text{cm}$ cechuje się woda stawu/rozlewiska w miejscowości Pólko przy drodze Warszawa–Wyszków, w której zanotowano maksymalne zawartości chloru ($1100 \text{ mg}/\text{dm}^3$) i sodu ($714,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$), oraz woda rowu na terenie miejscowości Wypędy na SW od Raszyna ($2,79 \text{ mS}/\text{cm}$).

Najwyższy stopień zasolenia ($6,91 \text{ mS}/\text{cm}$) zanotowano w wodzie małego zarastającego stawu w obrębie bagna w miejscowości Dobczyn. Woda ta cechuje się wysoką zawartością fosforu ($2,06 \text{ mg}/\text{dm}^3$) i jest prawdopodobnie zanieczyszczona ściekami bytowo-gospodarczymi.

Ag SREBRO

Gleby: tabl. 12–13, tab. 4–5

W zdecydowanej większości gleb zawartość srebra nie przekracza granicy wykrywalności ($1 \text{ mg}/\text{kg}$). Tylko w 26 próbkach z warstwy powierzchniowej i w 8 próbkach z głębokości $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$ zawartość srebra jest większa. Maksymalną zawartość tego pierwiastka ($23 \text{ mg}/\text{kg}$) zarejestrowano w glebach warstwy powierzchniowej na terenie przemysłowo-magazynowym na Służewcu (w rejonie ulic Wyczółki i Łączyny). W glebach z głębokości $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$ najwyższą zawartość srebra ($20 \text{ mg}/\text{kg}$) stwierdzono na Targówku przy ul. Bukowieckiej, a w glebach z obu zakresów głębokości z ogródków działkowych przy ul. Janowieckiej – odpowiednio $9 \text{ mg}/\text{kg}$ i $2 \text{ mg}/\text{kg}$. Gleby wierzchniej warstwy są tu zanieczyszczone również przez rtęć ($2,07 \text{ mg}/\text{kg}$).

Osady: [tabl. 12](#), [tab. 6](#)

W 90% osadów zawartość srebra jest mniejsza niż $1 \text{ mg}/\text{kg}$. Wyraźnie podwyższone są

zawartości w osadach Kanału Bródnowskiego Górnego, który był odbiornikiem ścieków z zakładów przemysłowych lokowanych na Targówku od połowy XIX w. Do zanieczyszczenia osadów tym metalem (maks. 17 mg/kg) mogła przyczynić się także działalność zakładów telewizyjnych ELEMIS w latach 1955–2007. Poza srebrem osady Kanału Bródnowskiego cechują się wysokimi zawartościami innych pierwiastków: arsenu (do 88 mg/kg), baru (do 504 mg/kg), kadmu (do 58,9 mg/kg), kobaltu (do 20 mg/kg), chromu (do 648 mg/kg), miedzi (do 230 mg/kg), żelaza (do 9,27 %), rtęci (do 2,01 mg/kg), magnezu (do 0,55%), manganu (do 5043 mg/kg), niklu (do 69 mg/kg), fosforu (do 0,627%), ołowiu (do 166 mg/kg), siarki (do 2,583%), strontu (do 199 mg/kg), tytanu (do 276 mg/kg), wanadu (do 40 mg/kg) i cynku (do 2361 mg/kg).

Podwyższone zawartości srebra w stosunku do tła geochemicznego obserwuje się też w osadach rzeki Długiej (poniżej Ossowa), Potoku Służewieckiego (zbierającego przez wiele lat ścieki z terenu Służewca Przemysłowego, gdzie dominował przemysł elektroniczny i elektrotechniczny), Jeziorki poniżej Konstancina, Wilanówki oraz lokalnie innych zbiorników.

Maksymalną zawartość srebra (208 mg/kg) zanotowano w osadzie Wisły z rejonu Mostu Świętokrzyskiego.

AL GLIN

Gleby: tabl. 14–15, tab. 4–5

Rozkład zawartości glinu w powierzchniowej i głębszej warstwie gleb jest bardzo podobny, a wartości median zbliżone (odpowiednio 0,34 i 0,33%). Podobną przeciętną zawartością tego pierwiastka (mediana 0,31%) cechują się gleby aglomeracji Poznania (Lis, Pasieczna, 2005). Maksymalne zawartości glinu (2,13% w warstwie powierzchniowej i 2,19% w warstwie głębszej) stwierdzono w glebach z terenu Wilanowa i Powsina.

Rozkład przestrzenny glinu uwarunkowany jest przede wszystkim składem chemicznym skał macierzystych, z których rozwinęły się gleby. Generalnie większymi zawartościami glinu odznaczają się gleby lewobrzeżnej Warszawy, leżącej na wysoczyźnie, której powierzchnię budują w znacznym stopniu gliny lodowcowe. Bogate w glin są także mady wypełniające południowy odcinek doliny Wisły. Zawartości glinu $>0,46\%$ w warstwie powierzchniowej gleb dość dobrze pokrywają się tu z obszarami tarasów zalewowych. Wzbogacenie w glin gleb obszaru położonego na zachodnich obrzeżach Warszawy (Bemowo, Ursus) i w rejonie Ożarowa ma charakter naturalny. Gleby te rozwinęły się na osadach pokrywy zwietrzelinowej, miejscami przypominającej less (Morawski, 2011).

Osady: [tabl. 14](#), [tab. 6](#)

Zawartość glinu w osadach zmienia się od 0,05 do 3,47%. Jego przeciętna zawartość (mediana 0,33%) jest podobna jak w osadach Poznania i okolic (mediana 0,31%; Lis, Pasieczna, 2005).

Wysokimi zawartościami glinu (>0,79%) wyróżniają się osady cieków drenujących tarasy zalewowe po obu stronach doliny Wisły w jej południowym odcinku, co jest związane z litologią występującego tu podłoża – mad bogatych w materiał ilasty. Maksymalną zawartość glinu stwierdzono w osadzie pobranym z kanału zasilającego Kanał Habdziński na terenie Konstancina-Jeziorny. Jego anomalne zawartości (>0,93%) występują też lokalnie w osadach Wisły (w sąsiedztwie Parku Młocińskiego), w osadach cieków w zlewni Czarnej, Kanału Wawerskiego, Mieni i Strugi Pogorzelskiej.

Wody: [tabl. 15](#), [tab. 7](#)

W większości wód powierzchniowych zawartość glinu jest niewielka. Tylko w 28 próbkach przekracza wartość graniczną wskaźnika dla I i II klasy jakości wód ($400 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Najbogatsze w glin są wody we wschodniej części obszaru arkusza – w zlewni Czarnej, kanału Magenta w Rembertowie, Strugi Pogorzelskiej, zlewni Świdra, Kanału Wawerskiego i kanału Nowe Ujście.

Po zachodniej stronie doliny Wisły podwyższonymi stężeniami glinu cechują się wody Kanału Młocińskiego oraz lokalnie dopływy Utraty, Raszynki i Łasicy.

Maksymalną zawartość glinu ($4209,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono na terenie leśnym w okolicach Radzymina, w zlewni Czarnej w wodzie rowu obfitej też w kobalt ($4,39 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), żelazo ($22,8 \text{mg}/\text{dm}^3$) i ołów ($3,51 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Wody o wyraźnie anomalnych stężeniach glinu ($>316,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) charakteryzuje zazwyczaj odczyn kwaśny lub słabo kwaśny.

As ARSEN**Gleby: [tabl. 16–17](#), [tab. 4–5](#)**

Zawartość arsenu w glebach warstwy powierzchniowej jest nieznacznie zróżnicowana. W 75% zbadanych próbek nie przekracza granicy wykrywalności ($3 \text{mg}/\text{kg}$).

Wzbogacenia w arsen ($>8 \text{mg}/\text{kg}$) na terenie Targówka i Białolęki są pochodzenia naturalnego – występują w glebach łąkowych o charakterze rud darniowych. Wcześniejsze badania geochemiczne gleb tego terenu wykazały zawartości przekraczające $250 \text{mg}/\text{kg}$ arsenu (Lis, 1992). Naturalny charakter mają też anomalie w torfiastej dolinie Długiej. Zawartości przekraczające wartość tła

geochemicznego obserwuje się lokalnie w madach na tarasach zalewowych Wisły, gdzie pierwiastek ten został prawdopodobnie doprowadzony w okresach wysokiego stanu wód.

Podwyższonymi zawartościami arsenu (>7 mg/kg) w glebach z głębokości 0,8–1,0 m charakteryzują się gleby tarasów zalewowych Wisły oraz lokalnie gleby Targówka (do 69 mg/kg) i Tarchomina (39 mg/kg).

Zawartość arsenu (do 22 mg/kg) na terenie huty ArcelorMittal jest niewątpliwie antropogeniczna.

Osady: [tabl. 16](#), [tab. 6](#)

W zdecydowanej większości zbadanych osadów zawartość arsenu nie przekracza 5 mg/kg. Większymi zawartościami wyróżniają się osady Rowu z Lewandowa (do 127 mg/kg), Kanału Bródnowskiego Górnego (do 88 mg/kg) oraz mniejszych kanałów na Białolęce. Zwiększenia zawartości związane są po części z drenażem podłoża wzbogaconego w arsen, a w przypadku Kanału Bródnowskiego także ze zrzutem ścieków przemysłowych. Zanieczyszczenie arsenem osadów Kanału Henrykowskiego na Tarchominie (do 106 mg/kg) jest również wynikiem zrzutu ścieków (przypuszczalnie farmaceutycznych). Osady tego kanału cechują się wysokimi zawartościami także innych pierwiastków: baru (do 580 mg/kg), wapnia (do 5,28%), kobaltu (do 14 mg/kg), chromu (do 480 mg/kg), miedzi (do 225 mg/kg), żelaza (do 9,51%), rtęci (do 1,11 mg/kg), magnezu (do 0,71%), manganu (do 6510 mg/kg), niklu (do 35 mg/kg), fosforu (do 0,601%), ołowiu (do 263 mg/kg), siarki (do 1,456%), tytanu (do 310 mg/kg), wanadu (do 39 mg/kg), cynku (do 3237 mg/kg) i strontu (do 120 mg/kg).

Wody: [tabl. 17](#), [tab. 7](#)

Tylko w 3% próbek wód zawartość arsenu przekracza $5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a w kilku próbkach jest wyższa niż $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Wszystkie zbadane wody spełniają zatem normy I i II klasy jakości wód pod względem zawartości tego pierwiastka ($<50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Maksymalną zawartość arsenu ($41 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) zanotowano w zlewni Raszynki, w wodach rowu drenującego obszar nieużytków w miejscowości Sokołów. W tej samej próbce stwierdzono też maksymalną zawartość żelaza ($40,06 \text{ mg}/\text{dm}^3$), co może wskazywać na naturalne pochodzenie obydwu pierwiastków.

Podobnie jak w przypadku osadów, podwyższone stężenia arsenu zarejestrowano w wodach Kanału Henrykowskiego (do $14 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), w wodach Rowu z Lewandowa i innych kanałów na

Białolece oraz Kanału Zagożdziańskiego płynącego przez Wawer. Na terenach użytków rolnych w północno-wschodniej i południowo-zachodniej części arkusza źródłem arsenu w wodach może być spływ z pól, na których stosowano herbicydy arsenowe.

B BOR

Wody: [tabl. 18](#), [tab. 7](#)

Zawartość boru w wodach powierzchniowych mieści się w zakresie od <10 do 3570 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Tylko w dwóch próbkach wód stwierdzono przekroczenie granicznej wartości dla I/II klasy jakości wód (2000 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Przeciętna zawartość boru (mediana 70 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest podobna jak w wodach powierzchniowych aglomeracji Poznania (mediana 60 $\mu\text{g}/\text{l}$; Lis, Pasieczna, 2005), ale większa niż w wodach Polski (mediana 40 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1995).

Podwyższone stężenia boru obserwowane w wodach niewielkich cieków w zachodniej i północno-wschodniej części arkusza są zapewne wynikiem obecności jego związków w glinach lodowcowych i utworach eluwialnych bogatych w składniki ilaste w podłożu tych obszarów. Największe stężenia boru (880–3570 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) w wodach rowu przy ul. Piaseczyńskiej na Dolnym Mokotowie, stawu w parku Morskie Oko (1227 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) i stawu w pobliżu ul. Dolnej (882 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) przypuszczalnie są spowodowane spływem powierzchniowym materiału bogatego we frakcje ilastą.

Ba BAR

Gleby: [tabl. 19–20](#), [tab. 4–5](#)

Rozkład zawartości baru w próbkach gleb z obu zakresów głębokości jest podobny, a większe obszary gleb bogatych w ten pierwiastek występują w warstwie powierzchniowej, co wskazuje na jego znaczne rozpraszanie ze źródeł antropogenicznych. Zawartości baru >60 mg/kg zanotowano przede wszystkim na terenach silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych w Warszawie, ale też w Wołominie i Piastowie.

Maksymalną zawartość baru w warstwie powierzchniowej (1577 mg/kg) stwierdzono na terenie zakładów Polfa Tarchomin, co można wyjaśniać stosowaniem jego związków w przemyśle farmaceutycznym. Anomalne zawartości baru w wierzchnich warstwach gleb w sąsiedztwie zakładów energetycznych Siekierki (903 mg/kg) i Kawęczyn (352 mg/kg) oraz w otoczeniu składowisk odpadów paleniskowych na Zawadach i na Żeraniu wiążą się prawdopodobnie z opadaniem pyłów ze spalania węgla. Badania Rózkowskiej i Ptak (1995 a, b) wykazały, że przeciętna koncentracja baru w węglach górnośląskich wynosi 176 mg/kg, a w ich popiołach może

osiągać wartość 1274 mg/kg. Gleby warstwy powierzchniowej obfitują też w bar w pobliżu elektrowni Jaworzno (Pasiczna, 2014).

Wysokie zawartości baru (250–710 mg/kg) w wierzchnich warstwach gleb na Służewcu Przemysłowym wiążą się prawdopodobnie z 50-letnią działalnością już nieczynnych Zakładów Ceramiki Radiowej, które emitowały do atmosfery związki ołowiu i baru, powstające podczas wypału elementów ceramicznych (Rutkowska-Gurak, 2000).

Obfitość baru w glebach tarasów zalewowych Wisły można wiązać z jego doprowadzeniem w okresach powodziowych wraz z materiałem transportowanym wodami rzeki z południa.

W glebach warstwy głębszej anomalie zawartości baru są bardziej wyraziste i mniej rozległe, ale kontynuują się tendencje charakterystyczne dla warstwy powierzchniowej.

Osady: [tabl. 19](#), [tab. 6](#)

W 75% próbek osadów zawartość baru nie przekracza 95 mg/kg. Jego maksymalną zawartość (807 mg/kg) stwierdzono w osadzie bogatym w materię organiczną z rowu na terenie leśnym na wschód od Wiązownej.

W osadach Rowu z Lawendowa zawartość do 637 mg/kg baru może być spowodowana zrzutem ścieków z terenów budowanych osiedli. Osady te są wzbogacone także w arsen (do 127 mg/kg), kobalt (do 12 mg/kg), żelazo (do 17,44%) i mangan (do 7029 mg/kg).

Zanieczyszczenie barem osadów Kanału Bródnowskiego Górnego (do 504 mg/kg) jest najprawdopodobniej związane ze spalaniem węgla w ciepłowni Kawęczyn, natomiast osady Kanału Henrykowskiego są wzbogacone w ten pierwiastek (250–580 mg/kg) pochodzący ze zrzutu ścieków z zakładów Polfa Tarchomin.

Wyraźnie anomalne zawartości baru (>244 mg/kg) występują w rejonach, gdzie gleby są wzbogacone w ten pierwiastek, np. w osadach cieków drenujących taras zalewowy Wisły. Osady Jeziorki (do 302 mg/kg baru) i Wilanówki (do 450 mg/kg baru) mogły być dodatkowo zanieczyszczone przez ścieki. Do lat 50. XX w. Wilanówka stanowiła dolny odcinek Jeziorki, przyjmującej ścieki bytowo-gospodarcze z Konstancina i Jeziorny, a także ścieki przemysłowe z zakładów papierniczych, które funkcjonowały w sąsiedztwie rzeki przez blisko 250 lat. Badania chemiczne osadów pochodzących ze stawów biologicznych na terenie oczyszczalni ścieków przy dawnej papierni (która przyjmowała także ścieki komunalne) wykazały zawartości baru dochodzące do 609 mg/kg (Kostrz-Sikora i in., 2015).

Wody: [tabl. 20](#), [tab. 7](#)

Wody powierzchniowe zawierają zróżnicowane zawartości baru ($7\text{--}453\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a jego przeciętne stężenie (mediana $50\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest podobne jak w wodach powierzchniowych Polski (mediana $54\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1995) czy Poznania i okolic (mediana $47\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 2005). Pod względem zawartości baru zbadane wody mieszczą się w I i II klasie jakości wód ($<500\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Podwyższonymi stężeniami tego pierwiastka wyróżniają się wody Kanału Henrykowskiego (do $303\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Łachy Potockiej na Marymoncie (do $217\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Rowu z Lewandowa (do $204\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a także wody zbiorników z obszaru Mokotowa (Jeziorka Czerniakowskiego, fos fortów Czerniakowskiego i Piłsudskiego, Bernardyńskiej Wody i Kanału Sieleckiego). Wody tych zbiorników cechują się także wysoką przewodnością elektrolityczną właściwą.

Anomalne zawartości baru zanotowano w pojedynczych próbkach wód dopływów rzek Czarnej i Mieni, a jego maksymalne stężenie ($453\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w wodach rowu na terenie leśnym w zlewni Świdra.

Br BROM

Wody: [tabl. 21](#), [tab. 7](#)

W większości zbadanych wód stężenie bromu nie przekracza $0,1\ \text{mg}/\text{dm}^3$. Zawartościami $>0,3\ \text{mg}/\text{dm}^3$ odznaczają się w wielu miejscach wody Wisły, prawdopodobnie zanieczyszczone dalekosiężnym transportem słonych wód z terenu całej zlewni.

Stężenia bromu $>0,2\ \text{mg}/\text{dm}^3$ zostały zanotowane w wodach Kanału Henrykowskiego (o wysokiej przewodności i zanieczyszczonych licznymi metalami) oraz w wodach drobnych cieków i zbiorników bezodpływowych w zachodniej części badanego obszaru (Bemowo, Lachtorzew, Laski, Klaudyn, Mościska, Lipków). Podwyższona zawartość bromu może być związana ze wpływem powierzchniowym z ulic, na których stosuje się sól do ich odśnieżania.

Zawartość bromu $1,6\ \text{mg}/\text{dm}^3$ stwierdzono w wodach rowu opaskowego składowiska Radiowo, obfitujących także w lit ($16,9\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$), potas ($20,1\ \text{mg}/\text{dm}^3$), wodorowęglany ($471\ \text{mg}/\text{dm}^3$), mangan ($1280\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i krzemionkę ($27\ \text{mg}/\text{dm}^3$).

Największe jest stężenie bromu ($16,1\ \text{mg}/\text{dm}^3$) w wodach rowu, do którego są spuszczone ścieki komunalne w miejscowości Zagościniec (na NE od Wołomina). Wody te (o wartości EC $2,3\ \text{mS}/\text{cm}$) zawierają ponadto maksymalne ilości wodorowęglanów ($1198\ \text{mg}/\text{dm}^3$), fosforu całkowitego ($13,82\ \text{mg}/\text{dm}^3$) i krzemionki ($27,5\ \text{mg}/\text{dm}^3$), podwyższoną zawartość sodu ($175,4$

mg/dm³) i chloru (126 mg/dm³).

C_{org.} CAŁKOWITY WĘGIEL ORGANICZNY

Gleby: [tabl. 22](#), [tab. 4](#)

Powierzchniowa warstwa gleb w granicach arkusza należy do mało zasobnych w węgiel organiczny. Na przeważającym obszarze (75%) zawartość węgla organicznego nie przekracza 2,2%. Wzbogacenie w ten składnik niektórych gleb z terenów miejskich (2–4%) w porównaniu z glebami z terenów niezabudowanych może być wynikiem stosowania ziemi ogrodniczej na miejskich trawnikach i zieleńcach, a także akumulacji w glebach miejskich produktów niepełnego spalania węgla w paliwach silników samochodowych.

Najuboższe w węgiel organiczny są piaszczyste gleby pól uprawnych. Największe jego zawartości zaobserwowano w glebach na terenach leśnych lub łąkowych, w miejscach często podmokłych, gdzie spotyka się torfy. W glebach lasów na pograniczu Wawra i gminy Wiązowna zawartość węgla organicznego wynosi 19,2–47,8%, a w Wesołej w okolicach Macierowego Bagna 41,0–44,3%.

Bogate w węgiel organiczny są torfiaste gleby łąkowe na Białoleńce (do 22%), w dolinie Raszynki (17,5%), w dorzeczu Czarnej (do 17,5%), a także w dolinie Długiej powyżej Ossowa (do 14,4%).

Wody: [tabl. 22](#), [tab. 7](#)

W wodach powierzchniowych zawartość węgla organicznego jest zróżnicowana. 86% badanych wód spełnia normy dla I klasy jakości wód (≤ 15 mg/dm³), a 6% próbek należy do II klasy (>15 – ≤ 20 mg/dm³).

Zawartości anomalne mają charakter punktowy i występują głównie w wodach terenów niezabudowanych na wschodzie i północnym wschodzie arkusza. Największą zawartość węgla organicznego (62,0 mg/dm³) zarejestrowano w wodzie leśnego jeziora z rezerwatu Bagno Jacka w Wesołej, gdzie występuje też podwyższone stężenie ołowiu (3,02 µg/dm³) i cynku (368 µg/dm³) oraz wysoka wartość ChZT (117 mg/dm³). Bogata w węgiel organiczny jest też woda stawu na terenie Wólki Młódzkiej (57,0 mg/dm³).

Ca WAPŃ

Gleby: tabl. 23–24, tab. 4–5

W glebach terenów miejskich w obydwu zakresach głębokości zawartości wapnia są większe w porównaniu z otoczeniem miasta. Najwyższymi przeciętnymi zawartościami wapnia charakteryzują się gleby antropogeniczne, gleby trawników oraz terenów o zabudowie przemysłowej i miejskiej wysokiej. Najuboższe w ten pierwiastek są piaszczyste gleby terenów leśnych. Główną przyczyną wzbogacenia w wapń gleb terenów miejskich jest emisja pyłów ze spalania węgla, a dodatkowo duży udział gruzu.

Maksymalną zawartość wapnia (8,24%) w glebach warstwy powierzchniowej zarejestrowano na terenie już nieczynnej cementowni Warszawa na Żeraniu. Obfitują w wapń gleby w otoczeniu likwidowanego składowiska odpadów poprodukcyjnych huty ArcelorMittal (4,64%) i zakładów Polfa Tarchomin (2,50%).

Wzbogacone w wapń są gleby na przedmieściach Ożarowa. Występująca tu anomalia ma większy zasięg na głębokości 0,8–1,0 m niż na powierzchni, a źródłem wapnia są prawdopodobnie utwory eluwalne o charakterze lessu.

Na głębokości 0,8–1,0 m najwyższą (i prawdopodobnie naturalną) zawartością wapnia (14,86%) cechują się gleby torfiaste w dolinie Raszynki.

Osady: [tabl. 23](#), [tab. 6](#)

W większości osadów zawartość wapnia nie przekracza 1,19%. Jego podwyższone zawartości obserwuje się głównie w zbiornikach wodnych terenów zurbanizowanych, co wiąże się niewątpliwie z wpływem czynników antropogenicznych.

Wyraźnie wzbogacone w wapń są osady zbiorników z terenu Mokotowa (maksymalnie do 9,15% w osadach stawu Promenada, a nieco mniej w osadach stawu Arkadia, stawu w Parku Sieleckim, rowu wzdłuż ulicy Piaseczyńskiej i fosy fortu Piłsudskiego).

Bogate w wapń są też osady Łachy Potockiej (do 10,99%), kanałów Bródnowskiego Górnego (do 7,80%), Henrykowskiego (do 5,28%) i Wystawowego (do 4,97%), a lokalnie osady Wisły i cieków na jej tarasach zalewowych. Najwyższą przeciętną zawartością wapnia cechują się osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 1,35%) oraz osady Wisły (mediana 1,06%). Maksymalną zawartość wapnia (14,57%) zanotowano w osadzie Wisły w miejscowości Kępa Falenicka.

Wysokie zawartości wapnia są zarówno wynikiem drenażu podłoża, naturalnie wzbogaconego w ten pierwiastek, jak i jego dopływu ze źródeł antropogenicznych.

Wody: [tabl. 24](#), [tab. 7](#)

Zdecydowana większość zbadanych wód należy do I i II klasy jakości pod względem zawartości wapnia. Jego przeciętna zawartość (mediana 71,3 mg/dm³) jest zbliżona do zawartości w wodach Polski (mediana 83 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1995) i znacznie niższa niż w wodach strumieniowych Europy (mediana 40 mg/dm³; De Vos, Tarvainen, red., 2006).

Największe stężenia wapnia zanotowano w wodach rowów na terenie leśnym na Paluchu (340,7 mg/dm³) oraz na skraju lasu Bemowo (306,2 mg/dm³).

Anomalne stężenia wapnia (>127,1 mg/dm³) w wodach terenów rolniczych są zapewne częściowo pochodzenia naturalnego, ale mogą też pochodzić ze spływów z wapnowanych gleb. Podwyższona przewodność elektrolityczna wód tych rejonów wynika głównie z wysokiej zawartości wapnia.

Podobnie jak w przypadku osadów, wysokimi zawartościami wapnia na terenie miejskim wyróżniają się wody zbiorników i cieków z obszaru Mokotowa (maksymalnie do 272,4 mg/dm³ w rowie wzdłuż ul. Piaseczyńskiej, a mniej w Bernardyńskiej Wodzie, fosie fortu Piłsudskiego i Kanale Sieleckim).

Bogate w wapń są też wody Rudawki (do 228,7 mg/dm³), Łachy Potockiej (do 182,7 mg/dm³), Kanału Henrykowskiego (do 177,3 mg/dm³) i Żbikówki (do 167,8 mg/dm³). Podwyższone stężenia wapnia w wodach tych zbiorników są spowodowane emisją zanieczyszczeń przemysłowych, spływem powierzchniowym oraz gromadzeniem odpadów gruzu w stawach i gliniankach, a w przypadku Kanału Henrykowskiego także dopływem wód z zakładów farmaceutycznych Polfa Tarchomin.

Rzeka Żbikówka (nazywana też kanałem Konotopy) jest zanieczyszczana przez zakłady przemysłowe oraz kanalizację burzową Ursusa, Piastowa i Pruszkowa-Żbikowa oraz spływy z autostrady A2. Jej wody cechują się podwyższonymi stężeniami kadmu (do 0,09 µg/dm³), magnezu (do 24,5 mg/dm³), molibdenu (do 2,86 µg/dm³), niklu (do 5,8 µg/dm³), azotanów (III) (do 0,95 mg/dm³), azotanów (V) (do 40 mg/dm³), siarczanów (do 185 mg/dm³), uranu (do 14,01 µg/dm³), wanadu (do 3 µg/dm³) i cynku (do 46 µg/dm³).

Cd KADM

Gleby: [tabl. 25–26](#), [tab. 4–5](#)

Zanieczyszczenie środowisk powierzchniowych Ziemi kadmem związane jest przede wszystkim z działalnością człowieka. W glebach Warszawy i okolic jego zawartość w 90% gleb warstwy

powierzchniowej i 97% gleb z głębokości 0,8–1,0 m nie przekracza 0,5 mg/kg – wartości tła geochemicznego gleb Polski (Pasieczna, 2003).

Lokalne anomalie zawartości kadmu w wierzchnich warstwach gleb związane są z zanieczyszczeniami przemysłowymi i komunikacyjnymi. Jego maksymalną zawartość (95,6 mg/kg) zarejestrowano na Jelonkach przy ul. Lazurkowej.

Najbardziej zanieczyszczone kadmem są gleby terenów przemysłowych i poprzemysłowych. W glebach na wschodnim obrzeżu dawnego Służewca Przemysłowego zawartości kadmu wynoszą 4–9 mg/kg. Na terenie przemysłowym na Białołęce zanotowano 8,1 mg/kg kadmu, na terenie poprzemysłowym na Mokotowie 7,3 mg/kg, w sąsiedztwie elektrociepłowni i dawnych zakładów FSO na Żeraniu 4,0 mg/kg, na terenie huty ArcelorMittal 2–3 mg/kg, a w dolinie Wisły w jej sąsiedztwie 5–7 mg/kg.

Zanieczyszczone przez kadm są gleby części tarasów zalewowych Wisły (do 4,8 mg/kg w rejonie Łomianek).

Poza Warszawą zwiększone zawartości kadmu zarejestrowano w Wołominie (3,6 mg/kg) w pobliżu huty szkła Termisil, a także na łąkach w Karczewie (3,0 mg/kg), przez które przepływa Jagodzianka, odbierająca ścieki z oczyszczalni w Otwocku.

Maksymalną zawartość kadmu (19,6 mg/kg) na głębokości 0,8–1,0 m zawierają gleby na Targówku nad Kanałem Bródnowskim Górnym, w sąsiedztwie linii kolejowej. W glebie tej stwierdzono także maksymalną zawartość srebra (20 mg/kg) i kobaltu (20 mg/kg). Zanieczyszczenia metalami wiążą się prawdopodobnie z rozlewami wód kanału.

Osady: [tabl. 25](#), [tab. 6](#)

Zanieczyszczenie osadów kadmem jest powodowane przede wszystkim zrzutem ścieków przemysłowych. Największą zawartość kadmu (119,7 mg/kg) zanotowano w osadach Jeziorki na terenie Parku Zdrojowego w Konstancinie-Jeziornej. Źródłem zanieczyszczenia mogły być zrzuty ścieków z zakładów Thomson Technicolor Polska (dawny Polkolor) i oczyszczalni ścieków w Piasecznie.

Anomalnymi zawartościami tego pierwiastka wyróżniają się także osady Kanału Bródnowskiego Górnego (do 58,9 mg/kg), Potoku Służewieckiego poniżej lotniska (do 6,9 mg/kg) oraz Strugi Pogorzelskiej (do 5,6 mg/kg). Za zanieczyszczenie osadów Kanału Bródnowskiego mogą odpowiadać nieistniejące już zakłady przemysłowe Targówka, w tym Warszawskie Zakłady Telewizyjne ELEMIS, natomiast zanieczyszczenie osadów Potoku Służewieckiego zostało

prawdopodobnie spowodowane w przeszłości przez ścieki z licznych dawnych zakładów przemysłowych (głównie przemysłu elektronicznego), zlokalizowanych na Służewcu Przemysłowym (Cemi, Elwa, Cerad). Obecnie Potok Służewiecki jest odbiornikiem ścieków deszczowych z oczyszczalni lotniska Chopina oraz ścieków deszczowych nieoczyszczonych z obszarów Ursynowa, Mokotowa i Wilanowa. W przypadku Strugi Pogorzelskiej źródło zrzutu ścieków jest trudne do określenia.

Podwyższone zawartości kadmu ($>1,6$ mg/kg) w osadach Wilanówki, płynącej przez tereny użytkowane rolniczo, mogą być związane ze spływem powierzchniowym z pól, na których stosowano nawozy fosforowe, będące jego istotnym źródłem (Kabata-Pendias, Mukherjee, 2007).

Lokalne zanieczyszczenia kadmem (do 4,1 mg/kg) wykazują też osady Wisły (mediana 0,7 mg/kg).

Wody: [tabl. 26](#), [tab. 7](#)

Zawartość kadmu w 90% próbek wód powierzchniowych nie przekracza $0,05$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (zatem wszystkie wody zaklasyfikowano do I klasy jakości, zgodnie z wytycznymi Dyrektywy 2013/39/UE).

Najwyższą jego zawartość ($0,39$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) zanotowano w wodach rowu w miejscowości Żanęcin na południowy wschód od Wiązownej.

Stężeniami kadmu $0,07$ – $0,30$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ charakteryzują się wody Strugi Pogorzelskiej oraz jej przedłużenia – Kanału Południowego, płynących przez teren Mazowieckiego Parku Krajobrazowego. Wzbogacenie tych wód także w glin, miedź, ołów, wanad i cynk wskazuje na lokalny zrzut zanieczyszczeń.

Podobne stężenia kadmu wykryto też w wodach górnego odcinka Kanału Henrykowskiego, Żbikówki, Czarnej i jej dopływów oraz innych drobniejszych cieków.

ChZT CHEMICZNE ZAPOTRZEBOWANIE TLENU

Wody: [tabl. 27](#), [tab. 7](#)

Chemiczne zapotrzebowanie tlenu jest umownym wskaźnikiem zanieczyszczenia wody i oznacza ilość tlenu pobranego z utleniacza na utlenienie obecnych w wodzie związków organicznych i niektórych związków nieorganicznych.

83% badanych próbek spełnia normy dla I klasy jakości wód, a 4% dla II klasy jakości wód pod

względem wielkości ChZT (odpowiednio ≤ 25 mg/dm³ i $> 25 - \leq 30$ mg/dm³).

Podwyższone wartości ChZT zarejestrowano lokalnie w podrzędnych ciekach, głównie po wschodniej stronie Wisły. Dużymi średnimi wartościami ChZT wyróżniają się wody zbiorników zlewni Czarnej (mediana 19 mg/dm³) i Świdra (mediana 15 mg/dm³). Największe wartości ChZT stwierdzono w wodach zbiorników zamkniętych: stawu w Wólce Młódzkiej (118 mg/dm³) i jeziora w obrębie Bagna Jacka (117 mg/dm³) w Wesołej.

Cl CHLOR

Wody: [tabl. 28](#), [tab. 7](#)

Zawartość chloru w wodach powierzchniowych zmienia się od 1,2 do 1100 mg/dm³, a rozkład jego stężeń jest zbliżony do rozkładu wartości EC. Przeciętna zawartość chloru (mediana 48,3 mg/dm³) jest bliska przeciętnej zawartości tego pierwiastka w wodach aglomeracji Poznania (mediana 49,7 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005).

Maksymalną zawartość chloru stwierdzono w wodach stawu (rozlewiska) w miejscowości Pólko (na północ od Marek).

Dużymi stężeniami chloru charakteryzują się w wody terenów zurbanizowanych. W wodzie stawu osiedlowego Jeziorzec na Bemowie zanotowano 1010 mg/dm³ chloru oraz EC 2,91 mS/cm, duży udział sodu (618,3 mg/dm³), molibdenu (8,66 µg/dm³) i antymonu (1,88 µg/dm³).

Anomalnymi stężeniami chloru (> 223 mg/dm³) wyróżniają się wody zbiorników Mokotowa (Bernardyńska Woda, fosy dwóch fortów: Czerniakowskiego i Piłsudskiego, Jezioro Czerniakowskie, Kanał Czerniakowski, Staw pod Królikarnią).

Bogate w chlor są też wody Potoku Służewieckiego, Kanału Henrykowskiego i Łachy Potockiej. Znaczne zawartości chloru obserwuje się również w wodach cieków północno-zachodniej części Warszawy oraz za jej zachodnią granicą (w Laskach, Mościskach, Lachtorzewie) – w dopływie Lipkowskiej Wody, płynącym z rejonu Wólki Węglowej i huty oraz w prawostronnym dopływie Strugi prowadzącym wody spod Bemowa, a także w innych drobnych ciekach tego rejonu.

Stężenia chloru osiągające 803 mg/dm³ występują w wodach strumieni i rowów zasilających Raszynkę w okolicach Janek. Źródłem chloru jest głównie spływ powierzchniowy soli z dróg.

94% zbadanych wód należy do I klasy jakości (≤ 200 mg/dm³ chlorków), a 4% to wody II klasy jakości ($> 200 - \leq 300$ mg/dm³ chlorków).

Wody Wisły na terenie Warszawy w zdecydowanej większości (95%) zaliczono do I klasy

(mediana zawartości chloru 63 mg/dm^3). Najwyższą zawartością chloru cechują się wody zlewni Łasicy (mediana $72,6 \text{ mg/dm}^3$), a najniższą zlewni Świdra (mediana 20 mg/dm^3).

Co KOBALT

Gleby: tabl. 29–30, tab. 4–5

Zawartość kobaltu w powierzchniowej warstwie gleb obszaru w granicach arkusza (mediana 2 mg/kg) jest identyczna jak w glebach Polski (Lis, Pasieczna, 1995).

Rozkład zawartości kobaltu w obydwu zakresach głębokości jest podobny. Podwyższonymi zawartościami tego pierwiastka ($>4 \text{ mg/kg}$) wyróżniają się gleby doliny Wisły oraz niektórych rejonów w zachodniej części miasta utworzone na madach, glinach lodowcowych lub utworach eluwialnych, bogatych w minerały ilaste. Zawartość kobaltu w tych glebach jest naturalna.

Na tle zawartości naturalnych zaznacza się antropogeniczne zanieczyszczenie kobaltem gleb warstwy powierzchniowej w rejonie huty ArcelorMittal (do 38 mg/kg), dawnego Służewca Przemysłowego (do 17 mg/kg) i zakładów Polfa Tarchomin (8 mg/kg).

W glebach z głębokości $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$ największą zawartość kobaltu stwierdzono na Targówku oraz nad Kanałem Bródnowskim Górnym, gdzie zanotowano też maksymalne zawartości srebra i kadmu.

Osady: tabl. 29, tab. 6

W większości osadów zawartość kobaltu nie przekracza 10 mg/kg , a podwyższenia obserwuje się w osadach Wisły i cieków drenujących jej tarasy zalewowe, o podłożu naturalnie wzbogaconym w kobalt.

Zanieczyszczone kobaltem (do 20 mg/kg) są osady Kanału Bródnowskiego Górnego, biorącego początek w rejonie ciepłowni Kawęczyn i opływającego od wschodu teren Targówka Fabrycznego. W Kanale Henrykowskim, odwadniającym rejon zakładów Polfa Tarchomin, osady zawierają do 14 mg/kg kobaltu, a w Rowie z Lewandowa na Białołęce do 12 mg/kg . Źródłem kobaltu są prawdopodobnie zrzuty ścieków przemysłowych w niedalekiej przeszłości.

Podwyższonymi zawartościami kobaltu cechują się osady Jagodzianki (14 mg/kg) poniżej zrzutu z oczyszczalni w Otwocku, a największą jego zawartość (49 mg/kg) stwierdzono w osadach rowu bez nazwy na terenie leśnym w Wiązownej.

Wody: tabl. 30, tab. 7

Zawartość kobaltu w badanych wodach jest generalnie niska, a najmniejszym przeciętnym stężeniem (mediana $0,13 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) charakteryzują się wody Wisły. Wszystkie analizowane wody można zaliczyć do klas I/II jakości wód ($<50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ kobaltu).

Największa jest zawartość kobaltu ($23,72 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w wodach rowu w zlewni Czarnej, a mniejsza ($15,63 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w wodach rowu w zlewni Potoku Służewieckiego.

W wodach kanału wpadającego do rzeki Czarnej na terenie Wołomina zanotowano $15,33 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ kobaltu oraz $19 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ chromu, a także podwyższone stężenia litu ($30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), niklu ($40,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i jonu amonowego ($8,83 \text{mg}/\text{dm}^3$). Źródłem zanieczyszczeń są ścieki i odpady z działających tu wcześniej zakładów stolarki budowlanej, a obecnie z zakładów chemicznych.

Podwyższone w stosunku do tła geochemicznego zawartości kobaltu zarejestrowano ponadto w wodach Kanału Henrykowskiego (do $10,3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Rowu z Lewandowa (do $7,9 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Rowu Miedzeszyńskiego (do $6,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), starorzecza (jeziora Łacha) w Józefowie (do $6,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), rowu na terenie leśnym w Radzyminie ($4,39 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Kanału Zagoździańskiego w Wawrze (do $3,0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), kanału Magenta w Rembertowie i Zielonce (do $2,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Ilość tego metalu w wodach powierzchniowych pozostaje w ścisłej zależności od zanieczyszczeń ściekami przemysłowymi.

Cr CHROM

Gleby: tabl. 31–32, tab. 4–5

Rozkład zawartości chromu w obu zakresach głębokości gleb jest zbliżony. Jego podwyższonymi zawartościami wyróżniają się gleby doliny Wisły i terenów miejsko-przemysłowych. Przeciętna zawartość chromu w glebach warstwy powierzchniowej (mediana $7 \text{mg}/\text{kg}$) jest prawie dwukrotnie większa niż tło geochemiczne chromu w glebach Polski (mediana $3 \text{mg}/\text{kg}$; Pasieczna, 2003). Najmniejszymi zawartościami chromu charakteryzują się gleby leśne.

Zawartości $>10 \text{mg}/\text{kg}$ chromu w obu zakresach głębokości gleb tarasów zalewowych Wisły i w rejonie od zachodnich obrzeży Warszawy do Ożarowa wiążą się prawdopodobnie z jego większą obecnością w składzie chemicznym skał macierzystych.

Największe zawartości chromu (do $785 \text{mg}/\text{kg}$), występujące w glebach warstwy powierzchniowej z otoczenia huty ArcelorMittal (działającej od 1957 r.), są związane z emisjami jej pyłów. Gleby z terenu huty są ponadto zanieczyszczone przez arsen ($22 \text{mg}/\text{kg}$), kadm ($2,8 \text{mg}/\text{kg}$), kobalt ($38 \text{mg}/\text{kg}$), miedź ($123 \text{mg}/\text{kg}$), nikiel ($272 \text{mg}/\text{kg}$), ołów ($316 \text{mg}/\text{kg}$), tytan ($337 \text{mg}/\text{kg}$), wanad ($63 \text{mg}/\text{kg}$) i cynk ($887 \text{mg}/\text{kg}$). Mają silnie alkaliczny odczyn i zawierają do $14,06\%$ żelaza,

do 5451 mg/kg manganu, do 4,64% wapnia i do 1,39% magnezu. Ocena zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi w rejonie huty, przeprowadzona w latach 1993–2008 metodą bioindykacyjną, wykazała wyraźne zmniejszenie emisji chromu przez ten zakład w wyniku jego współczesnej modernizacji (Dmuchowski i in., 2011).

Anomalne zawartości chromu zarejestrowano także w wierzchnich warstwach gleb w pobliżu terenu dawnych Zakładów Ceramiki Radiowej (93 mg/kg) na Ursynowie, na terenie ciepłowni Kawęczyn (do 84 mg/kg), w sąsiedztwie dawnych zakładów mechanicznych Ursus (59 mg/kg) oraz na terenie leśnym w miejscowości Zakręt (168 mg/kg).

Na głębokości 0,8–1,0 m maksymalną zawartość chromu (112 mg/kg), a także do 74 mg/kg niklu stwierdzono na terenie przemysłowym na Żeraniu.

Osady: [tabl. 31](#), [tab. 6](#)

Zawartości chromu w osadach większe od tła geochemicznego osadów Polski (mediana 5 mg/kg) obserwuje się przede wszystkim na terenach zurbanizowanych, co wskazuje, że ich głównym źródłem są ścieki przemysłowe i komunalne.

Anomalne zawartości chromu (>40 mg/kg) stwierdzono w osadach cieków odwadniających obecne i historyczne tereny przemysłowe: Kanału Bródnowskiego Górnego, Kanału Henrykowskiego, Potoku Służewieckiego, Jeziorki poniżej Konstancina oraz Rowu Opaczewskiego w Raszynie. Największą zawartość chromu (983 mg/kg) zarejestrowano w osadzie Żbikówki w sąsiedztwie autostrady A2 w Konotopie, a najmniejszymi jego zawartościami (4–5 mg/kg) charakteryzują się osady zlewni Świdra, Czarnej i Długiej.

Wody: [tabl. 32](#), [tab. 7](#)

W większości wód powierzchniowych stężenie chromu nie przekracza granicy wykrywalności (3 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). W 17 próbkach stwierdzono większe zawartości, a maksymalne stężenie (19 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) zarejestrowano w Wołominie, w kanale odprowadzającym wody z terenu przemysłowego.

Wszystkie zbadane wody spełniają normy dla I/II klasy jakości wód (stężenie chromu <50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Cu MIEDŹ

Gleby: [tabl. 33–34](#), [tab. 4–5](#)

Przeciętna zawartość miedzi w glebach warstwy powierzchniowej (mediana 9 mg/kg) jest

trzykrotnie większa niż na głębokości 0,8–1,0 m (mediana 3 mg/kg), co wskazuje na antropogeniczne źródła tego metalu. Rozkład anomalnych zawartości w obu zakresach głębokości jest bardzo podobny, dowodząc, że zanieczyszczenia z powierzchni łatwo migrują w głąb profili glebowych. Gleby z terenów zurbanizowanych są wyraźnie wzbogacone w miedź w stosunku do gleb z terenów niezabudowanych. Najmniejszą przeciętną zawartością miedzi (mediana 3 mg/kg), identyczną jak tło geochemiczne gleb z obszarów niezabudowanych Polski (Pasieczna, 2003), cechują się gleby lasów.

Anomalnymi stężeniami miedzi (>50 mg/kg) odznaczają się niektóre gleby w rejonie Targówka, Pragi, Śródmieścia, Woli, Ochoty, Włoch i zachodnich peryferii miasta. Są to tereny położone wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych (drogowych i kolejowych), na których ponadto od połowy XIX w. mieściły się zakłady przemysłowe różnych branż. Głównymi źródłami miedzi były pyły emitowane przez zakłady przemysłowe, energetyczne oraz środki komunikacji.

W warstwie powierzchniowej maksymalną zawartość miedzi (4477 mg/kg) wykryto na terenie poprzemysłowym Targówka Fabrycznego. Na głębokości 0,8–1,0 m zawartość miedzi osiąga tu 200 mg/kg. Zanieczyszczenie wiąże się niewątpliwie z działalnością przemysłową. Od roku 1879 do lat 50. XX w. działała tu fabryka chemiczna produkująca kwas azotowy i siarkowy, nawozy sztuczne, sodę, amoniak, tłuszcze garbarskie, tlenki żelaza i polewy do kafli (Encyklopedia Warszawy, 1975; Targówek Fabryczny..., 2015). W okresie przedwojennym do największych zakładów tego rejonu należały m.in.: stalownia, huta szkła, mennica oraz fabryki obrabiarek, lamp, kosmetyków, drutu, sprzętu spawalniczego i amunicji. Wiele z tych zakładów kontynuowało działalność po wojnie, ale pojawiły się też zakłady telewizyjne oraz fabryki urządzeń telefonicznych, maszyn i mebli.

Bardzo wysokie zawartości miedzi, zanotowane w glebach warstwy powierzchniowej na Pradze Południe (do 1489 mg/kg na Koziej Górcie i 815 mg/kg w rejonie Olszynki Grochowskiej), a także w Wawrze (476 mg/kg), na Woli (do 310 mg/kg) i na Bemowie (193 mg/kg), występują w pobliżu torów i węzłów kolejowych, co można wiązać ze stosowaniem środków chwastobójczych na torach i preparatów grzybobójczych do nasączania podkładów kolejowych.

Zanieczyszczone miedzią (827 mg/kg) są gleby warstwy powierzchniowej przy ul. Kłopotowskiego, gdzie od 1900 r. funkcjonowała fabryka maszyn i kamieni młyńskich, a po wojnie zakłady budowy maszyn i aparatury badawczej (Portal informacyjny..., 2015a).

Z emisjami pyłów przemysłowych można także wiązać zanieczyszczenie miedzią gleb w rejonie dawnego Centrum Optyki przy ul. Ostrobramskiej (314 mg/kg), na terenie huty ArcelorMittal (do

123 mg/kg), zakładów Polfa Tarchomin (100 mg/kg) oraz w sąsiedztwie dawnej Fabryki Kabli w Ożarowie (187 mg/kg).

Maksymalną zawartość miedzi w glebie z głębokości 0,8–1,0 m (442 mg/kg) napotkano na Kamionku, a zanieczyszczenie jest prawdopodobnie związane z wieloletnią działalnością zakładów aparatury pomiarowej (Encyklopedia Warszawy, 1975).

Zawartościami miedzi większymi niż w warstwie powierzchniowej cechują się gleby na terenie kolejowym w rejonie dawnego FSO na Żeraniu (279 mg/kg). Zawierają też do 8,27% żelaza, 1524 mg/kg manganu, 291 mg/kg strontu i 379 mg/kg tytanu. W głębszej warstwie gleb w rejonie lotniska Chopina na Okęciu zarejestrowano 198 mg/kg miedzi oraz 412 mg/kg ołowiu.

Osady: [tabl. 33](#), [tab. 6](#)

Zanieczyszczone miedzią są głównie osady cieków i zbiorników na terenach zurbanizowanych. Wartość mediany zawartości miedzi (12 mg/kg) jest nieco większa niż notowana w latach 90. XX w. – 9 mg/kg (Lis, 1992). Do najbardziej zanieczyszczonych miedzią należą osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 31 mg/kg), a najmniej – osady zlewni Świdra (mediana 3 mg/kg).

Największe zawartości miedzi (383–2131 mg/kg) zarejestrowano w osadach Rowu Opaczewskiego, biorącego początek w sąsiedztwie linii kolejowej WKD w Salomei i zbierającego ścieki deszczowe z części terenu dzielnicy Włochy.

Anomalnymi zawartościami miedzi (>140 mg/kg) cechują się osady Utraty poniżej ujścia Raszynki (do 367 mg/kg), Kanału Bródnowskiego Górnego poniżej Targówka Fabrycznego (do 321 mg/kg), Kanału Henrykowskiego poniżej Polfy Tarchomin (do 225 mg/kg) oraz dopływu Lipkowskiej Wody z okolic Wólki Węglowej (do 223 mg/kg). W osadach Wilanówki i Potoku Służewieckiego zawartość miedzi dochodzi do 106 mg/kg.

Źródłem zanieczyszczenia osadów miedzią są ścieki (głównie przemysłowe) i spływy powierzchniowe.

Wody: [tabl. 34](#), [tab. 7](#)

Zawartość miedzi w badanych wodach powierzchniowych wynosi 0,15–75,93 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Tylko w jednej próbce zawartość miedzi przekroczyła 50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ – wartość graniczną dla klas I/II jakości wód.

Anomalne stężenia (>5,45 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) obserwuje się przede wszystkim w ciekach i zbiornikach

wodnych zachodniej części analizowanego obszaru. Największymi stężeniami tego pierwiastka, podobnie jak w przypadku osadów, charakteryzują się wody Rowu Opaczewskiego (5,78–75,93 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), zbierającego odcieki z trasy S8.

W międz obfitują też wody dopływów Kanału Grabowskiego na terenie Ursynowa (do 12,90 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), Lipkowskiej Wody biorącej początek w okolicy huty ArcelorMittal (do 11,91 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), Strugi i jej dopływu z terenu Bemowa (do 8,37 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz Potoku Służewieckiego poniżej ujścia rowu Wolica (do 6,39 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Po wschodniej stronie doliny Wisły podwyższonymi stężeniami miedzi wyróżniają się wody Strugi Pogorzelskiej i Kanału Południowego, Kanału Henrykowskiego oraz lokalnie wody Rowu Miedzeszyńskiego, Kanału Wawerskiego, rzeki Czarnej i jej kilku drobnych dopływów. W wodzie rowu zasilającego Czarną na terenie leśnym w Markach stwierdzono 14,19 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ miedzi.

Mediana zawartości miedzi w wodach Wisły (2,32 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest większa w porównaniu z wodami innych cieków.

F FLUOR

Wody: [tabl. 35](#), [tab. 7](#)

Zawartość fluoru w większości zbadanych próbek (95%) nie przekracza granicy oznaczalności (0,1 mg/dm^3). Większe stężenia fluoru, występujące w wodach Lipkowskiej Wody i jej dopływów, mogą być wynikiem emisji przemysłowych fluorków z huty ArcelorMittal, wprowadzanych do atmosfery (a następnie do wód) w wyniku procesów technologicznych przy produkcji stali (Dojlido, 1995). Anomalne stężenia fluoru obserwuje się też w wodach Kanału Henrykowskiego (zanieczyszczonych także szeregiem innych pierwiastków), Portu Praskiego i Jeziora Kamionkowskiego, stawów w Parku Skaryszewskim, Starej Wisły i Łachy Kuligowskiej w Wawrze oraz lokalnie w drobnych dopływach Świdra, Mieni, Czarnej i Raszynki. Na terenach użytkowanych rolniczo źródłem fluoru może być spływ powierzchniowy z pól, na których stosowano nawozy fosforowe.

Zbadane wody należą do I klasy jakości wód pod względem zawartości fluoru ($\leq 1,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Maksymalną jego zawartość (1,5 mg/dm^3) zarejestrowano w wodach rowu Wolica pod Skarpą Ursynowską.

Fe ŻELAZO

Gleby: tabl. 36–37, tab. 4–5

Rozkład zawartości żelaza w glebach z obydwu zakresów głębokości jest zbliżony. Najmniej żelaza zawierają piaszczyste gleby terenów leśnych, a najwięcej gleby terenów miejskich i przemysłowych.

Anomalne zawartości tego pierwiastka (>2%) mają prawdopodobnie dwojaką genezę. Na tarasach zalewowych Wisły, gdzie występują mady bogate w minerały ilaste i glin, zawartość żelaza dochodząca do 4,35% jest przypuszczalnie naturalna. Naturalnie wzbogacone w żelazo (do 5,98%) są także gleby podmokłych terenów, utworzone na torfach i namulach bogatych w substancję organiczną w dolinie Długiej poniżej Okuniewa oraz na Targówku i Białoleńce (do 6,23%). Gleby te są jednocześnie wzbogacone w arsen.

Prawdopodobnie antropogeniczne jest zanieczyszczenie żelazem gleb warstwy powierzchniowej na terenie huty ArcelorMittal (do 14,06%), na terenie kolejowym na Woli (5,55%) oraz w rejonie dawnych Zakładów Mechanicznych Ursus (3,59%). Raczej antropogeniczny charakter mają też punktowe anomalie w Broniszach i w Kajetanach na południowym zachodzie arkusza.

W glebach z głębokości 0,8–1,0 m największą zawartość żelaza (20,76%) stwierdzono na terenie Parku Henrykowskiego w Białoleńce. Punktowe anomalie zawartości żelaza (odpowiednio 8,35% i 8,27%) przy Trasie Łazienkowskiej w Śródmieściu i na terenie kolejowym przy dawnym FSO na Żeraniu występują w glebach nasypowych i mają z pewnością charakter antropogeniczny.

Osady: tabl. 36, tab. 6

Mediana zawartości żelaza w osadach (0,67%) jest identyczna jak w badaniach wcześniejszych (Lis, 1992). Maksymalne zawartości tego metalu (27,03%) w osadzie organicznym Kanału Wolickiego (Miasteczko Wilanów) oraz Rowu z Lewandowa (do 17,44%) mogą być rezultatem odprowadzania wód gruntowych wzbogaconych w żelazo z terenu budowanych osiedli do cieków.

Anomalne zawartości żelaza obserwowane w osadach kanałów Bródnowskiego Górnego (do 9,27%) i Henrykowskiego (do 9,51%) są niewątpliwie związane z działalnością zakładów przemysłowych Targówka i Tarchomina, a w osadach kanałów na Białoleńce (do 8,55%) mają prawdopodobnie charakter naturalny.

Wyraźnie podwyższone zawartości żelaza (>3,82%) w osadach cieków i zbiorników wodnych na tarasach zalewowych Wisły (powyżej Zawad) są związane z drenażem podłoża bogatego w jego związki (w osadach Wilanówki zawartość tego pierwiastka dochodzi do 9,25%).

Wody: [tabl. 37](#), [tab. 7](#)

Zawartość żelaza w wodach powierzchniowych Warszawy i okolic mieści się w zakresie $<0,01$ – $40,06$ mg/dm^3 , a mediana wynosi $0,09$ mg/dm^3 . Podobnie jak dla glinu, większymi stężeniami żelaza charakteryzują się wody po prawej stronie Wisły.

Największym stężeniem ($40,06$ mg/dm^3) odznaczają się wody rowu w zlewni Raszynki. Znaczne są też zawartości żelaza w wodach rowów terenów leśnych w Józefowie ($35,30$ mg/dm^3) i w Radzyminie ($22,8$ mg/dm^3). W Radzyminie stwierdzono też maksymalną dla całego obszaru arkusza zawartość glinu ($4209,6$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) i podwyższoną kobaltu – $4,39$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Podwyższone stężenia ($>1,60$ mg/dm^3) obserwuje się w wodach niektórych dopływów Czarnej, Mieni, Świdra, Kanału Wawerskiego, kanałów na terenie Białoleki, Rowu z Lewandowa oraz Kanału Bródnowskiego Dolnego, Kanału Zagoździańskiego i Rowu Miedzeszyńskiego.

W wodach starorzecza Wisły w Łęgu k. Konstancina zawartość żelaza wynosi $20,60$ mg/dm^3 , a w wodach rowu w Wawrze $17,83$ mg/dm^3 .

Najmniejszym przeciętnym stężeniem żelaza charakteryzują się wody zlewni Utraty (mediana $0,05$ mg/dm^3), a największym – wody zlewni Świdra (mediana $0,25$ mg/dm^3).

HCO₃ WODOROWĘGLANY

Wody: [tabl. 38](#), [tab. 7](#)

Na przeważającym obszarze w granicach arkusza zawartość wodorowęglanów wynosi 12 – 325 mg/dm^3 . Największą przeciętną zawartością wodorowęglanów charakteryzują się wody zlewni Łasicy (mediana 267 mg/dm^3), a najmniejszą wody Wisły (mediana 171 mg/dm^3). Mediana zawartości wód stawów i jezior wynosi 193 mg/dm^3 .

Maksymalne stężenie HCO₃ (1198 mg/dm^3) zarejestrowano w wodach rowu przyjmującego ścieki komunalne w miejscowości Zagościniec (na NE od Wołomina). Woda tego rowu (o wartości EC $2,3$ mS/cm) wzbogacona jest także w fosfor, krzemionkę, sól i chlor.

Zwiększonymi stężeniami wodorowęglanów wyróżniają się wody niektórych cieków i zbiorników, charakteryzujące się równocześnie dużą wartością EC i wysokimi zawartościami boru, baru, wapnia, chloru, litu, magnezu, sodu, siarczanów, krzemionki, strontu i uranu. Na terenie Mokotowa są to wody fosy fortu Piłsudskiego i Fortu Czerniakowskiego, Bernardyńskiej Wody, Kanału Sieleckiego, stawu Arkadia i jeziora w Parku Sieleckim.

Bogate w wodorowęglany (a także w bar, wapń, chlor, lit, magnez, sól i siarczany) są wody

Łachy Potockiej oraz wody Kanału Henrykowskiego.

Wyraźnie anomalne stężenia wodorowęglanów ($>378 \text{ mg/dm}^3$) obserwuje się także w wodach Lipkowskiej Wody i Strugi wraz z dopływami (do 681 mg/dm^3) na zachodzie arkusza, w wodach Raszynki i jej dopływów (do 540 mg/dm^3) na południu oraz w wodach zlewni Czarnej na północnym wschodzie.

Hg RTEĆ

Gleby: tabl. 39–40, tab. 4–5

Zawartość rtęci jest zróżnicowana; dla 50% zbadanych gleb warstwy powierzchniowej nie przekracza wartości tła geochemicznego gleb Polski (mediana $<0,05 \text{ mg/kg}$; Pasieczna, 2003).

Zwiększone zawartości rtęci (o charakterze antropogenicznym) występują głównie w ścisłym centrum Warszawy: w Śródmieściu, na Woli, na Żoliborzu (Marymont), w północnej części Ochoty oraz na Pradze Północ (Szmulki, Stara Praga, Nowa Praga) i na Pradze Południe (Kamionek). Obszar anomalii w obu badanych zakresach głębokościowych gleb jest bardzo podobny, co wskazuje na łatwą migrację rtęci w głąb profili glebowych.

Do najbardziej zanieczyszczonych w centrum Warszawy należą wierzchnie warstwy gleb parków ($<0,05\text{--}2,74 \text{ mg/kg}$; mediana $0,11 \text{ mg/kg}$). Podobnym przeciętnym stężeniem rtęci charakteryzują się gleby w parkach Poznania (mediana $0,13 \text{ mg/kg}$; Lis, Pasieczna, 2005).

Maksymalne zawartości rtęci: $3,83 \text{ mg/kg}$ w glebach warstwy powierzchniowej oraz $4,98 \text{ mg/kg}$ na głębokości $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$ stwierdzono w pobliżu dworca Warszawa Wschodnia. Źródłem zanieczyszczenia gleb pod torowiskami kolejowymi mogły być zarówno emisje pyłów ze spalania węgla, który zawiera średnio $0,06\text{--}0,39 \text{ mg/kg}$ rtęci (Bojakowska, Sokołowska, 2001), jak i stosowanie środków zawierających rtęć do konserwacji podkładów na torach.

Zanieczyszczone rtęcią są gleby skarpy warszawskiej (odpowiednio $2,93 \text{ mg/kg}$ przy powierzchni i $4,01 \text{ mg/kg}$ w poziomie głębszym) w rejonie Starego Miasta. Do $1,27 \text{ mg/kg}$ rtęci zanotowano w glebach warstwy powierzchniowej na terenie Parku Kazimierzowskiego i $1,42 \text{ mg/kg}$ na Marymoncie. Są to gleby na nasypach antropogenicznych złożonych z różnorodnego materiału odpadowego, które w obrębie Starego i Nowego Miasta pojawiały się już w średniowieczu.

Wyraźnie anomalne zawartości rtęci napotkano w glebach warstwy powierzchniowej na terenie parku Moczydło ($2,74 \text{ mg/kg}$), Parku Leśnego Bemowo ($2,49 \text{ mg/kg}$), ogródków działkowych na Targówku ($2,07 \text{ mg/kg}$), w sąsiedztwie dawnej elektrociepłowni na Powiślu ($1,79 \text{ mg/kg}$), na terenie ciepłowni Kawęczyn ($1,52 \text{ mg/kg}$), przy ul. Koszykowej w Śródmieściu ($1,31 \text{ mg/kg}$) i na

osiedlu Augustówek na Białolecie (1,17 mg/kg).

Poza Warszawą niewielkie lokalne anomalie rtęci zanotowano w pobliżu linii kolejowej w Duczkach k. Wołomina (2,49 mg/kg).

Zanieczyszczone rtęcią są też gleby pól uprawnych w miejscowościach Zamienie w gminie Lesznówola (1,98 mg/kg) i Jaworowa na południowy wschód od Raszyna (1,01 mg/kg) oraz w pobliżu oczyszczalni ścieków pomiędzy Karczewem a Otwockiem (0,42 mg/kg). Źródłem rtęci w glebach użytkowanych rolniczo mogły być stosowane w przeszłości środki do zapraw nasiennych oraz preparaty ochrony roślin.

Osady: [tabl. 39](#), [tab. 6](#)

Zawartość rtęci w osadach zmienia się w zakresie od <0,05 do 3,57 mg/kg. Anomalnymi zawartościami tego metalu wyróżniają się osady Kanału Bródnowskiego Górnego, który był przez lata odbiornikiem ścieków z zakładów przemysłowych Targówka (do 2,01 mg/kg), Kanału Henrykowskiego poniżej zakładów Polfa Tarchomin (do 1,11 mg/kg) oraz Wilanówki, w przypadku której źródłem rtęci (do 0,55 mg/kg) mógł być spływ powierzchniowy z pól, na których stosowano rtęciowe preparaty ochrony roślin.

Anomalne zawartości rtęci stwierdzono lokalnie w osadach Rudawki na terenie Lasu Bielańskiego, kanału Magenta w Rembertowie i Jagodzianki (poniżej oczyszczalni ścieków), a także niektórych zbiorników bezodpływowych: Stawu pod Królikarnią (3,46 mg/kg) i fosy fortu Radiowo (0,70 mg/kg).

Maksymalną zawartość rtęci (3,57 mg/kg) zanotowano w osadzie organicznym Jeziorka Wilanowskiego, który obfituje też w kadm (6,7 mg/kg), kobalt (10 mg/kg), miedź (105 mg/kg) i cynk (640 mg/kg). Wcześniejsze badania osadów tego jeziora, które od lat jest zanieczyszczane wodami Potoku Służewieckiego, wykazały zawartość rtęci do 1,870 mg/kg oraz duży udział kadmu, miedzi, ołowiu i cynku (Tomassi-Morawiec i in., 2007).

K POTAS

Wody: [tabl. 41](#), [tab. 7](#)

Zawartość potasu w badanych wodach waha się od 0,1 do 58,3 mg/dm³. Mediana stężenia tego pierwiastka (5,7 mg/dm³) jest mniejsza niż w wodach Polski (mediana 6,5 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1995) czy w wodach aglomeracji Poznania (mediana 7,9 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005) i zbliżona do stężenia w wodach Szczecina i okolic (mediana 5 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1998a).

Po zachodniej stronie Wisły anomalnymi zawartościami potasu ($>17,0 \text{ mg/dm}^3$) wyróżniają się wody Strugi oraz jej dopływu z okolic Bemowa (do $22,4 \text{ mg/dm}^3$), cieków w zlewni Lipkowskiej Wody ($54,2 \text{ mg/dm}^3$) oraz rowu opaskowego składowiska w Radiowie ($20,1 \text{ mg/dm}^3$).

Bogate w potas są też zbiorniki wód stojących z obszaru miejskiego, takich jak: staw Sadurka ($45,6 \text{ mg/dm}^3$), staw Łużek ($44,3 \text{ mg/dm}^3$), glinianki Jelonek ($44,0 \text{ mg/dm}^3$), Jezioro Imielińskie ($26,6 \text{ mg/dm}^3$), fosa fortu Zbarż ($23,1 \text{ mg/dm}^3$), fosa fortu Blizne ($22,8 \text{ mg/dm}^3$), Stawy Młocińskie ($19,3 \text{ mg/dm}^3$) oraz licznych stawów bez nazwy na terenach użytkowanych rolniczo w zlewni Raszynki (do $28,5 \text{ mg/dm}^3$).

Po wschodniej stronie Wisły anomalne stężenia potasu występują w wodach Kanału Wawerskiego (do $19,8 \text{ mg/dm}^3$), w wodach licznych dopływów Czarnej (do 44 mg/dm^3) oraz stawów w jej zlewni.

Maksymalne stężenie potasu ($58,3 \text{ mg/dm}^3$) i podwyższoną zawartość litu ($42,4 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$) stwierdzono w wodach stawu w Kobyłce, który jest dawną glinianką zasypywaną gruzem.

Największą przeciętną zawartością potasu (mediana $8,4 \text{ mg/dm}^3$) charakteryzują się wody zlewni kanałów Nowa Ulga i Nowe Ujście oraz zlewni Łasicy (mediana $8,3 \text{ mg/dm}^3$), a najmniejszą wody Wisły (mediana $4,2 \text{ mg/dm}^3$).

Koncentracja potasu w wodach powodowana jest lokalnymi zrzutami ścieków, a także spływem powierzchniowym. Na terenach rolniczych źródłem potasu są nawozy, na terenach miejskich – środki zimowego utrzymania dróg.

Li LIT

Wody: [tabl. 42](#), [tab. 7](#)

Zawartość litu w wodach analizowanego obszaru jest bardzo zróżnicowana; waha się od $<0,3$ do $122,7 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$. Wartość mediany ($4,7 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$) jest mniejsza niż w wodach Szczecina i okolic czy Poznania i okolic (mediana $6 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1998a, 2005).

Podwyższonymi stężeniami litu ($5,6\text{--}17,3 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$; mediana: $8,5 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$) wyróżniają się przede wszystkim wody Wisły. Jego źródłem, podobnie jak talu, są przypuszczalnie słone wody kopalniane z obszaru Górnego Śląska.

Wyraźnie anomalnymi zawartościami litu ($>13,7 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$) odznaczają się wody licznych zbiorników i rowów miejskiego obszaru lewobrzeżnej Warszawy, cechujące się zazwyczaj także wysoką przewodnością elektrolityczną właściwą, wskazującą na znaczną mineralizację.

Maksymalną zawartość litu ($122,7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w wodzie rowu wypływającego z rejonu huty ArcelorMittal.

Wysokimi stężeniami litu wyróżniają się wody rowu na Paluchu ($33,1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), stawu Morskie Oko ($31,3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i rowu opaskowego składowiska Radiowo ($16,9 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Do wzbogaconych w lit należą wody stawów w Łazienkach, Stawu Belwederskiego, stawu Promenada, Jeziorka Czerniakowskiego, fosy Fortu Czerniakowskiego, fosy fortu Piłsudskiego, Bernardyńskiej Wody, Kanału Sieleckiego, Kanału Czerniakowskiego, stawu Arkadia, stawu pod Królikarnią, rowu wzdłuż ul. Piaseczyńskiej, stawu w pobliżu ul. Dolnej, stawu w Parku Ujazdowskim, glinianek Szczęśliwickich i Fajansowych, glinianek Jelonki, fosy fortów Okęcie i Blizne, stawu Jeziorzec na Bemowie, a także Łachy Potockiej, Rudawki oraz lokalnie Kanału Bródnowskiego Górnego.

Poza obszarem Warszawy anomalne zawartości litu napotkano w wodach dopływu Strugi spod Bemowa, bogatych też w inne składniki (miedź, potas, magnez, molibden, sód, uran, cynk, chlor, fluor, wodorowęglany). Lokalnie bogate w lit są wody Kanału Ożarowskiego, Żbikówki i Raszynki oraz cieków w zlewni Czarnej. Wysokie stężenia litu zanotowano w wodach dwóch stawów w Kobyłce: $42,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i $42,4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (w których występuje także maksymalna zawartość potasu $58,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$).

Podwyższona zawartość litu w wodach badanych zbiorników może być związana ze spływem powierzchniowym i zrzutami ścieków.

Mg MAGNEZ

Gleby: tabl. 43–44, tab. 4–5

Rozkład zawartości magnezu w glebach przypomina rozkład zawartości żelaza, co wskazuje na współwystępowanie tych pierwiastków w minerałach ich skał macierzystych. Parametry statystyczne zawartości magnezu w obydwu badanych poziomach gleb są bardzo zbliżone, świadcząc o braku istotnego wzbogacenia gleb warstwy powierzchniowej w wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych. Mediana zawartości magnezu w glebach warstwy powierzchniowej (0,07%) nieznacznie przekracza wartość tła geochemicznego gleb Polski (0,04%; Pasieczna, 2003). Najmniejszymi zawartościami magnezu w granicach arkusza charakteryzują się gleby terenów leśnych (mediana 0,02%).

Zawartość magnezu w badanych glebach w większości ma związek z chemizmem skał macierzystych. Podwyższone zawartości ($>0,12\%$) obserwuje się na obszarach, gdzie w podłożu

występują skały bogate w minerały ilaste i węglany – gliny lodowcowe (w lewobrzeżnej części Warszawy), mady (na tarasach zalewowych Wisły), a także lessopodobne utwory eluwalne (w pasie od zachodnich granic Warszawy do Ożarowa).

W wierzchnich warstwach gleb Warszawy zauważalne są też anomalie magnezu, spowodowane opadem pyłów przemysłowych i energetycznych. Maksymalną zawartość tego pierwiastka (1,39%) napotkano w glebie na terenie huty ArcelorMittal. Gleby obfitujące w magnez występują w sąsiedztwie składowisk odpadów paleniskowych na Żeraniu (0,78%) i na Zawadach (0,48%) oraz w rejonie elektrociepłowni Siekierki (do 0,56%).

Rozpraszanie pyłów bogatych w magnez zaznacza się też w otoczeniu cegielni: 0,56% magnezu w glebie powierzchniowej w Markach oraz 1,23% magnezu na głębokości 0,8–1,0 m w miejscowości Nowe Słupno na północy arkusza. Wysokie zawartości magnezu występują także na terenie dawnej Fabryki Domów przy ul. Świderskiej (0,76%).

Na głębokości 0,8–1,0 m maksymalną zawartość magnezu (1,57%) stwierdzono w bezpośrednim sąsiedztwie kompostowni Radiowo i wysypiska, na które do 1991 r. przyjmowano odpady komunalne. Anomalia ta wskazuje na migrację tego pierwiastka w głąb profilu. Wzbogacenie w magnez (do 0,62%) gleb między Wieruchowem a Ożarowem jest prawdopodobnie związane z litologią skał macierzystych.

Osady: [tabl. 43](#), [tab. 6](#)

W osadach zawartość magnezu zmienia się w granicach od <0,01 do 1,12%, a najbogatsze w ten pierwiastek są osady Wisły (mediana 0,20%) i osady zlewni Wilanówki (mediana 0,17%). Osady Wisły są naturalnie wzbogacone w magnez wyplukiwany z gleb tarasów oraz dostarczany z południowej części zlewni, gdzie odsłaniają się na powierzchni wietrzejące skały węglanowe. Drenaż utworów podłoża wzbogaconego w magnez przyczynia się też do jego gromadzenia w osadach zbiorników położonych na tarasach zalewowych Wisły i w rejonie Ożarowa. Maksymalną zawartość magnezu (1,12%) stwierdzono w osadzie organicznym stawu w miejscowości Opacz. Znacznie wzbogacone w magnez są też osady rowu w Starych Babicach (1,06%), Kanału Bródnowskiego Dolnego w Kątach Węgierskich (0,89%), Rowu Miedzeszyńskiego (0,83%) oraz glinianki w Nowym Słupnie w pobliżu zlikwidowanej cegielni (0,68%).

Anomalne zawartości magnezu obserwowane w osadach kanałów Bródnowskiego Górnego (do 0,55%) i Henrykowskiego (do 0,71%) są prawdopodobnie spowodowane zrzutem ścieków przemysłowych.

Wody: tabl. 44, tab. 7

Zawartość magnezu w badanych wodach jest bardzo zróżnicowana. Podwyższone stężenia ($>18,2 \text{ mg/dm}^3$) obserwuje się zarówno w wodach na terenach rolniczych, jak i na obszarach miejskich. Przeciętna zawartość magnezu w wodach Warszawy i okolic (mediana $9,9 \text{ mg/dm}^3$) jest zbliżona jak w wodach Szczecina (mediana $11,2 \text{ mg/dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1998a) i znacznie niższa niż w wodach Poznania (mediana $17,54 \text{ mg/dm}^3$; Lis, Pasieczna, 2005). Najmniejszym średnim stężeniem magnezu charakteryzują się wody zlewni Świdra (mediana $7,9 \text{ mg/dm}^3$), a największym wody zlewni Łasicy (mediana $12,6 \text{ mg/dm}^3$).

Na terenach miejskich anomalne stężenia magnezu ($>21,6 \text{ mg/dm}^3$) zanotowano w wodach Łachy Potockiej, Rudawki w obrębie rezerwatu Las Bielański, a także w wodach cieków i zbiorników Mokotowa (Kanał Czerniakowski, Bernardyńska Woda, fosa fortu Piłsudskiego, stawy: pod Królikarnią, Arkadia i Promenada oraz Kanał Sielecki). Na terenie Ochoty i Włoch bogate w magnez są wody stawu Sadurka, glinianek Fajansowych i Szczęśliwickich oraz Żbikówki.

Poza Warszawą w magnez obfitują wody stawów na terenie Łomianek, wody Strugi i jej dopływów oraz cieków w zlewni Lipkowskiej Wody i Czarnej. Źródłem magnezu w wodach terenów użytkowanych rolniczo może być spływ powierzchniowy z pól, na których stosowano nawozy magnezowe lub wykonywano zabiegi wapnowania.

Maksymalne stężenie magnezu ($62,4 \text{ mg/dm}^3$) stwierdzono w wodach stawu na terenie leśnym w miejscowości Piotrkówek Duży (gmina Ożarów Maz.).

Wody rowu w lesie w pobliżu lotniska Chopina na Okęciu zawierają $60,8 \text{ mg/dm}^3$ magnezu, a także $340,7 \text{ mg/dm}^3$ wapnia. Są również bogate w potas ($27,2 \text{ mg/dm}^3$), lit ($33,1 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$), wodorowęglany (988 mg/dm^3), siarczany (293 mg/dm^3), krzemionkę ($27,3 \text{ mg/dm}^3$), stront ($1067 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$) i uran ($19,55 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$). Zanieczyszczenie spowodowane jest przypuszczalnie odciekami z nielegalnego wysypiska odpadów.

Ze względu na zawartość magnezu analizowane wody należą do I lub II klasy jakości (odpowiednio $\leq 50 \text{ mg/dm}^3$ i $>50 - \leq 100 \text{ mg/dm}^3$).

Mn MANGAN

Gleby: tabl. 45–46, tab. 4–5

Zakresy i rozkłady zawartości manganu w glebach warstwy powierzchniowej i głębszej są bardzo podobne. Najwięcej manganu zawierają gleby doliny Wisły oraz części lewobrzeżnej Warszawy wraz z jej południowo-zachodnimi peryferiami, a najmniej tego pierwiastka stwierdzono

w glebach piaszczystych i torfiastych terenów leśnych.

Zawartość manganu w glebach terenów miejskich jest uzależniona głównie od jego obecności w skale macierzystej (Czarnowska i in., 1983, 1992; Czarnowska, Walczak, 1988; Lis, Pasieczna, 1998b). Za naturalne należy uznać anomalie manganu (>500 mg/kg) w madach na tarasach zalewowych doliny Wisły. Na Siekierkach i na Zawadach w wierzchnich warstwach gleb zawartości manganu dochodzą do 1350 mg/kg, a w rejonie Powsinka w warstwie głębszej gleb – do 4920 mg/kg.

Naturalnie wzbogacone w mangan są w warstwie powierzchniowej gleby łąkowe, utworzone na torfach oraz namulach i piaskach humusowych w dolinie Długiej (do 2443 mg/kg) oraz w dawnym zakolu Wisły w Wawrze (do 1128 mg/kg). Gleby te są też bogate w żelazo i arsen.

Gleby wykształcone na utworach eluwialnych (piaskach, pyłach i mułkach lessopodobnych) pomiędzy Bemowem a Ożarowem Mazowieckim zawierają do 1050 mg/kg manganu w warstwach z obydwu głębokości.

Maksymalną zawartość manganu (5451 mg/kg) zarejestrowano w warstwie powierzchniowej gleby antropogenicznej w pobliżu składowiska odpadów huty ArcelorMittal. Źródłem manganu jest prawdopodobnie emisja pyłów huty.

Do antropogenicznych należy zaliczyć także niewielką lokalną anomalię w rejonie Karczewa nad Wisłą (1161 mg/kg manganu). Wskazują na to wyraźnie zwiększone zawartości także arsenu, kadmu, kobaltu, rtęci i niklu w tych glebach okresowo zalewanych przez Jagodziankę, do której zrzucają się ścieki z pobliskiej oczyszczalni.

W mangan obfitują gleby warstwy powierzchniowej w Dziekanowie Leśnym i Łomiankach (do 1501 mg/kg) przy trasie wylotowej na Gdańsk oraz w Ożarowie przy szosie poznańskiej (do 1018 mg/kg), co wiąże się prawdopodobnie z emisjami silników samochodowych zawierających trikarbonylek manganowy dodawany do benzyny jako środek przeciwstukowy (Kabata-Pendias, Szteke, 2012).

Na głębokości 0,8–1,0 m najwięcej manganu (5452 mg/kg) napotkano w glebach na Gocławiu przy Trasie Łazienkowskiej oraz w rejonie Rembielszczyzny po obu stronach Kanału Żerańskiego (3000–4920 mg/kg). Są to prawdopodobnie anomalie litogeniczne.

Gleby nasypowe na terenie kolejowym w okolicy dawnego FSO zawierają do 2013 mg/kg manganu i innych metali, być może ze źródeł antropogenicznych. Duża zawartość manganu (1524 mg/kg) w glebie z głębszego poziomu na terenie Parku Henrykowskiego na Tarchominie wydaje się

też mieć pochodzenie antropogeniczne.

Osady: [tabl. 45](#), [tab. 6](#)

Analizowane osady Warszawy charakteryzują się bardzo szerokim zakresem zawartości manganu od 4 do 20120 mg/kg. Przeciętna zawartość tego pierwiastka w analizowanych osadach (mediana 183 mg/kg) jest mniejsza niż w osadach rzek i strumieni Polski i w osadach okolic Poznania (mediany odpowiednio 274 i 203 mg/kg mg/kg; Lis, Pasieczna, 1995, 2005), ale większa niż we wcześniejszych badaniach osadów tego obszaru (mediana 159 mg/kg; Lis, 1992).

Najbogatsze w mangan są osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 642 mg/kg), najuboższe osady zlewni Długiej (mediana 83 mg/kg). Maksymalną zawartość manganu (20120 mg/kg) zanotowano w osadach rowu na terenie leśnym w Wiązownej, zawierających też dużo kobaltu (49 mg/kg).

Anomalnymi zawartościami manganu (>1422 mg/kg) wyróżniają się osady cieków na tarasach zalewowych doliny Wisły: Wilanówki (do 8581 mg/kg) i Rowu Powsinkowego (do 2407 mg/kg), drenujących podłoże wzbogacone w ten pierwiastek.

Obfite w mangan są też osady Rowu z Lewandowa (do 7029 mg/kg), kanałów Henrykowskiego (do 6510 mg/kg), Bródnowskiego Górnego i Dolnego (do 5043 mg/kg), dolnego odcinka kanału Nowa Ulga (do 2402 mg/kg) oraz Kanału Żerańskiego poniżej elektrociepłowni (do 2061 mg/kg). Anomalne zawartości manganu w tych osadach należy wiązać głównie ze zrzutem ścieków przemysłowych (także historycznym).

Wody: [tabl 46](#), [tab. 7](#)

Zakres zawartości manganu w wodach z różnych rejonów świata wynosi od 0,02 do 130 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, ale w rzekach zanieczyszczonych może przekraczać 1000 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Kabata-Pendias, Szteke, 2012). W analizowanych wodach stężenie manganu jest bardzo zróżnicowane, podobnie jak w osadach, i zmienia się od <1 do 12 495 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Dla zdecydowanej większości wód (75%) zawartość tego pierwiastka nie przekracza 278 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Zawartość przeciętna manganu (mediana 123 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest podobna jak w wodach aglomeracji Szczecina (mediana 120 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1998a).

Maksymalną zawartość manganu (12 495 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) zarejestrowano w wodach rowu biegnącego przez pola uprawne równoległe do Kanału Habdzińskiego na terenie miejscowości Habdzin (gmina Konstancin-Jeziorna). Największą przeciętną zawartością manganu odznaczają się wody zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 277 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), a najmniejszą wody Wisły (mediana 230 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Wysokomanganowe są wody Kanału Henrykowskiego (1498–5578 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), silnie zanieczyszczone innymi pierwiastkami, oraz rowu w miejscowości Klaudyn w gminie Izabelin (6488 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Anomalne stężenie manganu (4065 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w wodach rowu odwadniającego rejon huty ArcelorMittal (zawierających też do 47,37 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ molibdenu).

Wody rowu opaskowego składowiska w Radiowie zawierają 1280 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ manganu.

Anomalnymi stężeniami manganu charakteryzują się niewielkie dopływy Lipkowskiej Wody oraz licznych drobnych cieków i zbiorników w zlewni Czarnej, Świdra i Kanału Wawerskiego. Znaczne zawartości manganu obserwuje się również w wodach stawów na terenie Łomianek, Kanału Bródnowskiego, rowów zasilających Kanał Żerański, wodach Rowu z Lewandowa, Wilanówki, a lokalnie Wisły i jej starorzeczy.

Mo MOLIBDEN

Wody: [tabl. 47](#), [tab. 7](#)

Molibden w badanych wodach wykrywano w zakresie od $<0,05$ do 47,37 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; w 90% próbek jego stężenie nie przekracza 2,41 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Poza próbką o maksymalnej zawartości tego pierwiastka wszystkie pozostałe należą do I/II klasy jakości wód pod względem udziału molibdenu (≤ 40 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Podwyższone ($>2,41$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) i anomalne ($>3,50$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) zawartości molibdenu obserwuje się głównie w ciekach i zbiornikach terenów zurbanizowanych.

Maksymalne stężenie molibdenu zarejestrowano w wodach rowu odwadniającego teren huty ArcelorMittal. Wysokimi stężeniami molibdenu (a także ołowiu) charakteryzują się wody dwóch rowów zasilających Lipkowską Wodę, co prowadzi do zanieczyszczenia także jej wód (do 9,67 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). 7,62 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ molibdenu zawierają wody rowu w rejonie Wólki Węglowej, a do 5,21 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ wody Kanału Henrykowskiego.

Anomalnymi stężeniami molibdenu (3,52–20,68 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) wyróżniają się wody Kanału Bródnowskiego Górnego. Źródłem ich zanieczyszczenia są prawdopodobnie emisje ze spalania węgla w ciepłowni Kawęczyn oraz emisje Zakładów Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych przy ul. Gwarków. Wskazują na to zbliżone wartości stężeń molibdenu w wodach pobliskiego Kanału Kawęczyńskiego (4,19–5,07 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz stawu Kozia Górka (4,06 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), gdzie dodatkowym czynnikiem zanieczyszczeń mogą być ścieki z warsztatów naprawy taboru kolejowego Warszawa Grochów.

Wyraźnie anomalne zawartości molibdenu zarejestrowano w wodach kilku zbiorników na Bemowie: w stawie Glinianki Jelonek $16,43 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, w stawie Jeziorzec $8,66 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i w fosie fortu Blizne $6,30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Zanieczyszczone molibdenem są też wody strumienia Górznik, dopływu Czarnej ($6,63\text{--}8,16 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), cechujące się także dużym udziałem antymonu (do $7,88 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Wśród mniejszych cieków stwierdzono duże zawartości molibdenu w wodach rowu zasilającego Jeziorco Dziekanowskie w Łomiankach (do $6,09 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), w wodach cieków odwadniających Blizne Łaszczyńskiego i Wieruchów (do $4,91 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz w wodach Rudawki (do $4,74 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Podwyższonymi stężeniami molibdenu wyróżniają się także lokalnie wody dopływów Raszynki, rowu Jeziorki, Rowu Miedzeszyńskiego, Kanału Żerańskiego, Żbikówki, rowu i kanału Wolica oraz niektórych zbiorników (Stawów Kaczyc w Parku Skaryszewskim, Jeziorca Czerniakowskiego i fosy Fortu Czerniakowskiego).

Na SÓD

Wody: [tabl. 48](#), [tab. 7](#)

Zawartość sodu w wodach arkusza zmienia się od $0,8$ do $714,1 \text{ mg}/\text{dm}^3$, a jego rozkład jest zbliżony do rozkładu chloru. Mediana zawartości sodu ($30,1 \text{ mg}/\text{dm}^3$) jest dwukrotnie większa niż w wodach powierzchniowych Polski (mediana $14 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 1995) i zbliżona do odpowiedniej wartości dla wód aglomeracji Poznania (mediana $26,6 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 2005). Najmniejszą zawartością sodu charakteryzują się wody zlewni Świdra (mediana $13,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a największą zlewni Łasicy (mediana $39,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$).

W wodach Wisły zawartość sodu waha się w zakresie $8,9\text{--}123,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i jest nieco mniejsza niż w badaniach z 1992 r. ($40\text{--}156 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Dojlido, 1995). Źródłem sodu jest zarówno jego dopływ z wodami rzek Górnego Śląska, zanieczyszczanych zrzutami słonych wód kopalnianych (Pasieczna, red., 2010b), jak i spływy powierzchniowe chlorku sodu stosowanego w zimowym utrzymaniu dróg.

Anomalne stężenia sodu ($>111,7 \text{ mg}/\text{dm}^3$) występują głównie w wodach lewobrzeżnej Warszawy, a szczególnie w bezodpływowych zbiornikach terenów miejskich. Są związane ze zrzutem ścieków lub spływem powierzchniowym.

Silnie zanieczyszczone sodem są wody zbiorników sąsiadujących z Trasą AK. W stawie osiedlowym Jeziorzec (na Bemowie) zarejestrowano $618,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$ sodu, a w fosie fortu Blizne $395,7 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Wody obu zbiorników zawierają też znaczne ilości chloru, potasu, litu i molibdenu.

Zawartości sodu $>111,7 \text{ mg/dm}^3$ (oraz wysokie EC i duży udział innych składników) zanotowano też w zbiornikach: Bernardyńska Woda, fosa Fortu Czerniakowskiego i fortu Piłsudskiego, Jeziorko Czerniakowskie, glinianki Jelonek i Sznajdra, staw Kozioróżca, Kanał Czerniakowski i Łacha Potocka.

Dużymi zawartościami sodu odznaczają się wody cieków w zlewni Lipkowskiej Wody. W wodach rowu płynącego z rejonu Wólki Węglowej stwierdzono $281,5 \text{ mg/dm}^3$ sodu, a w strumieniu płynącym z Bemowa – $266,7 \text{ mg/dm}^3$.

W potoku w zlewni Strugi (w rejonie Lachtorzewa) stężenie sodu osiąga $190,7 \text{ mg/dm}^3$, a w wodach Kanału Henrykowskiego – $218,1 \text{ mg/dm}^3$.

Lokalnie zwiększone stężenia sodu zanotowano w wodach Regułki, strumieni zasilających Raszynkę i dolnego odcinka Czarnej Strugi.

Maksymalne stężenie sodu $714,2 \text{ mg/dm}^3$ (a także 1100 mg/dm^3 chloru) zarejestrowano w wodach stawu (rozlewiska) w miejscowości Pólko, przy drodze Warszawa–Wyszków.

NH₄ JON AMONOWY

Wody: [tabl. 49](#), [tab. 7](#)

Zawartość jonu amonowego zmienia się od $<0,05$ do $29,2 \text{ mg/dm}^3$. 56% zbadanych wód spełnia normy jakości dla wód klasy I ($\leq 0,78 \text{ mg/dm}^3$), a 35% dla wód klasy II ($>0,78$ – $\leq 1,56 \text{ mg/dm}^3$).

Maksymalną zawartość jonu amonowego zarejestrowano w wodach Kanału Henrykowskiego, poniżej miejsca okresowego zrzutu ścieków z Jabłonny.

Nieliczne anomalie mają charakter punktowy. Podwyższone stężenia jonu amonowego stwierdzono w wodach rowu w Pęcicach ($19,6 \text{ mg/dm}^3$), kanału Magenta poniżej oczyszczalni ścieków w Rembertowie ($13,6 \text{ mg/dm}^3$), rowu w Michałowku ($12,4 \text{ mg/dm}^3$) i rowu w Wołominie ($11,8 \text{ mg/dm}^3$). Zawartość $5,5 \text{ mg/dm}^3$ jonu amonowego w wodach Jagodzianki jest zapewne związana ze zrzutem ścieków z oczyszczalni w Otwocku.

Zwiększone zawartości jonu amonowego w ciekach w obrębie zlewni Czarnej i Utraty mogą pochodzić ze spływów nawozów azotowych z pól.

Na terenie Warszawy podwyższone stężenia jonu NH₄ zarejestrowano w wodach kanałów Kamionkowskiego ($5,26 \text{ mg/dm}^3$) i Gocławskiego ($2,15 \text{ mg/dm}^3$) oraz lokalnie w wodach rowu zasilającego Kanał Grabowski w Pyrach, w wodach kanałów Nowa Ulga i Nowe Ujście, Kanału Kawęczyńskiego, Kanału Żerańskiego, Rowu Miedzeszyńskiego, Rowu Natolińskiego, fosy przy

forcie Radiowo.

Podwyższone stężenia jonu NH_4 wskazują na świeże zanieczyszczenie wód ściekami bytowo-gospodarczymi lub przemysłowymi. W zbiornikach zamkniętych bądź o słabym przepływie obfitość jonu amonowego może wskazywać na rozkład nagromadzonej substancji organicznej w warunkach beztlenowych.

Ni NIKIEL

Gleby: tabl. 50–51, tab. 4–5

Rozkład zawartości niklu w badanych glebach przypomina rozkład stężeń żelaza, magnezu i manganu – pierwiastków, których obecność jest w znacznym stopniu uzależniona od chemizmu skał podłoża. W nikiel obfitują mady doliny Wisły oraz gleby rozwinięte na utworach bogatych w minerały ilaste – glinach lodowcowych i utworach eluwialnych lewobrzeżnej Warszawy.

Mediana zawartości niklu w wierzchnich warstwach gleb (5 mg/kg) jest nieco większa od tła geochemicznego gleb Polski (3 mg/kg; Pasieczna, 2003), mapy jego rozkładu w obu poziomach glebowych są bardzo podobne, a zawartości w warstwie powierzchniowej tylko nieznacznie większe niż w warstwie głębszej, co świadczy o niewielkim wpływie czynnika antropogenicznego w jego rozpraszaniu.

Najbogatsze w nikiel są mady tarasów zalewowych Wisły powyżej Siekierok. W warstwie powierzchniowej zawierają 37–38 mg/kg niklu, a w warstwie głębszej do 53 mg/kg. Wzbogacenie w ten pierwiastek można wiązać z osadzaniem drobnoziarnistego materiału z wyżej położonych obszarów zlewni w dawnych meandrach rzeki.

W glebach warstwy powierzchniowej występują lokalne anomalie antropogeniczne. Największa z nich (32–272 mg/kg niklu) znajduje się na terenie huty ArcelorMittal. Między Wisłostradą a doliną Wisły na Marymoncie zanotowano 152 mg/kg niklu, w sąsiedztwie nieczynnych już Zakładów PZL Wola 127 mg/kg, a obok ciepłowni Kawęczyn 55 mg/kg.

Trudna do wyjaśnienia jest punktowa anomalia niklu w glebie osiedlowego trawnika w Mysiadle (165 mg/kg).

Na głębokości 0,8–1,0 m maksymalną zawartość niklu (74 mg/kg, a także 112 mg/kg chromu) zanotowano na terenie przemysłowym pomiędzy elektrociepłownią Żerań a dawnym FSO.

Osady: [tabl. 50](#), [tab. 6](#)

Mediana zawartości niklu w osadach (7 mg/kg) jest prawie identyczna z wartością tła geochemicznego osadów rzek i strumieni Polski (6 mg/kg; Lis, Pasieczna, 1995) oraz wynikami wcześniejszych badań osadów Warszawy i okolic (mediana 6 mg/kg; Lis, 1992).

Rozkład zawartości niklu jest zbliżony do rozkładu zawartości żelaza i manganu w osadach, co może wskazywać na wiązanie jego części przez wodorotlenki tych metali.

Największą przeciętną zawartością niklu cechują się osady Kanału Żerańskiego (mediana 13 mg/kg), a najmniejszą – osady Długiej i Świdra (mediana 3 mg/kg). Maksymalna zawartość (146 mg/kg) została stwierdzona w osadach fosy fortu Radiowo na Bemowie.

Anomalnymi zawartościami niklu wyróżniają się osady cieków płynących po tarasach zalewowych doliny Wisły i drenujących podłoże wzbogacone w ten pierwiastek: Wilanówki (do 36 mg/kg), Rowu Powsinkowego (do 32 mg/kg), Jeziorki (do 38 mg/kg), kanału Nowa Ulga (do 48 mg/kg), a także innych niewielkich cieków i zbiorników bezodpływowych.

Ze współczesnym i historycznym zrzutem ścieków wiążą się zwiększone zawartości niklu w osadach kanałów Bródnowskiego Górnego (do 69 mg/kg) i Henrykowskiego (do 35 mg/kg) oraz Jagodzianki (do 71 mg/kg). Prawdopodobnie ze zrzutem ścieków wiąże się też zanieczyszczenie niektórych osadów Wisły (lokalnie zawierają do 20–30 mg/kg niklu).

Wody: [tabl. 51](#), [tab. 7](#)

Zawartość niklu w wodach na obszarze arkusza zmienia się od $<0,5$ do $41,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Wartość mediany ($1,7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest zbliżona do wartości tła geochemicznego niklu w wodach Europy ($1,91 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; De Vos, Tarvainen, red., 2006). Tylko w dwóch badanych próbkach zawartość tego pierwiastka przekracza maksymalne dopuszczalne stężenie ($34 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), określone w Dyrektywie 2013/39/UE.

75% badanych wód cechuje się stężeniem niklu $<2,3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a jego maksymalną zawartość zarejestrowano w wodzie rowu w Miedzeszynie, obfitującej także w mangan, żelazo, kobalt i miedź.

Podwyższonymi stężeniami niklu wyróżniają się wody Czarnej i jej dopływów – do $40,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w wodzie kanału z terenu przemysłowego w Wołominie, zanieczyszczonej także przez jony amonowe, lit, kobalt i chrom.

W wodach jeziora (starorzecza) Łacha w Józefowie stwierdzono od $7,5$ do $26,8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ niklu,

prawdopodobnie pochodzącego ze zrzutu ścieków. Stężenia 4,9–12,1 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ niklu w wodach Kanału Henrykowskiego oraz 5,7 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ w wodach niewielkiego rowu zasilającego kanał są przypuszczalnie spowodowane okresowym zrzucaniem ścieków z osiedla w Dąbrówce Szlacheckiej.

Po prawej stronie Wisły zanieczyszczenia niklem występują ponadto w wodach Rowu z Lewandowa (9,6–19,4 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), bogatych też w żelazo i kobalt, kanałów Bródnowskiego Górnego (11,0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) i Zagoździańskiego, Rowu Miedzeszyńskiego i kanału Nowe Ujście (do 8,0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

W lewostronnej części zlewni Wisły znacznymi zawartościami niklu charakteryzują się wody Strugi i jej dopływów, cieków w zlewni Lipkowskiej Wody, Żbikówki, a lokalnie także dopływy Raszynki i Utraty.

W wodach Kanału Młocińskiego zarejestrowano 20,1 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ niklu, a w wodach rowu na terenie Łomianek Dolnych (zawierającej także 474 mg/dm^3 siarczanów) – 19,1 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Źródłem niklu w wielu badanych wodach są przede wszystkim zrzuty ścieków przemysłowych (Kabata-Pendias, Szteke, 2012).

NO₂ AZOTANY (III)

Wody: [tabl. 52](#), [tab. 7](#)

Zawartość jonów NO₂ w badanych wodach arkusza zmienia się w granicach od <0,01 do 11,10 mg/dm^3 . Przeciętne stężenie tego składnika (mediana 0,07 mg/dm^3) jest zbliżone do zawartości w wodach aglomeracji poznańskiej (mediana 0,05 mg/dm^3 ; Lis, Pasieczna, 2005).

Podwyższone i anomalne zawartości jonów NO₂ występują przeważnie na terenach użytkowanych rolniczo: w wodach Utraty, Raszynki, rowu Jeziorki i ich dopływów oraz Strugi i Czarnej (wraz dopływami). Związane są głównie ze spływem powierzchniowym i lokalnymi zrzutami ścieków bytowo-gospodarczych.

Maksymalną zawartość jonów NO₂ (11,10 mg/dm^3) zarejestrowano w miejscowości Dawidy w wodach ciek zasilającego Raszynkę, do którego zrzucane są ścieki z oczyszczalni w Zamieniu.

Na terenach miejskich podwyższone zawartości jonów NO₂ występują w wodach, do których zrzucane są ścieki komunalne i przemysłowe. Takie jest przypuszczalnie źródło stężeń 0,94–2,04 mg/dm^3 jonów NO₂ w wodach kanału Magenta, przyjmującego ścieki z oczyszczalni w Rembertowie. Wody kanału zawierają też znaczne ilości glinu (do 647 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), kobaltu (do 2,6 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), azotanów (V) (do 40,50 mg/dm^3), fosforu (do 3,62 mg/dm^3), wanadu (do 2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) i jonu

amonowego (13,60 mg/dm³).

Anomalne zawartości jonów NO₂ (do 1,29 mg/dm³) są obecne w wodach Kanału Bródnowskiego Górnego, do którego spływają odcieki deszczowe z Trasy AK i z pobliskich ogródków działkowych.

Zanieczyszczenia jonami NO₂ zaobserwowane w wodach Jeziora Gołławskiego i Kanału Wystawowego (do 1,01 mg/dm³) można wiązać ze spływem powierzchniowym z ogródków działkowych, a w wodach Żbikówki (do 0,95 mg/dm³) – z odciekami z autostrady.

Podwyższonymi zawartościami jonów NO₂ cechują się też wody Kanału Żerańskiego oraz Długiej poniżej Ossowa.

NO₃ AZOTANY (V)

Wody: [tabl. 53](#), [tab. 7](#)

W analizowanych wodach zanotowano stężenie jonów NO₃ w zakresie 0,01–89,50 mg/dm³ i ich rozkład zbliżony do zawartości jonów NO₂. Przeciętna zawartość jonów NO₃ (mediana 2,24 mg/dm³) jest mniejsza niż w wodach Poznania i okolic (mediana 3,21 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005) oraz w wodach Europy (mediana 2,82 mg/dm³; De Vos, Tarvainen, red., 2006). Połowa badanych próbek spełnia wymogi jakości dla wód I klasy ($\leq 2,2$ mg/dm³ NO₃), a ok. 17% to wody II klasy ($> 2,2 - \leq 5$ mg/dm³ NO₃).

Wyraźnie anomalnymi stężeniami jonów NO₃ charakteryzują się wody terenów użytkowanych rolniczo w zlewniach: Łasicy (Struga wraz z dopływami), Utraty (Żbikówka, Kanał Ożarowski, Raszynka wraz z dopływami) i Jeziorki (rów Jeziorki).

Najwięcej jonów NO₃ zarejestrowano w wodach cieków gminy Lesznowola, w rejonie Dawidów, Nowych Jeziorek i Nowej Woli (maksymalnie do 89,5 mg/dm³ w dopływie Raszynki). Do 56 mg/dm³ dochodzi zawartość jonów NO₃ w wodach rowu Jeziorki, do 45,3 mg/dm³ w wodach Strugi, do 40 mg/dm³ w wodach Żbikówki i 29,8 mg/dm³ w wodach Kanału Ożarowskiego w rejonie Centrum Bronisze.

W otoczeniu Falent zawartość jonów NO₃ w wodach niewielkich cieków dochodzi do 42,5 mg/dm³.

W prawostronnej części zlewni Wisły anomalne zawartości jonów NO₃ występują punktowo. W cieku zasilającym Długą na terenie Sulejówka zanotowano 60,7 mg/dm³ jonów NO₃, a ich znacznymi zawartościami odznaczają się też wody kanałów: Wawerskiego, Nowe Ujście, Nowa

Ulga i Magenta.

P FOSFOR

Gleby: tabl. 54–55, tab. 4–5

Tło geochemiczne fosforu w analizowanych glebach warstwy powierzchniowej mieści się w granicach od 0,003 do 0,106%. Zawartość przeciętna tego pierwiastka (mediana 0,036%) jest zbliżona do jego średniego udziału w glebach Polski (mediana 0,034%; Lis, Pasieczna, 1995) i aglomeracji Poznania (mediana 0,039%; Lis, Pasieczna, 2005). Porównanie median zawartości fosforu w obu badanych poziomach glebowych wskazuje na jego prawie dwukrotnie większe zawartości w warstwie powierzchniowej.

Najmniej fosforu zawierają gleby leśne (mediana 0,017%), więcej – gleby pól uprawnych (mediana 0,046%), a najwięcej gleby terenów miejskich (mediana 0,053%).

Na zawartość fosforu w glebach w sposób bardzo istotny wpływa ich geneza. Jego rozmieszczenie przestrzenne w glebach z obydwu analizowanych zakresów głębokości jest wyraźnie zależne od składu chemicznego skał macierzystych. Najwięcej fosforu zawierają gleby rozwinięte z glin lodowcowych w zachodniej części Warszawy, z utworów lessopodobnych rejonu Ożarowa oraz mady doliny Wisły, a najmniejszą jego ilością charakteryzują się gleby utworzone na osadach piaszczystych. Potwierdzają tę obserwację wartości median: 0,052% w glebach gliniastych, 0,050% w glebach torfiastych i 0,026% w glebach piaszczystych.

Maksymalną zawartość fosforu (0,500%) stwierdzono w powierzchniowej warstwie gleby torfiastej w Rembertowie w pobliżu terenów kolejowych i zakładu utylizacji odpadów komunalnych, a 0,492% – w glebie podmokłego rejonu na Białołęce.

Anomalie fosforu w glebach typu torfiastego (bogaty też w arsen, żelazo i mangan), występują w dolinach Długiej (do 0,429%) i Utraty (do 0,264%). Źródłem fosforu był prawdopodobnie spływ powierzchniowy z pól, na których stosowano nawozy fosforowe.

Antropogeniczna anomalia fosforu występuje w dolinie Jeziorki w Konstancinie, w rejonie zrzutu do rzeki ścieków z dawnych zakładów papierniczych (0,344% w poziomie powierzchniowym i 0,127% w warstwie głębszej).

Maksymalną zawartość fosforu w glebach z głębokości 0,8–1,0 m (0,880%) stwierdzono w Parku Henrykowskim na Tarchominie, gdzie występuje też maksymalna zawartość żelaza (20,76%) oraz 39 mg/kg arsenu, 1524 mg/kg manganu i 0,429% siarki.

Osady: [tabl. 54](#), [tab. 6](#)

Przeciętna zawartość fosforu w badanych osadach (wartość mediany) wynosi 0,045%, a jego największy udział zanotowano w osadach o charakterze szlamu organicznego. Największą przeciętną zawartością fosforu cechują się osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 0,180%), a najmniejszą osady zlewni Świdra (mediana 0,028%).

Wyraźnie podwyższone zawartości fosforu (>0,301%) występują w osadach cieków i zbiorników wodnych na tarasach zalewowych Wisły w rejonie Konstancin-Jeziorna–Zawady, pokrytych glebami bogatymi w ten pierwiastek. Osady Wilanówki (zawierające do 1,133% fosforu) mogły być dodatkowo wzbogacone przez spływ powierzchniowy z okolicznych pól oraz ścieki z nieistniejących już zakładów papierniczych i oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych w Konstancinie-Jeziornie.

Osady o dużych zawartościach fosforu (do 1,164%) występują też przy granicy Warszawy w rejonie Targówka, szczególnie w ciekach przepływających przez łąki z wystąpieniami rud darniowych. Anomalne zawartości fosforu w osadach kanałów Bródnowskiego Górnego (do 0,627%) i Henrykowskiego (do 0,601%) są dodatkowo spowodowane zrzutem ścieków komunalnych i przemysłowych.

Podwyższone zawartości fosforu (0,601%) zanotowano też w osadach Rudawki na terenie rezerwatu Las Bielański.

Zrzuty ścieków z oczyszczalni w Otwocku są przyczyną akumulacji fosforu w osadach Jagodzianki (do 0,491%) i Utraty (do 0,564%).

Wody: [tabl. 55](#), [tab. 7](#)

Zawartość fosforu w wodach arkusza jest zróżnicowana (<0,05–13,82 mg/dm³), choć w połowie badanych próbek nie przekracza 0,07 mg/dm³. 80% wód spełnia normy dla I klasy jakości wód (≤0,2 mg/dm³), a 10% dla klasy II (>0,2–≤0,4 mg/dm³). Mediana stężenia fosforu (0,07 mg/dm³) jest mniejsza niż w wodach aglomeracji poznańskiej (mediana 0,10 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005) i w wodach Polski (mediana 0,16 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1995). Najmniejszą zawartością fosforu charakteryzują się wody Wisły i zlewni Kanału Żerańskiego (mediana <0,05 mg/dm³), a największą wody zlewni Jeziorki (mediana 0,15 mg/dm³) i Utraty (mediana 0,13 mg/dm³).

Anomalne zawartości fosforu (>0,67 mg/dm³) występują przede wszystkim w wodach terenów użytkowanych rolniczo – w zlewniach Raszynki, Mieni, Czarnej i Długiej. Jego źródłem jest tu prawdopodobnie spływ powierzchniowy nadmiaru nawozów fosforowych z pól.

Największe stężenia fosforu są jednak spowodowane przede wszystkim zrzutem różnego rodzaju ścieków. Maksymalną zawartość fosforu ($13,82 \text{ mg/dm}^3$) zarejestrowano w miejscowości Zagoście (gmina Wołomin) w wodzie rowu, do którego są spuszczone ścieki komunalne.

W ciekach odbierających ścieki bytowo-komunalne z lokalnych oczyszczalni zawartości fosforu są największe: $4,17 \text{ mg/dm}^3$ w wodach rowu w miejscowości Janina (gmina Wołomin), $3,62 \text{ mg/dm}^3$ w wodach kanału Magenta w Rembertowie, $1,40 \text{ mg/dm}^3$ w wodach Kanału Wawerskiego w Starej Miłosnej, $1,23 \text{ mg/dm}^3$ w wodach kanału zbierającego ścieki z Trasy Toruńskiej i $0,76 \text{ mg/dm}^3$ w wodach Kanału Ożarowskiego.

Podwyższonymi zawartościami fosforu wyróżniają się wody stawów i jezior odbierających lokalne ścieki: $2,06 \text{ mg/dm}^3$ w stawie w Dobczynie (gmina Klembów), $1,93 \text{ mg/dm}^3$ w stawie Łuzek (Dawidy), $1,62 \text{ mg/dm}^3$ na bagnach Śmiardki w Wesołej, $1,39 \text{ mg/dm}^3$ w Jeziorze Imielińskim, $0,90 \text{ mg/dm}^3$ w jeziorze Torfowisko w Powsinie i $0,83 \text{ mg/dm}^3$ w fosie Fortu Czerniakowskiego.

W wodach stawu utworzonego w miejscu po wybranym torfie w miejscowości Duchów w gminie Wiązowna zawartość fosforu dochodzi do $6,56 \text{ mg/dm}^3$.

Pb OŁÓW

Gleby: tabl. 56–57, tab. 4–5

W glebach z obydwu głębokości zakres zawartości ołowiu jest podobny (od <2 do 2784 mg/kg), ale na wyraźne zanieczyszczenie antropogeniczne wskazuje prawie czterokrotnie większa wartość mediany w warstwie powierzchniowej w porównaniu z warstwą głębszą (odpowiednio 15 i 4 mg/kg) oraz z wartością tła geochemicznego w obszarach niezabudowanych Polski – 10 mg/kg (Pasieczna, 2003).

Zanieczyszczenie gleb przez ołów występuje na obszarze całej Warszawy, ale przede wszystkim na obszarach zurbanizowanych, położonych wzdłuż głównych tras drogowych i kolejowych.

Najsilniejsze anomalie ołowiu ($>100 \text{ mg/kg}$) grupują się na terenach, gdzie od połowy XIX w. lokowany był przemysł (Śródmieście, Wola oraz pogranicze Targówka, Pragi Północ i Pragi Południe) oraz w rejonie huty ArcelorMittal.

Największą zawartość ołowiu (2784 mg/kg) stwierdzono na terenach poprzemysłowych w glebie antropogenicznej na Kamionku. Potencjalnymi źródłami zanieczyszczeń ołowiem gleb w tym rejonie mogły być już nieistniejące zakłady wyrobów ołowianych i cynowych, działające w okresie przedwojennym (Krasucki, 2009), zakłady urządzeń telefonicznych oraz drukarnia, zbudowana w

miejscu przedwojennej fabryki samochodów (Portal informacyjny..., 2015b).

Emisje pyłów z huty żelaza ArcelorMittal spowodowały silne zanieczyszczenie gleb w jej okolicy: na terenie klubu sportowego „Hutnik” na Bielanych zanotowano 1196 mg/kg ołowiu w warstwie powierzchniowej i 2574 mg/kg w warstwie głębszej. W sąsiedztwie składowiska odpadów huty w wierzchnich warstwach gleb zawartość ołowiu dochodzi do 316 mg/kg, a w nieco dalszej odległości wynosi 140–200 mg/kg.

Silnie zanieczyszczone ołowiem są gleby w rejonie mostu średnicowego przy Wybrzeżu Szczecińskim (675 mg/kg), w Śródmieściu (do 370 mg/kg), a także na terenach parków Skaryszewskiego (332 mg/kg) i Wilanowskiego (325 mg/kg).

Niewielka obszarowo anomalia ołowiu (do 229 mg/kg) na skraju dawnego Służewca Przemysłowego występuje w glebach zanieczyszczonych też przez bar i kadm. Zanieczyszczenie metalami jest przypuszczalnie związane z działalnością licznych zakładów elektronicznych, zlokalizowanych tu w przeszłości.

Wysokie zawartości ołowiu zanotowano także w glebach pól uprawnych we Włochach na osiedlu Salomea (513 mg/kg).

Poza obszarem Warszawy anomalne zawartości ołowiu występują w Jabłonie (334 mg/kg), między Ożarowem a Bemowem (do 319 mg/kg) oraz w Piastowie (do 256 mg/kg). Zanieczyszczenia są prawdopodobnie spowodowane bliskością ruchliwych tras komunikacyjnych (emisjami z okresu, gdy do benzyny dodawano przeciwstukowe związki ołowiu) i rozpraszaniem pyłów z zakładów zlokalizowanych obecnie i w przeszłości w Ożarowie Mazowieckim (dawna fabryka kabli), Piastowie (zakłady akumulatorowe) i Pruszkowie (elektrociepłownia i dawna fabryka obrabiarek).

W glebach z głębokości 0,8–1,0 m zasięg anomalii jest podobny jak w warstwie powierzchniowej, a najsilniej zaznaczają się one w centrum Warszawy i w okolicy huty na Bielanych, co wskazuje na ich pochodzenie antropogeniczne. Na peryferiach miasta i w jego otoczeniu zawartość ołowiu nie przekracza 10 mg/kg.

Osady: [tabl. 56](#), [tab. 6](#)

W osadach Warszawy i okolic zawartość ołowiu waha się od <2 do 382 mg/kg. Największą jego zawartością charakteryzują się osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 29 mg/kg), a najmniejszą zlewni Świdra (mediana 6 mg/kg).

Maksymalną zawartość ołowiu (382 mg/kg) zanotowano w osadzie Żbikówki, w miejscu spływu ścieków z autostrady w Konotopie.

Na południu arkusza anomalne zawartości ołowiu występują w osadach Jeziorki poniżej Konstancina (do 300 mg/kg) i w osadach Wilanówki (do 122 mg/kg). Mimo rozdzielania tych rzek w latach 50. XX w. miały one stałe połączenia poprzez rowy i kanały, a źródłem metalu były prawdopodobnie ścieki z oczyszczalni zakładów papierniczych.

Dużą ilością ołowiu charakteryzują się osady kanałów Henrykowskiego (do 263 mg/kg) i Bródnowskiego Górnego (do 166 mg/kg), zanieczyszczane ściekami przemysłowymi.

Podwyższone zawartości ołowiu obserwuje się także w osadach Kanału Młocińskiego (do 164 mg/kg) oraz dopływów Lipkowskiej Wody, płynących z rejonu Wólki Węglowej (do 102 mg/kg) i z okolic huty ArcelorMittal (97 mg/kg).

Do silnie zanieczyszczonych w ołów należą też osady zbiorników zamkniętych: stawu w miejscowości Duczki (381 mg/kg), stawu w Markach (214 mg/kg), fosy przy forcie Radiowo (192 mg/kg), stawu Glinianki Fajansowe (185 mg/kg) we Włochach oraz stawu w Pruszkowie (160 mg/kg), zlokalizowanego między Alejami Jerozolimskimi a linią kolejki WKD.

Zanieczyszczenie osadów ołowiem jest związane przede wszystkim ze zrzutem ścieków przemysłowych oraz ze spływem powierzchniowym. Osady wód niezanieczyszczonych najczęściej zawierają ołów w zakresie 30–45 mg/kg, ale osady wód zanieczyszczonych mogą zawierać do kilku tysięcy mg/kg ołowiu (Pasiczna, red., 2010b; Kabata-Pendias, Szteke, 2012).

Wody: [tabl. 57](#), [tab. 7](#)

Zakres zawartości ołowiu w badanych wodach ($<0,05$ – $7,32 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) jest podobny jak w wodach Europy ($<0,005$ – $6,37 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; De Vos, Tarvainen, red., 2006), a odpowiednie wartości median wynoszą $0,06 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i $0,093 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Analizowane wody nie są zanieczyszczone ołowiem. W żadnej z pobranych próbek nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego stężenia ołowiu w wodach śródlądowych, określonego w Dyrektywie 2013/39/UE – $14 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ani jego dopuszczalnej zawartości w wodzie pitnej w Polsce – $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Rozporządzenie, 2010).

Wyraźnie podwyższonymi stężeniami ołowiu wyróżniają się wody zbiorników zamkniętych. Maksymalną jego zawartość ($7,32 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w wodach stawu położonego wśród nieużytków w Babicach Nowych.

Anomalne zawartości tego metalu ($4,55 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) zarejestrowano w fosie fortu Radiowo na

Bemowie, w sąsiedztwie ogródków działkowych, gdzie wody obfitują również w miedź.

Zanieczyszczone ołowiem są wody stawu/rozlewiska na terenie leśnym w Zagórzcu gmina Wiązowna ($3,08 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), wody jeziora Bagno Jacka ($3,02 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i bagna Biały Ług ($2,09 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w Wesołej, wody stawu Kądziołeczka ($2,62 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) na Ursynowie, fosy fortu Bema ($1,50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz stawu w Lesie Młocińskim ($1,39 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

W wodach dwóch stawów w rejonie miejscowości Zabraniec stwierdzono $0,90 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i $0,86 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ołowiu.

Podwyższone stężenia ołowiu ($>0,61 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) występują lokalnie w wodach rzeki Czarnej i jej dopływów. W kwaśnych wodach (pH 4,62) rowu odwadniającego Horowe Bagno (jezioro torfowe) na terenie leśnym w Markach zarejestrowano zawartość $5,13 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ołowiu, a w wodach rowu w Radzyminie (zanieczyszczonych też przez glin, żelazo i kobalt) – $3,51 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Zanieczyszczenia wód ołowiem występują ponadto w wodach drobnych cieków zasilających Mienię i Świder (do $2,35 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz Utratę (do $1,07 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), w wodach Rowu Miedzeszyńskiego (do $0,65 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz Strugi Pogorzelskiej (do $0,92 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), charakteryzujących się także podwyższonymi stężeniami glinu, kadmu, miedzi, wanadu i cynku.

Zawartość ołowiu $1,29 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ zanotowano w wodzie rowu płynącego z rejonu huty ArcelorMittal.

Podwyższonymi stężeniami ołowiu charakteryzują się też wody Wisły poniżej ujścia Kanału Młocińskiego.

Największymi zawartościami ołowiu cechują się wody zlewni Łasicy (mediana $0,12 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i Wisły (mediana $0,10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a najmniejszymi – zlewni Utraty, Świdra i Kanału Żerańskiego (mediana $<0,05 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

S SIARKA

Gleby: tabl. 58–59, tab. 4–5

Zawartość siarki w glebach warstwy powierzchniowej waha się w zakresie od $<0,003$ do $0,565\%$, a w glebach z głębokości $0,8$ – $1,0$ m od $<0,003$ do $0,616\%$. Porównanie wartości median wskazuje na czterokrotnie większą zawartość przeciętną siarki w glebach warstwy powierzchniowej w porównaniu do warstwy głębszej (odpowiednio $0,016\%$ i $0,004\%$). Najmniej siarki (w obu zakresach głębokości) zawierają gleby piaszczyste, a najwięcej gleby torfiaste. Wartość mediany zawartości siarki w wierzchnich warstwach gleb arkusza jest większa od tła geochemicznego gleb

Polski (0,009%; Pasieczna, 2003).

Porównanie map rozkładu zawartości siarki w warstwie powierzchniowej gleb i warstwie głębszej wskazuje, że pochodzi ona głównie ze źródeł antropogenicznych – najwięcej siarki zawierają gleby obszarów zurbanizowanych i przemysłowych. Siarka rozpraszana jest w postaci emisji dwutlenku siarki podczas spalania paliw kopalnych, głównie węgla, który może zawierać nawet do 5% tego pierwiastka (Bojakowska, 1994; Szuflicki i in., red., 2014).

Za naturalne można uznać wzbogacenie w siarkę gleb aluwialnych doliny Wisły. Główne anomalie siarki na badanym obszarze są związane z miejscami występowania gleb utworzonych na torfach i namulach, bogatych w materię organiczną.

Największą zawartością siarki (0,566%) cechują się gleby torfiaste z obu badanych warstw w dolinie Raszynki, wyróżniające się także wysokim udziałem strontu (do 203 mg/kg). Duże ilości siarki stwierdzono również w powierzchniowej warstwie gleb torfiastych na terenach łąkowych w Białoleścu (do 0,255%), w dolinie Długiej (do 0,149%) i na wschód od Wołomina (do 0,093%).

W glebach podmokłych terenów leśnych dużą zawartość siarki zanotowano na Bemowie (do 0,222%), w Góraszce (do 0,162%) i w Wesołej (do 0,159%).

Obecność 0,224% siarki w warstwie powierzchniowej i 0,247% w warstwie głębszej na terenie nieczynnej od 2004 r. cementowni na Tarchominie wiąże się prawdopodobnie z jej rozpraszaniem podczas niedawnej działalności tego zakładu. Zawartość 0,073% siarki w glebach warstwy powierzchniowej obok zakładów Polfa Tarchomin również może wiązać się z ich produkcją.

Powierzchniowe anomalie siarki spowodowane antropopresją występują między Pruszkowem a Piastowem (do 0,177%) oraz w Konstancinie-Jeziornej, na terenie nieistniejących już zakładów papierniczych (0,075%)

W glebach z głębokości 0,8–1,0 m największą zawartość siarki (0,616%) stwierdzono w rejonie elektrociepłowni Siekierki.

Wysoką jej zawartość zanotowano także w glebie antropogenicznej na terenie Parku Henrykowskiego (0,429 %), gdzie stwierdzono także podwyższone zawartości arsenu (39 mg/kg), manganu (1524 mg/kg) oraz maksymalne na arkuszu zawartości żelaza (20,76%) i fosforu (0,880%).

Osady: [tabl. 58](#), [tab. 6](#)

Zawartość siarki w badanych osadach jest bardzo zróżnicowana (od <0,003 do 5,031%), choć w

75% osadów jej ilość nie przekracza 0,163%. Mediana zawartości siarki w osadach Warszawy i okolic (0,066%) jest wyraźnie mniejsza niż w aglomeracji Poznania (mediana 0,096%; Lis, Pasieczna, 2005) i większa niż w aglomeracji Szczecina (mediana 0,040%; Lis, Pasieczna, 1998a).

W północnej części obszaru arkusza najwięcej siarki zawierają osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 0,184%). Maksymalną jej ilość (5,031%) stwierdzono w osadzie tego kanału na Białolece, a w osadach zasilającego go Kanału Bródnowskiego – do 2,583%. Zanieczyszczenie siarką osadów tego rejonu jest najprawdopodobniej spowodowane zrzutem ścieków z zakładów przemysłowych Targówka, a także spływem powierzchniowym z ruchliwej Trasy AK. Kumulacja siarki (do 1,904%) w osadach zlewni Kanału Markowskiego (przy północno-wschodniej granicy Warszawy) ma przypuszczalnie charakter naturalny – wiąże się z drenażem podmokłego terenu, gdzie gleby zawierają dużo tego pierwiastka.

Ścieki komunalne są przyczyną dużej ilości siarki w osadach rowu w miejscowości Zagościniec na północny wschód od Wołomina (2,822%) oraz w osadach Jagodzianki (2,794%) i Kanału Henrykowskiego (1,456%) poniżej miejsc zrzutu.

Kumulacja siarki, charakterystyczna dla osadów cieków i zbiorników wodnych tarasu zalewowego Wisły w południowej części arkusza, jest związana z drenażem podłoża wzbogaconego w ten pierwiastek (mad rzecznych). Największe zawartości siarki stwierdzono tu w osadzie organicznym rowu zasilającego Kanał Habdziński w miejscowości Opacz (3,251%), w osadach Wilanówki (2,283%) i Rowu Powsinkowego (1,560%).

Anomalne zawartości siarki w osadach Raszynki (do 1,261%) mają również naturę litologiczną.

Dużą zawartością siarki charakteryzują się osady niektórych zbiorników zamkniętych: stawów Kellera (1,493%) i Łachy Potockiej (0,810%) w pobliżu Trasy AK, jeziora Łosice w Natolinie (1,426%), jeziora Łacha w Józefowie (1,340%) i fosy fortu Piłsudskiego na Mokotowie (1,327%).

Przypuszczalnie naturalne są podwyższone zawartości siarki, występujące lokalnie w ciekach i zbiornikach na terenie Kampinosu. Większość tych osadów to szlamy organiczne.

Wody: [tabl. 59](#), [tab. 7](#)

Zawartość siarczanów w wodach powierzchniowych Warszawy waha się od <0,5 do 650,0 mg/dm³. Mediana zawartości tego składnika (47,5 mg/dm³) jest znacznie mniejsza niż w wodach aglomeracji Szczecina (mediana 92 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1998a) i Poznania (mediana 116 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005), za to zbliżona do mediany zawartości w wodach Polski – 56 mg/dm³ (Lis, Pasieczna, 1995). W wodach powierzchniowych Europy zawartość siarczanów

zmienia się od $<0,3$ do 1400 mg/dm^3 (mediana 16 mg/dm^3 ; De Vos, Tarvainen, red., 2006).

94,4% zbadanych wód z terenu aglomeracji warszawskiej spełnia normy dla I klasy jakości wód, 4,3% dla II klasy pod względem zawartości siarczanów, a dla 16 próbek wód normy te są przekroczone.

Rozkład zawartości siarczanów w wodach powierzchniowych obszaru arkusza jest zbliżony do rozkładu zawartości wapnia. Podwyższone zawartości siarczanów ($>111,0 \text{ mg/dm}^3$) obserwuje się głównie w wodach cieków lewobrzeżnej części Warszawy, a najmniej zanieczyszczone są wody Wisły.

Maksymalną zawartość siarczanów ($650,0 \text{ mg/dm}^3$) zarejestrowano w wodach stawu w zlewni Wilanówki na terenie miejscowości Łęg. W lewobrzeżnej części Warszawy wyraźnie anomalne stężenia siarczanów obserwuje się też w wodach: Strugi (do $246,0 \text{ mg/dm}^3$) i jej dopływu z Bemowa (do $205,0 \text{ mg/dm}^3$), Rudawki (do $235,0 \text{ mg/dm}^3$), Łachy Potockiej (do $215,0 \text{ mg/dm}^3$) i Raszynki (do $223,0 \text{ mg/dm}^3$).

Na terenie Łomianek w wodach rowu pod ul. Wiślaną zawartość siarczanów dochodzi do $474,0 \text{ mg/dm}^3$, a w wodzie jednego ze stawów wynosi $222,0 \text{ mg/dm}^3$.

Znaczne stężenia siarczanów stwierdzono w wodach Żbikówki ($185,0 \text{ mg/dm}^3$), Kanału Ożarowskiego ($183,0 \text{ mg/dm}^3$) i Rowu Opaczewskiego ($165,0 \text{ mg/dm}^3$).

Zanieczyszczone siarczanami są także wody glinianek Jelonek, stawów Kellera, Jeziora Powsinkowskiego, rowu na Paluchu w pobliżu lotniska Chopina oraz zbiorników i cieków Mokotowa (do $214,0 \text{ mg/dm}^3$ w wodach stawu w pobliżu ul. Dolnej).

W prawobrzeżnej części zlewni Wisły anomalnymi stężeniami siarczanów cechują się wody zbiorników w zlewni Czarnej (do $438,0 \text{ mg/dm}^3$ w dawnej gliniance na terenie Kobyłki), Kanału Henrykowskiego (do $278,0 \text{ mg/dm}^3$), Rowu z Lewandowa (do $170,0 \text{ mg/dm}^3$), a lokalnie Kanału Zagoździańskiego (do $236,0 \text{ mg/dm}^3$).

Zanieczyszczenie wód siarczanami jest spowodowane dopływem różnego rodzaju ścieków, spływem powierzchniowym, a także opadem pyłów z elektrociepłowni i zakładów przemysłowych.

Sb ANTYMON

Wody: [tabl. 60](#), [tab. 7](#)

Zawartość antymonu w analizowanych wodach jest bardzo zróżnicowana: waha się od $<0,05$ do $9,07 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$, a mediana jego zawartości ($0,34 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$) znacznie przewyższa przeciętną dla wód

Europy (mediana $0,07 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; De Vos, Tarvainen, red., 2006).

Zawartość antymonu w wodach rzecznych jest zwykle $<1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a na terenach zakładów przetwórstwa metali, spalania węgla i odpadów komunalnych może dochodzić do kilku $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ tego pierwiastka (Niedzielski i in., 2015).

Najmniejszą zawartością antymonu cechują się wody zlewni Świdra (mediana $0,24 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a największą zlewni Łasicy (mediana $0,57 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Nieznaczne jest zanieczyszczenie wód Wisły ($0,12\text{--}0,35 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Bardzo wysokimi stężeniami antymonu ($2,08\text{--}4,05 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) charakteryzują się wody rowu w Łomiankach Fabrycznych, w pobliżu oczyszczalni ścieków, a lokalne anomalie zanotowano w wodach Kanału Młocińskiego ($1,63 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), zlewni Lipkowskiej Wody (do $1,26 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i Potoku Służewieckiego (do $1,84 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

W wodach Kanału Bródnowskiego Górnego, gdzie zawartość antymonu dochodzi do $1,19 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, potencjalnym źródłem zanieczyszczenia mogą być pyły ze spalania węgla w ciepłowni Kawęczyn i odpadów w pobliskim zakładzie ich utylizacji. Węgiel kamienny z polskich złóż zawiera do $4,1 \text{ mg}/\text{kg}$ antymonu (Bojakowska i in., 2007).

Anomalne zawartości antymonu zanotowano w wodach Rowu Miedzeszyńskiego (do $2,21 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i Kanału Henrykowskiego (do $1,97 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Zanieczyszczenia antymonem stwierdzono też w wodach zbiorników bezodpływowych na terenie Bemowa (glinianki Jelonek – $2,76 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, staw Jeziorzec – $1,88 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, fosa fortu Blizne – $1,05 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz w wodach Stawu na Kosku ($1,89 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i Stawów Kaczych ($1,80 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w Parku Skaryszewskim.

Poza granicami Warszawy anomalnymi stężeniami antymonu wyróżniają się wody dopływów Czarnej – do $9,07 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w potoku Górnika, $2,94 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w rowie na terenie Kobyłki i $1,97 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w rowie w północnej części Marek.

Anomalne stężenia antymonu napotkano też w wodach stawów należących do zlewni Czarnej Strugi (do $2,10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz w wodach dopływu Strugi (do $2,03 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) o wysokiej przewodności, zawierających podwyższone stężenia sodu, litu, potasu, magnezu, molibdenu, strontu, uranu, chloru, azotanów i siarczanów.

Duże stężenie antymonu zanotowano w wodach Rowu Opaczewskiego, zasilającego Raszynkę: do $1,27 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w rejonie węzła Opacz południowej obwodnicy Warszawy.

Podwyższonymi zawartościami antymonu ($>0,56 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) cechują się lokalnie wody Kanału

Wawerskiego, rowu Jeziorki, Kanału Grabowskiego, Wilanówki i Regułki.

W wielu lokalizacjach podwyższone stężenia antymonu występują w wodach zanieczyszczonych także przez molibden i inne metale, co wskazuje na jego antropogeniczne pochodzenie.

SiO₂ KRZEMIONKA

Wody: [tabl. 61](#), [tab. 7](#)

Zakres zawartości krzemionki w wodach Warszawy i okolic wynosi od <0,1 do 27,1 mg/dm³. Mediana zawartości (9,6 mg/dm³) jest nieco mniejsza w porównaniu do wód Polski (mediana 12,5 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 1995) i aglomeracji Poznania (mediana 10,6 mg/dm³; Lis, Pasieczna, 2005). W wodach Europy wartość mediany zawartości krzemionki wynosi 8 mg/dm³ (De Vos, Tarvainen, red., 2006).

Podwyższone i anomalne stężenia SiO₂ w wodach występują na obszarach o różnym użytkowaniu i mogą być związane z drenowaniem piaszczystego podłoża, które występuje na znacznej części obszaru arkusza, ale też ze zrzutami ścieków.

Największą zawartością krzemionki odznaczają się wody zlewni Łasicy (mediana 11,9 mg/dm³), a najmniejszą wody jezior i stawów (3,4 mg/dm³). Mediana zawartości krzemionki w wodach Wisły wynosi 8,6 mg/dm³.

Maksymalną zawartością krzemionki (i podwyższonymi stężeniami szeregu innych składników) charakteryzują się wody rowu w miejscowości Zagościniec, do którego spuszczone są ścieki komunalne.

Stężeniem 27,3 mg/dm³ krzemionki (i wielu innych składników) wyróżniają się wody zaśmieconego rowu na Paluchu oraz rowu opaskowego składowiska Radiowo (27,0 mg/dm³).

Wody rowów na terenie leśnym w Markach zawierają 26,7 mg/dm³ krzemionki, a w rejonie Parku Natolińskiego – 25,9 mg/dm³.

W lewobrzeżnej części zlewni Wisły podwyższonymi (>14,3 mg/dm³) i anomalnymi (>16,2 mg/dm³) zawartościami krzemionki cechują się wody Strugi, Lipkowskiej Wody i Raszynki wraz z ich dopływami, wody Rudawki, a lokalnie wody cieków w zlewni Utraty, Potoku Służewieckiego, Wilanówki i Jeziorki.

Po wschodniej stronie doliny Wisły bogate w SiO₂ są wody Rowu z Lewandowa (do 19,2 mg/dm³) oraz licznych dopływów Czarnej (do 20,4 mg/dm³ w wodach rowu w miejscowości Krym, poniżej oczyszczalni ścieków).

W krzemionkę obfitują też wody Kanału Henrykowskiego, kanałów zasilających Nowy Kanał na Białołęce, a lokalnie dopływów Mieni i Świdra.

Sr STRONT

Gleby: tabl. 62–63, tab. 4–5

Zawartość strontu w glebach warstwy powierzchniowej zmienia się od <1 do 556 mg/kg. Wzbogacenie w stront warstwy powierzchniowej w stosunku do gleb z głębokości 0,8–1,0 m jest prawie trzykrotne (wartość median odpowiednio 11 i 4 mg/kg), co świadczy, że jego ważnym źródłem są czynniki antropogeniczne. Potwierdza to również fakt najmniejszych zawartości strontu (w obu badanych zakresach głębokości) w glebach obszarów leśnych, a największych – na terenach przemysłowych i miejskich. Źródłem rozpraszania strontu na terenach miejskich jest spalanie węgla, a w dzielnicach centralnych Warszawy także udział gruzu węglanowego w nasypach antropogenicznych.

Przestrzenny rozkład zawartości strontu jest podobny w glebach z obydwu zakresów głębokości. Bogatsze w ten pierwiastek są gleby zachodniej części miasta i tarasów zalewowych doliny Wisły. Jego zwiększoną obecność można wiązać z wystąpieniami glin lodowcowych i utworów zwietrzelinowo-eolicznych oraz mad.

Anomalie strontu w glebach mają zazwyczaj niewielki zasięg powierzchniowy, ale często występują w obu badanych poziomach gleb. Największą jego zawartość (556 mg/kg w glebach powierzchniowych i 182 mg/kg w warstwie głębszej) zaobserwowano w rejonie Kobyłki, w sąsiedztwie kilku cegielni.

Koncentracja strontu w rejonie Jeziorka Czerniakowskiego (312 mg/kg) wiąże się prawdopodobnie z opadaniem pyłów z elektrociepłowni Siekierki.

Podwyższonymi zawartościami strontu (>200 mg/kg w obu warstwach głębokościowych) charakteryzują się gleby z terenów przemysłowych Tarchomina (zawierające też 8,24% wapnia).

W pobliżu składowisk odpadów paleniskowych gleby warstwy powierzchniowej i głębszej zawierają odpowiednio 196 i 173 mg/kg strontu na Zawadach oraz 159 i 235 mg/kg na Żeraniu.

Lokalnie wzbogacone w stront są gleby przy trasach kolejowych (do 180 mg/kg w glebach warstwy powierzchniowej na Bemowie i 291 mg/kg w warstwie głębszej na Żeraniu), co jest prawdopodobnie spowodowane spalaniem węgla w dawnych parowozach.

Podwyższone zawartości strontu zanotowano też na terenach przemysłowych: 178 mg/kg na

Służewcu Przemysłowym oraz 254 mg/kg w Mysiadle, gdzie stwierdzono także 165 mg/kg niklu.

Osady: [tabl. 62](#), [tab. 6](#)

W osadach zawartość strontu zmienia się w granicach od 1 do 329 mg/kg, a najbogatsze są osady zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 46 mg/kg) i Wisły (mediana 28 mg/kg). W większości badanych próbek (75%) zawartość strontu nie przekracza 32 mg/kg. Przeciętna zawartość strontu w osadach w obrębie arkusza (mediana 16 mg/kg) jest nieco mniejsza niż w osadach Polski (mediana 20 mg/kg; Lis, Pasieczna, 1995). Osady Wisły są naturalnie wzbogacone w stront wypłukiwany z gleb tarasów oraz dostarczany z południowej części zlewni, gdzie odsłaniają się na powierzchni wietrzejące skały węglanowe.

W stront obfitują osady niektórych cieków w zlewni Wilanówki. W osadach rowów i kanałów w rejonie oczyszczalni ścieków dawnej fabryki papieru w Konstancinie-Jeziornej stwierdzono 230–329 mg/kg strontu, pochodzącego niewątpliwie ze zrzutu ścieków.

Anomalne zawartości strontu, związane ze zrzutem różnego rodzaju ścieków, występują w osadach kanałów: Bródnowskiego Górnego (199 mg/kg w rejonie Trasy Toruńskiej), Henrykowskiego (120 mg/kg) i Żerańskiego (154 mg/kg) oraz w osadach Rowu z Lewandowa (138 mg/kg).

Lokalnie podwyższone zawartości strontu obserwuje się w osadach cieków w zlewniach Czarnej (do 111 mg/kg), Łachy Potockiej (do 101 mg/kg), Rudawki (79 mg/kg) i Raszynki (96 mg/kg).

Podwyższone zawartości strontu w osadach są w wielu przypadkach związane ze zrzutami ścieków lub gruzu do cieków i zbiorników zamkniętych. Na terenach zurbanizowanych wzbogacenie wód i osadów w stront może być też efektem spływu powierzchniowego środków stosowanych do zimowego odmrażania dróg, a na terenach rolniczych – spływu powierzchniowego po zabiegach wapnowania gleb.

Wody: [tabl.63](#), [tab. 7](#)

Zawartość strontu w wodach powierzchniowych waha się od 10 do 1269 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana 202 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Dla wód całej Polski mediana zawartości strontu wynosi 243 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Lis, Pasieczna, 1995).

Największą zawartością tego pierwiastka cechują się wody Wisły (mediana 327 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), a dwukrotnie mniejszą – wody zlewni Czarnej i Świdra (155 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Wody Warszawy i okolic są uboższe w stront w porównaniu z wodami aglomeracji Szczecina (mediana 311 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis,

Pasieczna, 1998a) i Poznania (mediana 276 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; Lis, Pasieczna, 2005).

W prawostronnej części zlewni Wisły anomalnymi stężeniami strontu ($>438 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) wyróżniają się zanieczyszczone ściekami wody Kanału Henrykowskiego na Tarchominie, Kanału Bródnowskiego Górnego, Rowu z Lawendowa na Białołęce, a lokalnie wody cieków i zbiorników w zlewni Czarnej.

W lewostronnej części zlewni Wisły wyraźnie wzbogacone w stront są wody rowów i stawów na terenie Łomianek, wody Rudawki, Raszynki, Kanału Ożarowskiego oraz niektórych cieków i zbiorników Mokotowa.

Największe stężenia strontu zanotowano w wodach dawnej glinianki po działalności cegielni w Kobyłce (1269 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz w wodach Kanału Ożarowskiego w Broniszach (1129 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Anomalne zawartości strontu ($>1000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) zarejestrowano ponadto w wodach rowu na skraju lasu Bemowo w Lachtorzewie (1022 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), w wodach Kanału Henrykowskiego (1025 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), zbiornika na terenie Kolonii Opacz (1410 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz rowu na Paluchu w pobliżu lotniska Chopina (1067 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Ti TYTAN

Gleby: tabl. 64–65, tab. 4–5

Kartograficzny obraz rozkładu zawartości tytanu w obydwu badanych zakresach głębokości jest bardzo zbliżony. Prawie identyczne są także parametry statystyczne jego zawartości dla obu zakresów, podobnie jak w glebach Europy, gdzie stosunek median zawartości tytanu w glebach warstwy powierzchniowej i glebach z głębszego poziomu wynosi 1,021 mg/kg (De Vos, Tarvainen, red., 2006).

Bogatsze w tytan są gleby rozwinięte na glinach lodowcowych oraz na utworach eluwialnych, a także nasypy antropogeniczne. Gleby antropogeniczne z obydwu zakresów głębokości charakteryzują się najwyższymi zawartościami tytanu (mediany odpowiednio 79 i 80 mg/kg), a zawartości anomalne występują niejednokrotnie w obu badanych warstwach.

Maksymalną zawartość tytanu w glebach warstwy powierzchniowej zidentyfikowano na terenie zakładów Polfa Tarchomin (736 mg/kg), gdzie był on używany w produkcji leków.

Źródłem tytanu są odpady paleniskowe i emisje elektrociepłowni. W warstwie powierzchniowej i głębszej w sąsiedztwie składowisk zanotowano odpowiednio 569 i 751 mg/kg na Żeraniu oraz 430 i 353 mg/kg na Zawadach. Gleby w sąsiedztwie elektrociepłowni Siekierki zawierają 535 i 490

mg/kg tytanu, 516 mg/kg na terenie magazynowym na Siekierkach i 478 mg/kg nad Jeziorkiem Czerniakowskim.

Zanieczyszczenie tytanem związane jest też z działalnością dawnej cementowni Warszawa (328 i 258 mg/kg tytanu w warstwie powierzchniowej i głębszej).

Antropogeniczne zanieczyszczenie tytanem obserwuje się także na terenie huty ArcelorMittal (337 i 275 mg/kg w obu warstwach), dawnych zakładów mechanicznych Ursus (279 mg/kg) oraz terenów magazynowo-przemysłowych na Ursynowie (do 252 mg/kg). Ten ostatni obszar został prawdopodobnie zanieczyszczony tytanem (a także barem i ołowiem) w wyniku długoletniej działalności Zakładów Ceramiki Radiowej, gdzie do produkcji piezoelektrycznych materiałów ceramicznych stosowano tytanian ołowiu.

Podwyższone zawartości tytanu występują w glebach położonych przy liniach kolejowych (do 276 mg/kg przy bocznicy kolejowej na Bemowie).

Odpowiednio 289 mg/kg w glebie warstwy powierzchniowej i 351 mg/kg w warstwie głębszej zarejestrowano w Jankach w sąsiedztwie licznych magazynów, a 244 mg/kg w Otwocku.

Na głębokości 0,8–1,0 m 472 mg/kg tytanu zawierają gleby rozwinięte z utworów eolicznych w rejonie Kobyłki, 325 mg/kg w dolinie Raszynki (na podłożu piasków kemowych) oraz do 207 mg/kg między Ursusem a Ożarowem (na utworach lessopodobnych). W tych przypadkach pochodzenie tytanu jest przypuszczalnie litogeniczne.

Za antropogeniczną należy uznać kumulację tytanu w głębszej warstwie gleb (214 mg/kg) w rejonie zbiegu ulic Wolskiej, Kasprzaka i Prymasa Tysiąclecia. Obszar ten stanowi miejsce o dużym natężeniu ruchu drogowego i kolejowego. W glebie antropogenicznej z terenu kolejowego w sąsiedztwie dawnych zakładów FSO, charakteryzującej się podwyższoną zawartością także innych metali, zanotowano 379 mg/kg tytanu.

Osady: [tabl. 64](#), [tab. 6](#)

W większości zbadanych osadów (75%) zawartość tytanu nie przekracza 84 mg/kg. Podwyższone zawartości występują w różnych rejonach arkusza, natomiast wartości wyraźnie anomalne (>170 mg/kg) związane są głównie z obszarami zurbanizowanymi. Mediana zawartości tytanu w osadach Warszawy i okolic (58 mg/kg) jest ponaddwukrotnie większa niż w osadach aglomeracji Szczecina (mediana 24 mg/kg; Lis, Pasieczna, 1998a) i mniejsza niż w osadach Poznania (mediana 105 mg/kg; Lis, Pasieczna, 2005).

Najmniej tytanu zawierają osady Wisły i zlewni Długiej (mediana 48 mg/kg), a najwięcej zlewni Kanału Żerańskiego (mediana 79 mg/kg).

Maksymalną zawartość tytanu (469 mg/kg) stwierdzono w osadzie cieką na terenie Łomianek.

Wzbogacone w tytan są osady Rowu Miedzeszyńskiego w Wawrze (do 436 mg/kg), a Kanału Henrykowskiego w rejonie ulicy Mehoffera (310 mg/kg).

Anomalnymi zawartościami tytanu charakteryzują się osady Potoku Służewieckiego i rowu Wolica (do 390 mg/kg). Rów Wolica jest odbiornikiem nieoczyszczonych ścieków z Ursynowa i Natolina, a do Potoku Służewieckiego spływają ścieki deszczowe z lotniska Chopina. Część zanieczyszczeń może też pochodzić z zakładów działających w przeszłości na terenie Służewca Przemysłowego.

Silne zanieczyszczenie tytanem osadów kanałów Bródnowskiego Górnego (198–276 mg/kg) i Żerańskiego (191–257 mg/kg) może być powodowane spływem powierzchniowym z okolicznych terenów przemysłowych, kolejowych i budowanych osiedli.

Anomalne zawartości tytanu zarejestrowano lokalnie w osadzie organicznym stawu w miejscowości Opacz (418 mg/kg), rowu w zlewni Lipkowskiej Wody (400 mg/kg), w osadzie dopływów Czarnej (316 mg/kg) i Jeziorki (211 mg/kg).

TI TAL

Wody: [tabl. 66](#), [tab. 7](#)

Tło geochemiczne talu w wodach powierzchniowych Polski zostało określone na 0,006 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Salminen red., 2005), a w badanych wodach zmienia się od $<0,05$ do 0,24 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana $<0,05$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Stężenie talu we wszystkich pobranych próbkach jest znacznie niższe od granicznej wartości dla klas I/II jakości wód (2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). W 90% wód w obrębie arkusza zawartość talu jest mniejsza od 0,06 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Wyraźnie podwyższoną zawartością talu w stosunku do tła wyróżniają się wody Wisły o stężeniach $>0,06$ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana 0,08 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Jego prawdopodobnym źródłem jest górnośląski obszar eksploatacji i przetwórstwa rud Zn-Pb, z którego został przetransportowany wodami Wisły i jej dopływów. Silnie zanieczyszczona talem jest Biała Przemśka, którą zasilają Biała i Sztoła, dostarczające wody dołowe z kopalni rud Zn-Pb Pomorzany, oraz ścieki z ZGH Bolesław w Bukowni i z oczyszczalni ścieków w Olkuszu. Wody Białej Przemśkiej zasilają z kolei Przemśkę,

która jest dopływem Wisły. Zawartość talu w wodach Białej Przemszy wynosi 8,73–17,89 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, a w wodach Przemszy dochodzi do 3,81 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Pasiczna red., 2010a, c). Wody Wisły w obrębie Warszawy są już wielokrotnie rozcieńczone pod względem zawartości tego pierwiastka.

Zanieczyszczenie talem napotkano poza tym tylko w 16 próbkach wód pobranych z innych zbiorników. Jego maksymalną zawartość (0,24 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w wodach rowu drenującego Horowe Bagno na terenie leśnym w Markach.

U URAN

Wody: [tabl. 67](#), [tab. 7](#)

Stężenie uranu w wodach rzecznych w różnych regionach świata mieści się w zakresie od 0,02 do 5,0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, a średnia wynosi 0,37 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Gaillardet i in., 2003 w: Kabata-Pendias, Szteke, 2012). W wodach Europy zakres zawartości uranu wynosi <0,002–11,100 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, a mediana 0,320 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (De Vos, Tarvainen, red., 2006).

W wodach Warszawy i okolic zanotowano od <0,05 do 19,55 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ uranu (mediana 0,53 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Wody lewobrzeżnej części zlewni Wisły są znacznie bogatsze w uran w porównaniu z wodami terenu po wschodniej stronie rzeki, co jest zapewne spowodowane różnicami w budowie geologicznej podłoża. Po zachodniej stronie cieków drenują gliny lodowcowe, lessopodobne utwory zwietrzelinowo-eoliczne i namuły bogate w minerały ilaste wiążące uran, a po stronie wschodniej przeważają osady piaszczyste, bogate jedynie w krzemionkę.

Zanieczyszczone uranem są wody zlewni Utraty (mediana 1,77 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$), a najmniej tego pierwiastka zawierają wody jezior i stawów (mediana 0,27 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Wody Wisły charakteryzują się pośrednimi stężeniami 0,26–0,98 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana 0,50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Maksymalną zawartość uranu (19,55 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w wodzie rowu na terenie leśnym na Paluchu. Wody te cechują się także wysoką przewodnością elektrolityczną oraz podwyższonymi stężeniami wielu innych składników.

Zanieczyszczone uranem (>2,49 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) są wody Strugi i Lipkowskiej Wody oraz ich dopływów, wody Rudawki, Kanału Ożarowskiego, Żbikówki, Raszynki, Rowu Opaczewskiego, zlewni Utraty, Regułki, rowu Jeziorki, Kanału Wolickiego i Potoku Służewieckiego oraz niektórych zbiorników i cieków z obszaru Mokotowa.

W wodzie dopływu Lipkowskiej Wody zanotowano 18,63 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ uranu, w wodach Żbikówki

14,01 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, a w wodzie rowu płynącego wzdłuż ul. Piaseczyńskiej na Mokotowie do 13,41 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Po prawej stronie doliny Wisły podwyższonymi stężeniami uranu ($>1,17 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) wyróżniają się wody kanałów: Henrykowskiego, Wystawowego, Gocławskiego i Nowa Ulga oraz lokalnie wody Czarnej i jej dopływów.

V WANAD

Gleby: tabl. 68–69, tab. 4–5

Parametry statystyczne zawartości i rozkłady przestrzenne wanadu w glebach z obu zakresów głębokości są bardzo podobne. Mediana zawartości wanadu w wierzchnich warstwach gleb (8 mg/kg) jest podobna jak wartość tła geochemicznego Polski (7 mg/kg; Lis, Pasieczna, 1995). W grupach użytkowania warstwy powierzchniowej największą zawartością wanadu charakteryzują się gleby parków (mediana 11 mg/kg), a najmniejszą gleby leśne (mediana 3 mg/kg).

Zawartość wanadu w glebach z obydwu zakresów głębokości jest wyraźnie związana ze składem chemicznym skał macierzystych. Bogatsze w wanad są gleby rozwinięte z utworów aluwialnych (mady tarasów zalewowych Wisły), utworów zwietrzelinowo-eolicznych, glin lodowcowych, a lokalnie także z namulów.

W obydwu zakresach głębokości gleb w obrazie rozkładu zawartości wanadu pojawiają się anomalie ($>20 \text{ mg}/\text{kg}$).

W warstwie powierzchniowej maksymalną zawartość wanadu (119 mg/kg) zanotowano w glebach łąkowych Białoleki, wzbogaconych także w żelazo, arsen i siarkę. Wanad jest tu prawdopodobnie związany z tlenkami żelaza. Podobne wzbogacenia litogeniczne występują w glebach łąkowych, utworzonych na namulach, na terenie dawnego meandru Wisły w Wawrze (32–42 mg/kg), w dolinie Długiej – w Okuniewie (43 mg/kg) i w Ossowie (26 mg/kg). Do naturalnych można zaliczyć także zwiększenia zawartości wanadu w glebach tarasów zalewowych Wisły (30–50 mg/kg).

Zanieczyszczenie antropogeniczne gleb wanadem (63 mg/kg) zarejestrowano na terenie huty ArcelorMittal, gdzie jest on stosowany do produkcji stali.

Anomalie w rejonie Augustówki (do 80 mg/kg) oraz na Siekierkach (49 mg/kg) i nad Jeziorkiem Czerniakowskim (36 mg/kg) są prawdopodobnie spowodowane emisjami z elektrowni Siekierki.

Podwyższone zawartości wanadu w obu zakresach głębokości gleb zanotowano w pobliżu składowisk popiołów paleniskowych na Żeraniu (50–60 mg/kg) i na Zawadach (30–70 mg/kg).

Anomalie wanadu występujące w sąsiedztwie torów kolejowych są prawdopodobnie wynikiem emisji pyłów z dawnych parowozów.

Lokalne anomalie antropogeniczne występują obok zakładów Polfa Tarchomin (23 mg/kg), dawnych zakładów mechanicznych Ursus (29 mg/kg) i w rejonie nieczynnej huty szkła w Ożarowie (24 mg/kg).

Maksymalną zawartość wanadu (84 mg/kg) w glebach z głębokości 0,8–1,0 m zaobserwowano w sąsiedztwie kilku cegielni w pobliżu Kobyłki, gdzie występują też podwyższone zawartości tytanu (472 mg/kg) i strontu (182 mg/kg).

Osady: [tabl. 68](#), [tab. 6](#)

Zakres zawartości wanadu w osadach jest bardzo podobny do zakresu zawartości tego pierwiastka w glebach warstwy powierzchniowej, a wartość mediany (8 mg/kg) jest identyczna jak w glebach. W zdecydowanej większości osadów zawartość wanadu nie przekracza 25 mg/kg. Zawartości anomalne (>25 mg/kg) występują przede wszystkim w osadach cieków i zbiorników drenujących wzbogacone w wanad mady i namuły rzeczne.

Do obfitych w wanad należą osady Wilanówki (do 44 mg/kg) i stawu w miejscowości Opacz (38 mg/kg).

W osadach cieków zasilających Kanał Markowski na Białołęce zarejestrowano maksymalnie 32 mg/kg wanadu, a w kanale Nowa Ulga 29 mg/kg.

Podwyższone zawartości wanadu w osadach kanałów Bródnowskiego Górnego (do 40 mg/kg) i Henrykowskiego (do 39 mg/kg) są prawdopodobnie wynikiem zrzutu ścieków z zakładów przemysłowych Targówka i Tarchomina, zarówno współczesnych, jak i działających w przeszłości.

Zanieczyszczenie wanadem osadów Rowu Miedzeszyńskiego w Wawrze (do 40 mg/kg) jest zapewne antropogeniczne. Osady te cechują się też dużymi zawartościami tytanu (do 436 mg/kg) i cynku (do 1171 mg/kg).

Podwyższone zawartości wanadu występują lokalnie w osadach cieków i zbiorników na obszarze zlewni Czarnej. Maksymalna zawartość (214 mg/kg) wanadu została zaobserwowana w osadzie stawu na terenie leśnym w miejscowości Stanisławów Pierwszy (gmina Nieporęt). Duże ilości wanadu zarejestrowano ponadto w osadzie stawu Krzewiny w Dąbrówce k. Mysiadła (36

mg/kg), Stawu Młocińskiego (33 mg/kg) na terenie zamkniętego osiedla oraz w osadzie niewielkiej odnogi Wisły (do 30 mg/kg) na Młocinach.

Wody: [tabl. 69](#), [tab. 7](#)

Zawartość wanadu w wodach powierzchniowych Warszawy i okolic zmienia się od <1 do $15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana $<1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). W wodach Polski notowano stężenie wanadu <8 – $1848 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Lis, Pasieczna, 1995), a w wodach Europy $<0,05$ – $19,5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; mediana $0,46 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (De Vos, Tarvainen, red., 2006).

Wszystkie przebadane próbki wód spełniają normy dla klas I/II jakości wód pod względem zawartości tego pierwiastka ($\leq 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Rozkład zawartości wanadu wskazuje, że jego podwyższonymi zawartościami ($>1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) w stosunku do tła charakteryzują się przede wszystkim wody obszaru położonego po zachodniej stronie Wisły, co jest prawdopodobnie związane z występującym tu podłożem bardziej zasobnym w składniki ilaste. Wzbogacone w wanad są wody Kanału Młocińskiego, Strugi i Lipkowskiej Wody wraz z dopływami, Żbikówki, Raszynki i Utraty z dopływami, rowu Jeziorki i Potoku Służewieckiego z dopływami.

Po wschodniej stronie Wisły anomalnymi stężeniami wanadu wyróżniają się wody kanałów: Henrykowskiego, lokalnie Żerańskiego i Markowskiego, Magenta, Wawerskiego, Nowe Ujście, Zagoździańskiego, a także wody Strugi Pogorzelskiej, zlewni Mieni i Czarnej.

Wzbogacone w wanad są też na pewnych odcinkach wody Wisły.

Największą zawartość wanadu stwierdzono w wodzie Kanału Młocińskiego na terenie Lasu Młocińskiego ($15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), cechującej się także wysoką zawartością arsenu ($13 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), antymonu ($1,63 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i talu ($0,10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Anomalną zawartość wanadu zaobserwowano też w wodach rowu na terenie leśnym gminy Radzymin. Wody te wyróżniają się także dużym udziałem innych składników, przytoczonych przy charakterystyce glinu. Dużym stężeniem wanadu ($8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) cechują się także wody stawu położonego na terenie leśnym w Stanisławowie Pierwszym.

Anomalne zawartości wanadu stwierdzono ponadto w wodach dopływu Raszynki ($6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), stawu Pozytywka na Ursynowie ($5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), rowu zasilającego rów Jeziorki w Dąbrówce k. Mysiadła ($4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), stawu Glinianki Jelonek ($4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Rowu Opaczewskiego ($4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz Regułki ($4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

ZAWIESINA

Wody: [tabl. 70](#), [tab. 7](#)

Zawartość zawiesiny ogólnej jest jednym z podstawowych wskaźników jakości wód powierzchniowych. Zawiesina transportuje zanieczyszczenia, a ich zawartość w niej jest często większa niż w osadach dennych (Barbusiński i in., 2012). W wodach powierzchniowych Warszawy i okolic zawartość zawiesiny oznaczono w jednej trzeciej pobranych próbek. Jej zawartość w badanych wodach zmienia się od <5 do 194 mg/dm^3 . 16% zbadanych próbek spełnia normy przewidziane dla I klasy jakości wód pod względem zawartości zawiesiny ($\leq 25 \text{ mg/dm}^3$), 38,5% dla II klasy ($>25 \text{ mg/dm}^3 - \leq 50 \text{ mg/dm}^3$), a dla 45,5% normy te są przekroczone. Największą zawartością zawiesiny cechują się wody zlewni Czarnej (mediana 68 mg/dm^3), a najmniejszą – wody zlewni Utraty (mediana 38 mg/dm^3).

Większe ilości zawiesiny notowano w wodach poza Warszawą, często w lasach po wschodniej stronie Wisły. Największe stężenie zawiesiny (194 mg/dm^3) zaobserwowano w wodach rowu na łąkach w miejscowości Stare Grabie (gmina Wołomin). Wyraźnie anomalnymi zawartościami charakteryzują się wody rowu zasilającego rzekę Rządza w miejscowości Pasek (190 mg/dm^3) oraz stawu Białe Błota w Wołominie (186 mg/dm^3).

Po zachodniej stronie Wisły najwięcej zawiesiny zarejestrowano w wodzie rowu zasilającego Kanał Grabowski w Pyrach (178 mg/dm^3) oraz w wodach Raszynki, drenującej pola uprawne w miejscowości Lesznówola (166 mg/dm^3).

Zn CYNK

Gleby: [tabl. 71–72](#), [tab. 4–5](#)

Zawartość cynku w analizowanych glebach zmienia się w bardzo szerokim zakresie: od 2 do 7019 mg/kg w glebach warstwy powierzchniowej i od 2 do 4290 mg/kg w glebach z głębokości 0,8–1,0 m. Porównanie median zawartości cynku w obu warstwach głębokościowych (44 i 12 mg/kg) wskazuje na antropogeniczne wzbogacenie wierzchnich warstw gleb w ten pierwiastek, choć tylko nieznacznie przekroczona jest wartość tła geochemicznego cynku w glebach warstwy powierzchniowej Polski – 35 mg/kg (Lis, Pasieczna, 1995). Porównanie z badaniami gleb Warszawy i okolic sprzed 25 lat (Lis, 1992) wskazuje, że wierzchnie warstwy gleb były wówczas mniej zanieczyszczone cynkiem (mediana 34 mg/kg).

W grupach użytkowania gleb warstwy powierzchniowej najmniejszymi przeciętnymi zawartościami cynku charakteryzują się gleby lasów (mediana 10 mg/kg), a największymi gleby

ogródków (mediana 102 mg/kg) i parków (mediana 91 mg/kg). Wzbogacenie w cynk gleb miejskich terenów zielonych jest prawdopodobnie spowodowane stosowaniem preparatów ochrony roślin zawierających ten pierwiastek.

W otoczeniu miasta i na jego wschodnich krańcach przeważają gleby o zawartości cynku w granicach tła geochemicznego (70–90 mg/kg). W zachodnich dzielnicach peryferyjnych i na tarasach zalewowych Wisły gleby rozwinięte z glin lodowcowych i utworów lessopodobnych oraz mady rzeczne zawierają więcej cynku (100–200 mg/kg).

Wyraźnie anomalne zawartości cynku (>348 mg/kg w warstwie powierzchniowej i >171 mg/kg w warstwie 0,8–1,0 m) występują w ścisłym centrum miasta (Śródmieście, Wola, pogranicze Targówka, Pragi Północ i Pragi Południe). Podobny zasięg anomalii i zawartości cynku wyznaczono na terenie Warszawy pod koniec lat 70. ubiegłego wieku (Czarnowska, Gworek, 1991), co prowadzi do wniosku o powolnym tempie zanieczyszczania gleb miejskich.

Maksymalną zawartość cynku w glebach warstwy powierzchniowej (7016 mg/kg) stwierdzono na Białolece w sąsiedztwie zakładów Polfa Tarchomin, których historia sięga I połowy XIX w. Istniejące w miejscu obecnych zakłady chemiczne, od 1849 r. produkowały ocet, nawozy sztuczne, przetwory chemiczne, farby, wyroby kosmetyczne i farmaceutyczne, stosując w produkcji związki zawierające cynk (Historia zakładów Polfy Tarchomin..., 2015). Potencjalnym źródłem zanieczyszczenia cynkiem mogła być też nieistniejąca obecnie fabryka tworzyw sztucznych. Związki cynku stosowane są zarówno do produkcji nawozów, farmaceutyków, kosmetyków, farb, jak i tworzyw sztucznych (Kabata-Pendias, Pendias, 1999).

Silnie zanieczyszczone cynkiem (w obu zakresach głębokości) są gleby w rejonie Augustówki: 3961 mg/kg w warstwie powierzchniowej i 3768 mg/kg w warstwie głębszej oraz 677 mg/kg cynku w glebie powierzchniowej w pobliżu Jeziora Czerniakowskiego. Stwierdzone koncentracje cynku są porównywalne z zawartościami tego metalu w glebach na terenach eksploatacji i przetwórstwa złóż Zn-Pb (Pasiczna red., 2010a, b) i trudne do wyjaśnienia. Część cynku może pochodzić z emisji pyłów ze spalania węgla w elektrociepłowni Siekierki, ale główne źródło z pewnością jest inne.

W warstwie powierzchniowej intensywne anomalie cynku rozciąga się na terenie silnie uprzemysłowionym już w II połowie XIX w. (od Kamionka przez Szmulki po Nową Pragę). Największą zawartość cynku na obszarze tej anomalii (2005 mg/kg) zarejestrowano na terenie byłych zakładów aparatury wysokiego napięcia, kontynuujących produkcję zakładu aparatów elektrycznych (od 1921 r.). W warstwie z głębokości 0,8–1,0 m zawartość cynku jest także

anomalna (556 mg/kg), a gleby zawierają ponadto 442 mg/kg miedzi. W obrębie tej samej anomalii zanotowano 1296 mg/kg cynku w warstwie powierzchniowej w sąsiedztwie dawnej fabryki kosmetyków oraz w sąsiedztwie lub na terenie pobliskich ogródków działkowych (1132 mg/kg na Koziej Górze na Grochowie) i przy trasach kolejowych (977 mg/kg przy dworcu Warszawa Wschodnia).

Gleby są zanieczyszczone przez cynk na terenie huty ArcelorMittal (476 mg/kg) oraz w sąsiedztwie składowiska jej odpadów (887 mg/kg). Aktualnie w tym zakładzie stosowane są technologie stopniowo ograniczające emisje pyłów metali, w tym cynku (Dmuchowski i in., 2011).

Antropogeniczna anomalia cynku (552 mg/kg) występuje w rejonie dawnego Służewca Przemysłowego, w miejscu gdzie zaobserwowano też wysokie zawartości baru, ołowiu i tytanu.

Poza Warszawą zanieczyszczenia gleb cynkiem napotkano w glebach Piaseczna: 808 mg/kg w warstwie powierzchniowej oraz 1099 mg/kg w warstwie z głębokości 0,8–1,0 m.

Na głębokości 0,8–1,0 m gleby najbogatsze w cynk (>171 mg/kg) występują na nieco bardziej zwartym i mniejszym obszarze w porównaniu z warstwą powierzchniową. Największą zawartość cynku (4290 mg/kg) stwierdzono w glebie antropogenicznej nasypu przy Wybrzeżu Gdańskim w Śródmieściu.

Osady: [tabl. 71](#), [tab. 6](#)

Zawartość cynku w osadach waha się w przedziale od 4 do 3237 mg/kg. Zanieczyszczone tym pierwiastkiem są głównie osady cieków odwadniających tereny zurbanizowane.

Silnie zanieczyszczone cynkiem są osady Kanału Henrykowskiego (3237 mg/kg) poniżej zakładów Polfa Tarchomin, przyjmującego przez wiele lat ich ścieki (Encyklopedia Warszawy, 1975).

Intensywnie anomalnymi zawartościami cynku (2361 mg/kg) cechują się osady Kanału Bródnowskiego Górnego, który od XIX w. był odbiornikiem ścieków z zakładów przemysłowych Targówka Fabrycznego.

Zanieczyszczone są osady rowu prowadzącego wody z rejonu Wólki Węglowej do Lipkowskiej Wody (999–1056 mg/kg).

Anomalne stężenia cynku (>474 mg/kg) występują także w osadach Jeziorki poniżej Konstancina-Jeziorny (623 mg/kg) i Wilanówki (1054 mg/kg). Zanieczyszczenie osadów obu rzek może pochodzić jeszcze z okresu, gdy stanowiły jeden ciek i odbierały ścieki komunalne i

przemysłowe z obszaru Konstancina-Jeziorny.

Wysokimi zawartościami cynku charakteryzują się lokalnie osady rowu Wolica (739 mg/kg) i kanału Wolica (778 mg/kg), które zasilają Potok Służewiecki, a także osady samego potoku (544 mg/kg w rejonie lotniska) oraz Jeziorka Wilanowskiego (640 mg/kg), do którego potok wpada. Nieco mniejsze zawartości cynku (do 458 mg/kg) w osadach Potoku Służewieckiego notowano w latach 2009–2010 (Bojakowska i in., 2012).

Punktowe anomalie cynku napotkano także m.in. w osadach Rowu Opaczewskiego, Rowu Miedzeszyńskiego, Łachy Potockiej, fosy fortu Piłsudskiego i kanału Nowa Ulga. Poza Warszawą zwraca uwagę bardzo duża ilość cynku (1584 mg/kg) w osadzie stawu w Hipolitowie oraz w osadach dopływów Czarnej na terenie Nadmy, Kobyłki i Wołomina.

Wody: [tabl. 72](#), [tab. 7](#)

Zawartość cynku w wodach powierzchniowych Warszawy jest bardzo zróżnicowana, waha się od <3 do $544 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (mediana $<3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i w żadnej próbce nie przekracza wartości granicznej przewidzianej dla I/II klasy jakości wód ($1000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). W wodach aglomeracji Poznania stwierdzono bardzo podobny zakres stężeń cynku <3 – $539 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (Lis, Pasieczna, 2005). Znacznie większa jest wartość tła geochemicznego w wodach Polski ($33 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), spowodowana głównie jego anomalnymi stężeniami w ciekach Górnego Śląska (Lis, Pasieczna, 1995).

Podwyższonymi stężeniami cynku ($>9 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) cechują się wody Kanału Młocińskiego, Lipkowskiej Wody i Strugi wraz z dopływami, Kanału Ożarowskiego, Żbikówki, Rowu Opaczewskiego, Potoku Służewieckiego wraz z dopływami (Kanał Grabowski i kanał Wolica), dopływów Czarnej, kanału Magenta, Kanału Wawerskiego (poniżej oczyszczalni w Starej Miłosnej), dopływów Mieni i Świdra, Strugi Pogorzelskiej i Rowu Miedzeszyńskiego.

Anomalne stężenia cynku ($>59 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w zanieczyszczonych wodach Kanału Henrykowskiego ($378 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), Potoku Służewieckiego ($95 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz lokalnie w wielu drobnych ciekach lub zbiornikach zamkniętych w zlewni Czarnej, Długiej, Kanału Wawerskiego, Świdra, Strugi i Łasicy.

Największą zawartość cynku ($544 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) zarejestrowano w wodach Strugi w rejonie Starych Babc. Wysokim stężeniem cynku ($368 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) charakteryzują się wody jeziora Bagno Jacka w Wesolej, wyróżniające się także maksymalną zawartością węgla organicznego ($62 \text{mg}/\text{dm}^3$) i wysokim udziałem ołowiu ($3,02 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

Największą zawartością cynku charakteryzują się wody zlewni Łasicy (mediana $11 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a

najmniejszą wody Wisły ($<3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

TRWAŁE ZANIECZYSZCZENIA ORGANICZNE W GLEBACH I OSADACH

Trwałe zanieczyszczenia organiczne są związkami organicznymi charakteryzującymi się wysoką opornością na degradację chemiczną, biologiczną i fotolityczną w środowisku. Związki te ze względu na ich trwałość, właściwości lipofilne oraz łatwość bioakumulacji mogą negatywnie oddziaływać na biosferę, w tym na zdrowie ludzi. Większość związków zaliczanych do TZO, wytwarzanych przez człowieka, jest lub było w przeszłości wykorzystywane jako pestycydy, rozpuszczalniki, farmaceutyki i chemikalia przemysłowe. Niektóre ze związków zaliczanych do TZO mogą powstawać w sposób naturalny, np. podczas emisji wulkanów i na drodze biosyntezy. Do związków organicznych zatrzymywanych w osadach i glebach, stanowiących największe zagrożenie dla dobrego stanu środowiska, należą m.in. polichlorowane bifenyle (PCB), pestycydy chloroorganiczne i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA).

Mapy geochemiczne opracowano dla wybranych pestycydów (DDT, HCH, dieldryna, endosulfan I, które były szeroko stosowane w Polsce), olejów mineralnych, PCB oraz WWA.

Pestycydy chloroorganiczne są chlorowanymi węglowodorami, które w latach 1940–1960 były powszechnie wykorzystywane w rolnictwie jako środki owadobójcze. W wielu krajach, ze względu na szkodliwe oddziaływanie na organizmy zwierzęce i bardzo małą podatność na degradację w środowisku, większość pestycydów chloroorganicznych została wycofana z produkcji i użycia. Jednakże są one nadal produkowane i stosowane w niektórych krajach rozwijających się.

Część z pestycydów rozsianych na polach uprawnych i plantacjach w krajach tropikalnych, zwłaszcza na gleby o bardzo niskiej zawartości materii organicznej i poddanych silnej radiacji słońca, przedostaje się do atmosfery i transportowana jest wraz z masami powietrza na duże odległości w kierunku biegunów i w następstwie tego wraz z opadami atmosferycznymi trafia do gleb strefy umiarkowanej (Ramamoorthy, Ramamoorthy 1997; Grynkiewicz i in., 2003).

We współczesnych osadach zbiorników wodnych z różnych regionów świata zawartość pestycydów chloroorganicznych osiąga nawet kilkaset tys. $\mu\text{g}/\text{kg}$ (a ekstremalne zawartości odnotowywane są np. w osadach niektórych portów). Na ogół nawet w bardzo zanieczyszczonych osadach zawartość tych związków nie przekracza $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Kannan i in., 1997; Sivey, Lee, 2007; Lin i in., 2009).

Najwyższe zawartości tych związków stwierdzane są w osadach datowanych na lata 50.–70. XX

w.

Spośród zbadanych 20 pestycydów chloroorganicznych w osadach stwierdzono obecność: α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH, heptachloru, α -chlordanu, γ -chlordanu, endosulfanu I, endosulfanu II, siarczynu endosulfanu, dieldryny, p,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT, endryny i aldehydu endryny.

Oleje mineralne obecne w glebach i osadach są mieszaniną węglowodorów alifatycznych (parafiny), cykloalkanów (nafteny) i węglowodorów aromatycznych (areny), zawierających w cząsteczce od 10 do 40 węgli i więcej. Oleje mineralne są szeroko rozpowszechnione w środowisku i ich tłowe zawartości mogą być do 100 mg/kg. Podwyższone zawartości OLM mają w większości pochodzenie antropogeniczne, jednak w glebach lasów i torfowisk mogą być pochodzenia naturalnego. Na terenach zurbanizowanych źródłem OLM jest przede wszystkim transport samochodowy, przechowywanie i przetwórstwo paliw płynnych, wycieki na skutek wypadków samochodowych, a niekiedy wykorzystywanie osadów ściekowych do nawożenia gleb (Riffaldi i in., 2006; Pathak i in., 2011; Akpan, Udoh, 2013).

Polichlorowane bifenyle (PCB), chlorowane pochodne bifenylu, są syntetycznymi związkami, które w przeszłości miały zastosowanie jako ciecze dielektryczne do kondensatorów i transformatorów oraz jako płyny robocze w siłownikach hydraulicznych i wymiennikach ciepła, jako dodatki do farb i lakierów, jak również jako plastyfikatory tworzyw sztucznych i impregnatory drewna. Obecnie PCB są uwalniane do środowiska podczas spalania węgla w elektrowniach, spalania odpadów szpitalnych, spalania węgla kamiennego i drewna w sektorze mieszkaniowym i komunalnym, a także w następstwie wycieków smarów z pojazdów i maszyn, z uszkodzonych wymienników ciepła i transformatorów oraz wraz z emisją zanieczyszczeń z niektórych procesów technologicznych.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) stanowią grupę związków organicznych szeroko rozpowszechnionych w środowisku. W warunkach naturalnych WWA są tworzone w wyniku wysokotemperaturowej pirolizy materiału organicznego podczas pożarów naturalnych zbiorowisk roślinnych, wybuchów wulkanów oraz przede wszystkim podczas diagenety i katagenety materii organicznej w procesach generacji ropy naftowej i przeobrażania materiału organicznego w węgiel i ropę naftową (Capaccioni i in., 1995; Harvey 1998; Oros, Simoneit 2001; Alves i in., 2010). WWA uruchamiane są do środowiska głównie podczas przetwarzania węgla kamiennego w koksowniach, spalania węgla w gospodarstwach domowych i elektrowniach, przetwarzania ropy naftowej w rafineriach, spalania paliw płynnych w silnikach samochodowych i samolotowych, jak również wydobywania, transportowania i magazynowania

paliw płynnych, a także w następstwie spalania odpadów komunalnych i w trakcie procesów hutniczych (Howsam, Jones, 1998; Gryniewicz i in., 2003).

DIELDRYNA

Gleby: [tabl. 73](#), [tab. 8](#)

Obecność dieldryny w stężeniu powyżej granicy oznaczalności stwierdzono w 24,39% analizowanych gleb. Największy obszar gleb zanieczyszczonych tym związkiem ($>2 \mu\text{g}/\text{kg}$) rozciąga się od Piastowa i Włoch na południu po Ożarów i Blizne na północy. Jego wschodnia granica dochodzi do terenu Ochoty. Na tym obszarze maksymalną zawartość dieldryny ($41,0 \mu\text{g}/\text{kg}$) zanotowano w rejonie ulic Połczyńskiej i Synów Pułku na Bemowie. Gleba ta wyróżnia się także wysoką zawartością DDT. W kilku innych miejscach tej rozległej anomalii zawartości dieldryny przekraczają $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ (w rejonie ul. Mszczonowskiej, w rejonie Konotopy oraz w Ożarowie).

Występowanie podwyższonych zawartości dieldryny odnotowano także w Wilanowie ($27,1 \mu\text{g}/\text{kg}$), na Tarchominie w pobliżu firmy TEKNO i byłej fabryki domów ($8,4 \mu\text{g}/\text{kg}$) oraz na Targówku ($8,1 \mu\text{g}/\text{kg}$).

Osady: [tabl. 73](#), [tab. 9](#)

Zawartości dieldryny w osadach są niewielkie (do $2,7 \mu\text{g}/\text{kg}$) i stwierdzono je tylko w 13,25% analizowanych próbek. W trzech lokalizacjach: w osadach kanału na przemysłowym terenie w Wołominie, rowu na polach uprawnych w Raszynie i fosy fortu Radiowo zawartości te były nieznacznie wyższe od wartości TEC (Threshold Effect Concentration – zawartość progowa, poniżej której nie obserwuje się szkodliwych efektów): $1,9 \mu\text{g}/\text{kg}$.

DDT

Gleby: [tabl. 74](#), [tab. 8](#)

W powierzchniowej warstwie gleb spośród badanych pestycydów chloroorganicznych najczęściej były wykrywane związki DDT i ich metabolity. Maksymalna stwierdzona zawartość p,p'-DDT wynosi $4000 \mu\text{g}/\text{kg}$, p,p'-DDE – $1700 \mu\text{g}/\text{kg}$, a p,p'-DDD – $800 \mu\text{g}/\text{kg}$. Średnia arytmetyczna zawartość sumy DDT i jego metabolitów to $57,6 \mu\text{g}/\text{kg}$.

Na znacznych terenach występują anomalie związków z grupy DDT o stężeniach w zakresie zawartości dopuszczalnych jedynie dla gruntów przemysłowych, a w niektórych lokalizacjach nawet je przekraczających.

Najmniejsze zawartości sumy DDT (<10,2 µg/kg) zanotowano na wschodzie arkusza – w rejonie Okuniewa, Sulejówka, Wesołej i Wiązowny, zaś wysoką lub podwyższoną zawartością tych związków charakteryzują się gleby prawie całego pozostałego obszaru.

W największej obszarowo anomalii na Pradze Południe zawartości sumy DDT przekraczają 100 µg/kg, a w jej części centralnej, obejmującej teren Parku Skaryszewskiego i ogródków działkowych w rejonie ulicy Waszyngtona, są to zawartości >200 µg/kg (maksymalnie 5400 µg/kg).

Podobne zawartości sumy DDT (>100 µg/kg) zanotowano na terenach przylegających do linii kolejowej do Piastowa (na terenie Ochoty i Ursusa) oraz w rejonie Ożarowa. W obrębie tych anomalii stwierdzono do 2580 µg/kg związków DDT na Woli przy ulicy Mszczonowskiej i do 530,0 µg/kg w rejonie ulicy Zapustnej w Ursusie. Przy torach kolejowych na Woli (w rejonie ulicy Prądzyńskiego) wykryto 1900 µg/kg związków DDT, a na Jelonkach (w rejonie ulicy Batalionu Zośka) 1302 µg/kg. W Gołąbkach maksymalna zawartość DDT wynosi 1140,8 µg/kg.

W kilku innych lokalizacjach (w rejonie Łomianek, Henrykowa, Marek, w dolinie Wisły) występują mniej rozległe anomalie, o zawartości DDT wynoszącej najczęściej 500–1100 µg/kg. Zwraca w nich uwagę wysoka przewaga stężenia p,p'-DDT nad jego metabolitami, wskazująca na niedawne wprowadzenie tych związków do gleb.

W zależności od użytkowania i zagospodarowania gleb zaznacza się zróżnicowanie w występowaniu DDT, chociaż ekstremalnie wysokie zawartości odnotowano na terenach o różnym użytkowaniu. Najwyższymi średnimi geometrycznymi zawartości sumy DDT wyróżniają się gleby pól uprawnych (59,5 µg/kg) i ogródków działkowych (19,3 µg/kg), a najniższymi – lasów (4,1 µg/kg) i łąk (9,6 µg/kg). W glebach pól uprawnych są to zawartości znacznie przewyższające zawartość przeciętną dla gleb uprawnych Polski – 29,57 µg/kg (Maliszewska-Kordybach i in., 2014).

W porównaniu do terenów zurbanizowanych z innych rejonów świata, gleby Warszawy charakteryzują się zbliżoną średnią geometryczną zawartością DDT (10,9 µg/kg) do gleb miasta Kurukshetra w Indiach (7,9 µg/kg) (Kumar i in., 2013) i znacznie niższą niż gleby Pekinu – 68,1 µg/kg (Yang i in., 2010).

Osady: [tabl. 74](#), [tab. 9](#)

Związki DDT i ich metabolity stwierdzono w 97% zbadanych próbek osadów, w tym p,p'-DDT wykryto w 45,25%, p,p'-DDD w 84% próbek, a p,p'-DDE w 96,75% próbek. Maksymalna zawartość p,p'-DDT wynosi 770 µg/kg, p,p'-DDE 270 µg/kg, a p,p'-DDD 860 µg/kg.

Ekstremalnie wysoką zawartość sumy DDT (1900 µg/kg) zanotowano w osadach rowu melioracyjnego na polach uprawnych na północ od Marek. Silnie zanieczyszczone są także osady Wilanówki (do 430 µg/kg), potoku bez nazwy w Sokołowej (do 202,9 µg/kg) oraz rowów na terenie Latchorzewa (do 174,8 µg/kg), Radiowa (do 111,1 µg/kg) i Raszyzna (do 105,3 µg/kg).

Wartości obliczonych średnich geometrycznych wskazują na znaczne zanieczyszczenie osadów zlewni Raszynki (13,1 µg/kg), Łasicy (10,3 µg/kg), Wilanówki (8,6 µg/kg) i Jeziorki (7,0 µg/kg), mniejsze w zlewni Świdra (1,0 µg/kg), Czarnej (1,5 µg/kg) i Długiej (1,6 µg/kg).

Zawartości p,p'-DDT wyższe od wartości TEC (1,19 µg/kg) stwierdzono w 116 próbkach osadów, a zawartość wyższą od wartości PEC (Probable Effects Concentration – stężenie, powyżej którego można obserwować szkodliwe oddziaływanie) – 62,9 µg/kg – jedynie w osadach rowu w Nadmie (na północ od Marek).

W przypadku metabolitu p,p'-DDE zawartością niższą od wartości TEC (3,2 µg/kg) charakteryzowało się 73,25% próbek, a wyższą od wartości PEC (31 µg/kg) 2,75% próbek.

Zawartością p,p'-DDD niższą od wartości TEC (4,9 µg/kg) charakteryzowało się 78% próbek, a wyższą od wartości PEC (28 µg/kg) 4% próbek.

Najmniejsze zawartości DDT i jego metabolitów, podobnie jak innych TZO, stwierdzono w osadach piaszczystych (średnia geometryczna 1,5 µg/kg), a największe w szlamach organicznych (12,8 µg/kg).

Powszechna obecność DDT i jego metabolitów w analizowanych osadach jest przede wszystkim następstwem ich intensywnego stosowania w przeszłości w parkach, ogródkach działkowych, w uprawach rolnych i leśnictwie. Część depozytów tych związków może pochodzić z odległego transportu atmosferycznego.

Przy ocenie zanieczyszczenia osadów DDT istotna jest zależność między DDT a jego metabolitami. Niska wartość stosunku DDE+DDD/DDT (<1) wskazuje na bliskie sąsiedztwo źródła zanieczyszczenia i stosunkowo niedawne zastosowanie tego preparatu. Wysoka wartość stosunku DDE+DDD/DDT (6,5) obliczona dla badanych osadów świadczy o dawnym wprowadzeniu tych związków do środowiska przyrodniczego Warszawy i okolic.

ENDOSULFAN I

Gleby: [tabl. 75](#), [tab. 8](#)

Występowanie endosulfanu I stwierdzono w 13,71% próbek gleb warstwy powierzchniowej.

Obszary jego podwyższonych zawartości (>2 µg/kg) na ogół pokrywają się z rejonami anomalii DDT. Maksymalną zawartość (23,6 µg/kg) zanotowano na terenie ogródków działkowych przy ulicy Waszyngtona.

Obecność stosunkowo wysokich zawartości endosulfanu I odnotowano w glebach antropogenicznych w rejonie ulicy Mszczonowskiej na Woli (19,4 µg/kg), w pobliżu Trasy Siekierkowskiej (15,5 µg/kg), nad Kanałem Bródnowskim (9,0 µg/kg), w rejonie ulicy Batalionu Zośka (7,2 µg/kg). W glebach uprawnych krajów, gdzie ten pestycyd jest nadal stosowany, stwierdzane zawartości są o trzy rzędy wielkości większe. W glebach w dolinie Jordanu stwierdzono do 185,4 mg/kg endosulfanu, a w Indiach do 384 mg/kg (Batta i in., 2006; Sunitha i in., 2011). W Chinach jego zawartość w glebach uprawnych wynosi 160 µg/kg, w glebach terenów zurbanizowanych – 83 µg/kg, a tło geochemiczne określono na 38 µg/kg (Jia i in., 2010).

Osady: [tabl. 75](#), [tab. 9](#)

Maksymalną zawartość endosulfanu I (10,9 µg/kg) stwierdzono w osadach rowu w Nadmie na północ od Marek, a jego obecność wykryto w 12,25% próbek.

Zawartość endosulfanu wyższą od 1 µg/kg (wartość TEC) stwierdzono w osadach Wilanówki, kanału na przemysłowym, północno-wschodnim obrzeżeniu Wołomina i lewostronnego kanału uchodzącego do Raszynki z terenu rolniczego.

Endosulfan II został odnotowany w jednej próbce z Wilanówki (0,6 µg/kg), a siarczan endosulfanu – w osadach Raszynki (2,6 µg/kg) i Wilanówki (1,2 µg/kg).

HCH HEKSACHLOROCYKLOHEKSAN

Gleby: [tabl. 76](#), [tab. 8](#)

Występowanie izomerów HCH stwierdzono tylko w 6% próbek gleb. Najczęściej i w najwyższych stężeniach jest to izomer γ -HCH, a maksymalna zawartość sumy izomerów HCH wynosi 5 µg/kg.

Najwyższe zawartości HCH wykryto na terenie Bemowo-Lotnisko, w rejonie ulic Wrocławskiej i Powstańców Śląskich (5 µg/kg), na terenie przemysłowym w rejonie ulic Wołoskiej i Woronicza (5 µg/kg), w rejonie ulic Bartyckiej (4 µg/kg) i Żytniej (4 µg/kg).

Dla porównania, średnia zawartości sumy HCH w glebach uprawnych Polski wynosi 2,85 µg/kg (Maliszewska-Kordybach i in., 2014), a w glebach uprawnych Czech – 0,91 µg/kg (Holoubek i in., 2009).

Występowanie HCH w glebach wiąże się głównie ze stosowaniem w przeszłości lindanu jako insektycydu, którego głównym składnikiem był γ -HCH. Obecnie jest on wykorzystywany nadal w przemyśle farmaceutycznym, weterynaryjnym oraz jako impregnat.

W żadnej ze zbadanych próbek nie stwierdzono δ -HCH, γ -chlordanu, α -chlordanu, endryny, endosulfanu II, siarczanu endosulfanu i epoksydu heptachloru. Pozostałe pestycydy były wykrywane sporadycznie i w niskich stężeniach.

Osady: [tabl. 76](#), [tab. 9](#)

Obecność co najmniej jednego izomeru HCH stwierdzono w 33 próbkach osadów (8,25% próbek), w tym występowanie lindanu (γ -HCH) w 14 próbkach. Maksymalna zawartość sumy izomerów HCH wynosi 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Izomery HCH były wykrywane przede wszystkim w osadach Wisły na odcinku od Tarchomina do Jabłonnej oraz w osadach Wilanówki.

OLEJE MINERALNE

Gleby: [tabl. 77](#), [tab. 10](#)

W większości powierzchniowej warstwy gleb zawartość olejów mineralnych (OLM) nie przekracza 40 mg/kg . Rozległa anomalia o zawartościach >40 mg/kg (z maksimum 3050 mg/kg) obejmuje centralne dzielnice miasta. Mniejsze obszary z podwyższoną zawartością OLM to Żerań, okolice Dąbrówki Szlacheckiej i Gołąbek, teren między Kanałem Markowskim i doliną Czarnej, okolice Ząbek i Kobyłki, rejony Aleksandrów–Stara Miłosna–Boryszew oraz Karczew–Otwock.

Najwyższe zawartości OLM były stwierdzane zarówno w glebach trawników i w pobliżu stacji paliw, jak i na terenie lasów. Gleby trawników na Pradze Południe zawierają do 678 mg/kg OLM, na Służewcu do 665 mg/kg , w Kobyłce do 489 mg/kg , a w Ząbkach w pobliżu linii kolejowej do 442 mg/kg . Maksymalną zawartość OLM (3050 mg/kg) wykryto w glebie trawnika przy al. Żwirki i Wigury. W glebach leśnych w Wesołej zawartość OLM dochodzi do 2350 mg/kg .

Wartości średnich geometrycznych wskazują, że najwyższe są zawartości OLM na terenach przemysłowych (25 mg/kg) i terenach zabudowy wysokiej (28 mg/kg), a najniższe na terenach wiejskich (11 mg/kg).

Osady: [tabl. 77](#), [tab. 11](#)

W osadach zawartość OLM zmienia się w granicach od <10 do 7940 mg/kg . Zawartość >3000 mg/kg zanotowano tylko w 4 próbkach osadów, a >5000 mg/kg w 3 próbkach. Największe

zawartości OLM wykryto w osadach Rowu Miedzeszyńskiego na terenie Borkowa (7940 mg/kg), Rowu Opaczewskiego w Raszynie (6280 mg/kg) i Kanału Bródnowskiego na Białołęce (3040 mg/kg) oraz w osadach rowu uchodzącego do Czarnej (6820 mg/kg).

W zanieczyszczeniu osadów olejami mineralnymi zaznacza się duże zróżnicowanie. Zanieczyszczone są osady Kanału Henrykowskiego (950 mg/kg) i Bródnowskiego (337 mg/kg), Jeziorki (149 mg/kg) i Wilanówki (289 mg/kg) oraz osady zlewni Utraty (56 mg/kg) i Łasicy (93 mg/kg). Znacznie niższymi zawartościami charakteryzują się osady w zlewniach Świdra (12 mg/kg) i Długiej (23 mg/kg).

Przyczyną podwyższonej zawartości olejów mineralnych w osadach jest przede wszystkim emisja tych związków przez transport samochodowy, a także odprowadzanie spływów burzowych i ścieków komunalno-przemysłowych. Lokalnie nadmierne stężenia OLM są następstwem transportu wodnego, spływu z terenów warsztatów samochodowych i stacji paliwowych (wycieki olejów i smarów), z miejsc impregnacji drewna i ich zastosowania (umocnienia nadbrzeży).

PCB POLICHLOROWANE BIFENYLE

Gleby: [tabl. 78](#), [tab. 8](#)

Polichlorowane bifenyleny w środowisku pochodzą jedynie ze źródeł antropogenicznych.

W zbadanych glebach PCB występują w niskich zawartościach, najczęściej <3,4 µg/kg, choć obecność co najmniej jednego z kongenerów PCB wykryto w 71,10% analizowanych próbek.

Największa anomalia PCB znajduje się na prawym brzegu Wisły, na obszarze ciągnącym się od Gocławia po Żerań i Ząbki. Maksymalne zawartości sumy PCB odnotowano na terenie osiedla Blizne w rejonie ulicy Hubala-Dobrzańskiego (221,8 µg/kg) oraz na Gocławiu (180,6 µg/kg).

Mniej rozległe obszary gleb zanieczyszczonych związkami PCB (>6 µg/kg) obejmują część terenu Woli i Ochoty oraz Anina. Lokalne anomalie występują też w kilku innych miejscach na terenie miasta.

Poza granicami Warszawy anomalie PCB występują na terenie Piaseczna i Kobyłki.

Zanieczyszczenia związkami PCB stwierdzono w glebach o różnym użytkowaniu. Ale wyższymi przeciętnymi zawartościami PCB (średnie geometryczne) charakteryzują się gleby terenów przemysłowych (1,6 µg/kg) i miejskich (1,2 µg/kg) w porównaniu do terenów wiejskich (<0,7 µg/kg). Dla porównania warto przytoczyć wyniki badań gleb Londynu, gdzie stwierdzono do 750 µg/kg PCB, średnio 22 µg/kg (Vane i in., 2010).

Obecność PCB w glebach Warszawy i okolic jest przede wszystkim następstwem ich depozycji atmosferycznej pochodzącej ze źródeł lokalnych – spalania węgla oraz odpadów komunalnych i szpitalnych.

Źródłem PCB w glebach mogą być także niekontrolowane wycieki z transformatorów stacjonarnych i używanych w pociągach (Bentum i in., 2012; Wiłkomirski i in., 2012; Vane i in., 2014), wycieki z miejsc ich produkcji i składowania (Kalinovich i in., 2008; Danielovič i in., 2014) oraz stosowanie ich w budowlanych masach uszczelniających (Herrick i in., 2007)

Osady: [tabl. 78](#), [tab. 9](#)

W osadach stwierdzono zawartość PCB w zakresie od <0,7 do 118,7 µg/kg. Obecność chociaż jednego ze zbadanych kongenerów PCB wykryto w 61,75% zbadanych osadów.

W osadach zawartością niższą od 20 µg/kg charakteryzuje się 98,50% zbadanych próbek. Zawartość wyższą od 60 µg/kg (wartość TEC) stwierdzono tylko w dwóch miejscach: w osadach Starej Wisły na Gocławiu (118,7 µg/kg) i w osadach Kanału Zagoździańskiego na zachód od Falenicy (63,3 µg/kg).

Podwyższonymi zawartościami PCB wyróżniają się osady Rowu Opaczewskiego (4,1 µg/kg), Wilanówki (4,1 µg/kg), Raszynki (3,4 µg/kg) i Kanału Żerańskiego (3,0 µg/kg).

Osady cieków w zlewniach Utraty, Łasicy i Jeziorki charakteryzują się częstszym występowaniem podwyższonych zawartości PCB w porównaniu do osadów w zlewniach Świdra, Długiej i Czarnej.

Polichlorowane bifenyle w najniższych zawartościach występują w osadach piaszczystych (<0,7 µg/kg), a w najwyższych – w szlamach organicznych (2,0 µg/kg).

WWA WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE

Gleby: [tabl. 79](#), [tab. 10](#)

W zbadanych glebach stwierdzono zawartość WWA w zakresie od <41 do 77 143 µg/kg (mediana 818 µg/kg).

Większość gleb lewobrzeżnej Warszawy oraz część gleb dzielnic prawobrzeżnych charakteryzuje się podwyższoną lub wysoką zawartością WWA (>2110 µg/kg).

Bardzo wysokie zawartości WWA stwierdzono w pobliżu linii kolejowej na Woli (47 451–77 143 µg/kg), w glebach zanieczyszczonych także olejami mineralnymi, w pobliżu skrzyżowania ulic

Okopowej i Dzielnej (23 170 µg/kg) oraz przy ulicy Redutowej (21 042 µg/kg). W otoczeniu Jeziora Wilanowskiego gleby zawierają do 53 190 µg/kg WWA, przy ul. Żwirki i Wigury do 23 288 µg/kg, a w rejonie stacji kolejowej we Włochach do 20 784 µg/kg.

Na niektórych terenach przemysłowych i poprzemysłowych na Pradze Północ zawartości WWA w glebach dochodzą do 38 775 µg/kg.

Poza granicami miasta wysokie zawartości WWA stwierdzono w Łomiankach (do 40 769 µg/kg), w Babicach (do 31 980 µg/kg) oraz w Markach (do 17 162 µg/kg).

Zawartością WWA niższą od 1000 µg/kg charakteryzuje się 56,79% zbadanych próbek, a zawartością w zakresie 1–250 µg/kg – 43,20%.

Podobnie jak w przypadku OLM, bardzo wysokie zawartości WWA odnotowano w glebach na terenach różnie użytkowanych. Najwyższą zawartością WWA wyróżniają się gleby antropogeniczne z terenów zabudowanych i przemysłowych, a najniższą tereny wiejskie.

Średnia zawartość WWA w glebach użytkowanych rolniczo w Polsce wynosi 395 µg/kg (Maliszewska-Kordybach i in., 2008), a w glebach terenów uprzemysłowionych (w pobliżu elektrowni, hut miedzi i aluminium, koksowni i starych gazowni) może dochodzić do kilkudziesięciu tysięcy µg/kg (Wcisło, 1998; Lis i in., 1999; Bojakowska, 2005).

Odnotowane zawartości WWA w glebach Warszawy są wyższe niż w glebach Glasgow, ale zbliżone do zawartości w Valasske Mezirici w Czechach i Londynie (Morillo i in., 2007; Placha i in., 2009; Vane i in., 2014).

WWA występujące w glebach na terenach zurbanizowanych pochodzą ze źródeł naturalnych i antropogenicznych. W analizowanych glebach pochodzą głównie zespalań paliw płynnych w silnikach samochodowych i samolotowych oraz wycieków przy ich transporcie i magazynowaniu.

Osady: [tabl. 79](#), [tab. 11](#)

W osadach zawartością WWA niższą od 1610 µg/kg (wartość TEC) charakteryzowało się 76,70% próbek, a w 6 miejscach wykryto stężenie wyższe od wartości PEC (22 800 µg/kg). 826

Maksymalną zawartość WWA (33 158 µg/kg) wykryto w osadach stawu w Józefowie. Zanieczyszczone są także osady Kanału Królewskiego (w zlewni rzeki Czarnej) na terenie przemysłowym (29 085 µg/kg), niewielkiego stawu w zlewni Jeziora na północ od miejscowości Opacz (25 493 µg/kg), Stawu Raszyńskiego (24 448 µg/kg), Rowu Natolińskiego (24 973 µg/kg) oraz Kanału Czerniakowskiego na terenie Ujazdowa (23 826 µg/kg).

Osady bogate w materię organiczną wyróżniają się najwyższymi zawartościami WWA. Średnia geometryczna ich zawartości w szlamach organicznych wynosi 1753 µg/kg, w osadach mułkowych 898 µg/kg, a w osadach piaszczystych 234 µg/kg.

Przyczyną podwyższonej zawartości WWA w osadach jest przede wszystkim emisja tych związków ze spalania węgla w gospodarstwach domowych i elektrowniach oraz ze spalania paliw przez transport samochodowy i samolotowy.

PODSUMOWANIE

Gleby. Podjęta próba oceny sumarycznego zanieczyszczenia gleb ma na celu zwrócenie uwagi na rejony, które powinny być poddane remediacji, po wcześniejszym dodatkowym badaniu, z gęstością opróbowania odpowiednią dla takich działań (w skalach szczegółowych). Skumulowanie w glebach niektórych pierwiastków, nawet w stosunkowo niewielkich ilościach, może powodować zarówno uszkodzenia roślin pobierających składniki pokarmowe, jak i choroby ludzi oraz zwierząt, pochłaniających cząstki kurzu drogą pokarmową i oddechową.

Analiza składu granulometrycznego, odczynu oraz zawartości badanych pierwiastków i związków w glebach, pochodzących z dwóch zakresów głębokości, pozwoliła na oszacowanie wpływu czynników naturalnych (geologicznych) i/lub antropogenicznych na ich kumulację na terenie Warszawy i okolic.

Do głównych czynników naturalnych należą: rodzaj i skład chemiczny skał macierzystych gleb, właściwości chemiczne poszczególnych pierwiastków, topografia terenu i warunki hydrogeologiczne. Najważniejsze czynniki antropogeniczne prowadzące do zanieczyszczenia gleb to emisje przemysłowe i transportowe, składowanie i spalanie odpadów oraz odprowadzanie ścieków.

Na całym obszarze w granicach arkusza skład chemiczny gleb jest zależny przede wszystkim od litologii skał macierzystych i jest wyraźnie odmienny w jego wschodniej i zachodniej części.

We wschodniej i północnej części arkusza przeważają gleby piaszczyste, wykształcone na piaskach i żwirach rzecznych tarasów nadzalewowych i tarasu erozyjno-akumulacyjnego warszawsko-błońskiego Wisły bądź na piaskach eolicznych i piaskach rzecznych. Znaczny procent gleb piaszczystych stanowi podłoże dla zbiorowisk leśnych. Cechują się one zazwyczaj odczynem kwaśnym i zawierają większość oznaczanych składników w zakresie regionalnego tła geochemicznego.

W miejscach podmokłych, pokrytych glebami torfowymi, zaznacza się naturalne wzbogacenie gleb w węgiel organiczny i siarkę. Do tej grupy należą gleby lasów na pograniczu Wawra i gminy Wiązowna, Wawra i Góraszki (bagno Biały Ług), Wesolej (Macierowe Bagno), a także lokalnie na terenach leśnych Bemowa.

Gleby łąkowe, rozwinięte na torfach i namulach bogatych w substancję organiczną, występujące na Białoleńcu i Targówku, w Wawrze oraz w dolinie Długiej (w rejonie Okuniewa i Ossowa) są naturalnie wzbogacone w arsen, żelazo, mangan, fosfor i siarkę.

Szczególną grupę stanowią mady, rozwinięte głównie z holocenijskich utworów aluwialnych tarasów zalewowych doliny Wisły. Charakteryzują się podwyższonymi zawartościami wielu pierwiastków. Ich odczyn jest obojętny w warstwie powierzchniowej i alkaliczny w warstwie głębszej. Wzbogacenie gleb aluwialnych w glin, bar, wapń, kobalt, chrom, żelazo, magnez, mangan, nikiel, siarkę, stront, wanad i cynk jest naturalne. W niewielkim stopniu są one zanieczyszczone antropogenicznie przez arsen i kadm.

W części zachodniej i południowo-zachodniej obszaru arkusza dominują gleby gliniaste i gliniasto-piaszczyste utworzone z glin lodowcowych, utworów wodnolodowcowych, eluwialnych i namulów. Większość tych gleb (w obydwu zakresach głębokości) jest wyraźnie wzbogacona w glin, arsen, wapń, kobalt, chrom, magnez, mangan, nikiel, stront, tytan i wanad, których źródłem są skały macierzyste. Najwięcej analizowanych pierwiastków kumulują gleby o odczynie alkalicznym, utworzone na lessopodobnych utworach zwietrzelinowo-eolicznych ciągnących się szerokim pasem od zachodnich obrzeży Warszawy w stronę Ożarowa Mazowieckiego.

W rejonach przemysłowych i zurbanizowanych (Warszawa i mniejsze miasta) w glebach warstwy powierzchniowej występują anomalie antropogeniczne baru, kadmu, miedzi, chromu, rtęci, ołowiu i cynku. Najważniejszymi źródłami zanieczyszczenia tych gleb są opady pyłów emitowanych przez zakłady przemysłowe i energetyczne, środki transportu kolejowego i drogowego oraz odcieki ze składowisk odpadów.

Dużą rolę w zanieczyszczeniu gleb Warszawy odegrały liczne zakłady przemysłowe, dziś już nieistniejące, a funkcjonujące w czasach, gdy dbałość o ochronę środowiska prawie nie istniała. Gleby warstwy powierzchniowej najsilniej zanieczyszczone miedzią, rtęcią, ołowiem i cynkiem występują w Śródmieściu, na Woli oraz na pograniczu Pragi Północ, Pragi Południe i Targówka (Kamionek, Targówek Fabryczny, Nowa i Stara Praga). W głębszej warstwie gleb zasięg anomalnych zawartości wymienionych metali jest bardzo podobny, co świadczy o łatwym przemieszczaniu się zanieczyszczeń w głąb profili.

Na terenach przemysłowych i w pobliżu tras komunikacyjnych występują lokalne anomalie antropogeniczne. Do najważniejszych w warstwie powierzchniowej gleb należą anomalie:

- arsenu, kadmu, kobaltu, chromu, miedzi, żelaza, magnezu, manganu, niklu, ołowiu, tytanu, wanadu i cynku na terenie huty ArcelorMittal,
- baru, wapnia, kobaltu, miedzi, strontu, tytanu i cynku w sąsiedztwie zakładów farmaceutycznych Polfa Tarchomin,
- baru, kadmu, kobaltu, chromu, ołowiu, strontu, tytanu i cynku na terenie przemysłowo-magazynowym dawnego Służewca Przemysłowego,
- baru, magnezu, strontu i wanadu w sąsiedztwie składowisk odpadów paleniskowych elektrociepłowni na Żeraniu i w Zawadach,
- wapnia, strontu, siarki i tytanu na terenie dawnej cementowni Warszawa.
- W głębszej warstwie analizowanych gleb stwierdzono anomalie:
 - chromu i niklu na terenie przemysłowym Żerania (w pobliżu dawnego FSO i elektrociepłowni),
 - arsenu, żelaza, manganu, fosforu i siarki w Parku Henrykowskim na Tarchominie.

Wierzchnie warstwy gleb terenów przemysłowych i zurbanizowanych są lokalnie zanieczyszczone przez oleje mineralne i związki WWA, pochodzące z emisji silników samochodowych oraz miejsc magazynowania, transportu i przetwórstwa paliw płynnych.

Charakterystyczną cechą badanych gleb Warszawy jest ich alkaliczny odczyn, spowodowany głównie przez opad pyłów emitowanych przez zakłady przemysłowe. Znacznie szerszy zasięg występowania gleb silnie alkalicznych na głębokości 0,8–1,0 m w porównaniu z glebami powierzchniowymi ma związek zarówno z przemieszczaniem się emitowanych związków magnezu i wapnia w głąb profili glebowych, jak i z występowaniem nasypów antropogenicznych z dużym udziałem gruzu (w centrum Warszawy).

Lokalne zanieczyszczenia gleb występują na terenach parków i ogródków działkowych. Wyróżniają się one największymi zawartościami baru, chromu, miedzi, żelaza, rtęci, niklu, fosforu, ołowiu, siarki i cynku oraz pestycydów chloroorganicznych. Ich obecność w glebach jest zarówno rezultatem zabiegów agrotechnicznych (nawożenie i stosowanie preparatów ochrony roślin), jak i opadu pyłów przemysłowych i komunikacyjnych.

Na szczególną uwagę zasługuje zanieczyszczenie gleb parków, ogródków działkowych i pól uprawnych związkami DDT. Największa obszarowo anomalia zawartości sumy DDT występuje na Pradze Południe (na terenie Parku Skaryszewskiego i pobliskich ogródków działkowych). Na

polach uprawnych w rejonie Łomianek, Henrykowa, Marek i w dolinie Wisły występuje przewaga zawartości p,p'DDT nad jego metabolitami, wskazująca na niedawne wprowadzenie tych związków do gleb.

Klasyfikacja gleb, wskazująca właściwy sposób ich użytkowania. Dla gleb warstwy powierzchniowej wykonano ocenę stopnia zanieczyszczenia metalami oraz związkami organicznymi, klasyfikując je do grup użytkowania A, B i C na podstawie zawartości dopuszczalnych (Rozporządzenie..., 2002). Przy klasyfikacji sumarycznej stosowano zasadę zaliczania gleby do danej grupy, gdy zawartość co najmniej jednego pierwiastka/związku przekraczała dolną wartość dopuszczalną dla tej grupy.

Ze względu na zawartość metali klasyfikacja prezentuje się dość korzystnie. Aż 72,47% badanych gleb zaliczono do grupy A, 20,11% do grupy B, a 6,77% do grupy C. Przekroczenia dopuszczalnych stężeń metali dla grupy C (głównie cynku, miedzi i ołowiu) stwierdzono dla 0,65% gleb ([tab. 12](#)). Gleby zaliczone do grup A lub B spełniają warunki wielofunkcyjnego użytkowania i są w większości wykorzystywane prawidłowo. Znaczny jest udział gleb zaliczonych do grupy A nawet na terenach zurbanizowanych ([tabl. 80](#)), a gleby terenów leśnych (w tym Kampinoskiego Parku Narodowego) w większości spełniają normy przewidziane dla obszarów chronionych. Gleby zaliczone do grupy C, a także wykazujące przekroczenia dopuszczalnych stężeń metali dla tej grupy występują lokalnie w dzielnicach uprzemysłowionych (obecnie lub w przeszłości) oraz na terenach o gęstej zabudowie.

Znacznie mniej korzystnie przedstawia się klasyfikacja gleb warstwy powierzchniowej pod względem zawartości związków organicznych. Tylko 16,74% badanych gleb zaliczono do grupy A, 22,22% do grupy B i 57,04% do grupy C ([tab. 13](#)). Dla 4,05% gleb stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych stężeń związków organicznych dla grupy C (głównie ze względu na zawartość sumy związków DDT i jego metabolitów). Gleby zaklasyfikowane do grupy C (lub wykazujące przekroczenia dopuszczalnych stężeń przewidzianych dla tej grupy) występują na terenach o zwartej zabudowie, uprzemysłowionych bądź w sąsiedztwie tras komunikacyjnych. Punktowo zanieczyszczone są tereny miejskie o niskiej i rzadszej zabudowie, zieleńce miejskie, pola i lasy. W wielu przypadkach wysoka zawartość związków organicznych (DDT, WWA i olejów mineralnych) kwalifikuje do grupy C glebę, która pod względem zawartości metali spełnia normy przewidziane dla grupy A lub B.

Osady. Osady denne cieków i zbiorników z obszaru Warszawy i okolic cechują się bardzo zróżnicowanym chemizmem, uzależnionym zarówno od rodzaju podłoża geologicznego, jak i czynników antropogenicznych.

Osady zbiorników i cieków drenujących tarasy zalewowe Wisły (w tym największej Wilanówki) wyróżniają się dużym udziałem glinu, baru, wapnia, kobaltu, żelaza, magnezu, manganu, niklu, fosforu, siarki i wanadu – pierwiastków pochodzenia naturalnego, w które obfitują osady aluwialne. Na zawartość w nich baru i fosforu wpływa także antropopresja.

Osady Jeziorki i Wilanówki (cieki te stanowiły jedną rzekę do połowy lat 50. XX w.) zostały zanieczyszczone antropogenicznie przez srebro, bar, kadm, ołów i cynk. Na ich stan wpływały ścieki bytowo-gospodarcze z terenu Konstancina i Jeziorny, z oczyszczalni w Piasecznie oraz ścieki przemysłowe z zakładów elektronicznych Thomson (dawny Polkolor) i zakładów papierniczych funkcjonujących przez 250 lat.

Na terenach zachodnich peryferii Warszawy, pokrytych osadami zwietrzelinowo-eolicznymi (częściowo lessopodobnymi), osady cieków i zbiorników cechują się naturalnie podwyższonymi zawartościami wapnia i magnezu.

Antropogenicznym źródłem anomalnych zawartości oznaczanych składników w osadach wielu cieków i zbiorników wód stojących są różnego rodzaju ścieki przemysłowe i bytowo-gospodarcze.

Do silnie zanieczyszczonych wieloma pierwiastkami (głównie w przeszłości) należą osady kanałów Bródnowskiego Górnego i Henrykowskiego. Kanał Bródnowski Górny, odprowadzający ścieki z zakładów przemysłowych Targówka Fabrycznego od połowy XIX w. do czasów współczesnych, znajduje się też pod wpływem emisji ciepłowni Kawęczyn oraz spalarni odpadów. Kanał Henrykowski do połowy lat 70. XX w. odbierał ścieki farmaceutyczne z zakładów Polfa Tarchomin (o ponad 150-letniej historii), a prawdopodobnie także z ulokowanych w sąsiedztwie fabryk tworzyw sztucznych, kosmetyków i aromatów spożywczych.

Zanieczyszczenie metalami (srebrem, kadmem, chromem, miedzią, tytanem i cynkiem) osadów Potoku Służewieckiego jest prawdopodobnie spuścizną po zakładach przemysłu elektronicznego i elektrotechnicznego dawnego Służewca Przemysłowego, działających przez kilkadziesiąt lat. Ponadto osady te są nadal zanieczyszczane przez ścieki deszczowe z oczyszczalni lotniska Chopina oraz nieoczyszczone ścieki deszczowe z obszarów Ursynowa, Mokotowa i Wilanowa. Do Potoku Służewieckiego trafiają również zanieczyszczenia z terenów budowy na obszarze Miasteczka Wilanów.

Podwyższone zawartości arsenu, baru, kobaltu, żelaza, manganu, fosforu i strontu w osadach Rowu z Lawendowa na Białołęce mogą być częściowo naturalne (spowodowane drenażem podmokłych gleb łąkowych), a częściowo pochodzą ze ścieków i spływów z terenów budowanych osiedli.

Osady Rowu Opaczewskiego (o maksymalnej zanotowanej zawartości miedzi) i anomalnych zawartościach chromu i cynku zostały prawdopodobnie zanieczyszczone przez spływy z torów linii kolejowej WKD i ścieki deszczowe z dzielnicy Włochy.

Osady cieków odwadniających tereny wiejskie (zlewnie Świdra, Długiej i Czarnej) zawierają analizowane składniki w granicach tła geochemicznego.

Do nieznacznie zanieczyszczonych należą osady Wisły, zawierające podwyższone ilości magnezu, wapnia, kadmu, kobaltu, manganu i strontu.

W większości osadów powszechna jest obecność związków DDT i ich metabolitów, w następstwie ich intensywnego stosowania w przeszłości na polach uprawnych, w leśnictwie, w parkach i ogródkach działkowych. Najsilniej zanieczyszczone tymi związkami są osady zlewni Łasicy, Wilanówki i Jeziorki (skażone też związkami PCB, WWA i olejami mineralnymi) oraz zlewni Raszynki.

Wody. Na skład chemiczny wód powierzchniowych badanego obszaru ma wpływ zarówno chemizm podłoża, jak i sposób użytkowania terenu w danej zlewni.

Analizowane wody w zdecydowanej większości (79,8%) mają odczyn słabo zasadowy. Wody kwaśne, słabo kwaśne i obojętne występują głównie w południowej części badanego obszaru (Wilanów, Ursynów, Konstancin-Jeziorna i Raszyn) oraz na terenach leśnych (Puszcza Kampinoska, lasy okolic Rembertowa i Otwocka).

Przewodność elektrolityczna właściwa wskazuje na niewielki stopień zasolenia i zanieczyszczenia wód (87% spełnia warunki normy dla I klasy jakości, a 9% dla klasy II). Największą przeciętną przewodnością charakteryzują się wody zlewni Łasicy.

W rozkładzie stężeń analizowanych pierwiastków zaznacza się zróżnicowanie regionalne. W ciekach i zbiornikach w zachodniej części zlewni Wisły, gdzie w podłożu występują utwory bogate w minerały ilaste, wody są wzbogacone w bor, uran i wanad. Po wschodniej stronie Wisły (w zlewni Świdra, Czarnej i kanału Nowe Ujście) wody obfitują w glin i żelazo, pochodzące również ze źródeł naturalnych.

Wysoką przewodnością i podwyższonymi stężeniami wielu pierwiastków cechują się wody stawów pozostałych po dawnych gliniankach i fosy XIX-wiecznych fortów z terenu lewobrzeżnej Warszawy. Są zazwyczaj wzbogacone w bor, bar, wapń, chlor, wodorowęglany, lit, magnez, sód, siarczany, krzemionkę, stront i uran. Szczególnie zanieczyszczonymi wodami odznaczają się Bernardyńska Woda oraz fosy przy fortach Piłsudskiego i Czerniakowskim na Mokotowie. Wody

stawu Jeziorzec na Bemowie są zanieczyszczone przez sól, chlor, molibden i antymon.

W lewostronnej części zlewni Wisły wyraźnie zanieczyszczone wody występują lokalnie w niewielkich rowach i kanałach. Wody rowu na Paluchu zawierają podwyższone stężenia wapnia, potasu, litu, wodorowęglanów, magnezu, siarczanów, krzemionki, strontu i uranu. Dużą zawartość bromu, litu, potasu, wodorowęglanów, manganu i krzemionki stwierdzono w wodach rowu opaskowego składowiska Radiowo.

W północnej części Warszawy podwyższone stężenia wielu składników zanotowano w wodach Rudawki, Łachy Potockiej oraz dopływów Lipkowskiej Wody z rejonu huty ArcelorMittal i z rejonu Wólki Węglowej. Wody Kanału Młocińskiego wyróżniają się maksymalną zawartością wanadu, a także wysokim udziałem arsenu, antymonu i talu.

Największymi stężeniami miedzi, podobnie jak w przypadku osadów, charakteryzują się wody Rowu Opaczewskiego.

W Warszawie prawobrzeżnej duże stężenia niektórych składników zanotowano w wodach kilku kanałów. W wodach Kanału Henrykowskiego (prawdopodobnie zanieczyszczonych głównie ściekami przemysłowymi) stwierdzono duże zawartości arsenu, baru, bromu, wapnia, kadmu, chloru, kobaltu, miedzi, fluoru, wodorowęglanów, manganu, molibdenu, sodu, jonów amonowych, niklu, siarczanów, antymonu, krzemionki, strontu, uranu, wanadu i cynku. W wodach Kanału Bródnowskiego Górnego zarejestrowano podwyższone zawartości manganu, molibdenu, niklu, antymonu i strontu, pochodzące z emisji ciepłowni Kawęczyn oraz spalarni odpadów. Zanieczyszczenie wód kanału Magenta w Rembertowie, powodowane zrzutem ścieków z oczyszczalni, manifestuje się wysokimi stężeniami glinu, kobaltu, azotanów, fosforu, wanadu i jonów amonowych.

Poza zachodnią granicą Warszawy podwyższonymi stężeniami pierwiastków wyróżniają się dopływy Strugi i Lipkowskiej Wody (należące do zlewni Łasicy). Wody dopływu Strugi spod Bemowa obfitują w miedź, potas, lit, magnez, molibden, sól, uran, cynk, chlor, fluor i wodorowęglany.

Wody rzeki Żbikówki (nazywanej też kanałem Konotopy) są zanieczyszczone przez ścieki zakładów przemysłowych, kanalizacji burzowej Ursusa, Piastowa i Pruszkowa oraz spływami z autostrady A2. Zawierają znaczne ilości kadmu, magnezu, molibdenu, niklu, azotanów, siarczanów, uranu, wanadu i cynku.

Wody południowych i zachodnich obszarów peryferyjnych Warszawy (terenów rolniczych lub porolniczych) w zlewniach Utraty, Jeziorki i Łasicy są zanieczyszczone przez azotany i fosfor.

Wody Wisły obfitują w miedź, lit i stront, zawierają podwyższone stężenia bromu, manganu, niklu, ołowiu, sodu, chloru, a także są wyraźnie zanieczyszczone przez tal. Źródła zanieczyszczeń tymi pierwiastkami można upatrywać w odległych zrzutach wód kopalnianych i ściekach zakładów przemysłowych w górnej części zlewni (głównie na Górnym Śląsku).

Przeważająca większość zbadanych wód spełnia wartości norm dla I lub II klasy jakości wód pod względem zawartości glinu, węgla organicznego, wapnia, chloru, miedzi, magnezu, jonu amonowego, fosforu, siarczanów oraz pod względem wskaźnika ChZT. Zaś wszystkie wody należą do I klasy pod względem zawartości arsenu, baru, boru, chromu, kobaltu, fluoru, molibdenu, talu, wanadu i cynku.

LITERATURA

- AKPAN G.U., UDOH B.T., 2013 — Evaluation of some properties of soils affected by diesel oil pollution in Uyo, Niger Delta Area, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, **3**, 8.
- ALVES C., GONÇALVES C., EVTYUGINAM., PIOC., MIRANTEF., PUXBAUMH., 2010 — Particulate organic compounds emitted from experimental wildland fires in a Mediterranean ecosystem. *Atmospheric Environment*, **44**,23: 2750.
- BARANIECKA M.D., 1975 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Otwock (561). Inst. Geol., Warszawa.
- BARANIECKA M.D., 1976 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Otwock (561). Inst. Geol., Warszawa.
- BARBUSIŃSKI K., NOCOŃ W., NOCOŃ K., KERNERT J., 2012 — Rola zawiesin w transporcie metali ciężkich w wodach powierzchniowych na przykładzie Kłodnicy. *Ochr. Środ.*, **34**, 2: 33–39.
- BATTA Y., ZATAR N., SADEQ N., 2006 — Detection of endosulfan residues in the soil of Western Jordan Valley. *Jordan J. Agricult. Sci.*, **2**, 1: 57–64.
- BAZA danych. Osady, GIOŚ. Dane za lata 2010–2013.
- BENTUM J.K., DODOO D.K., KWAKYE P.K., 2012 — Accumulation of metals and polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils around electric transformers in the Central Region of Ghana. *Advances in Appl. Sci. Res.*, **3**, 2: 634–643.
- BOJAKOWSKA I., 1994 — Wpływ czynnika antropogenicznego na procesy geochemiczne w powierzchniowych warstwach litosfery. *Instr. Met. Bad. Geol.*, **53**.
- BOJAKOWSKA I., 2005 — PAH spectrum in soils of industrial areas. *Pol. Geol. Inst. Sp. Papers*, **17**: 9–16.
- BOJAKOWSKA I., LECH D., JAROSZYŃSKA J., 2012 — Metale ciężkie w osadach Potoku Służewieckiego w Warszawie (Polska). *Górnictwo i Geologia*, **7**, 2: 71–83.
- BOJAKOWSKA I., LECH D., PASIECZNA A., 2007 — Arsen i antymon w węglach kamiennych i brunatnych ze złóż polskich. *Ochr. Środ. Zas. Nat.*, **31**: 522–527.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G., 2001 — Rtęć w kopalinach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **349**: 5–54.
- CAPACCIONI B., MARTINI M., MANGANI F., 1995 — Light hydrocarbons in hydrothermal and magmatic fumaroles: hints of catalytic and thermal reactions. *Bull. Volcanol.*, **56**, 8: 593–600.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., 1991 — Stan zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem i miedzią gleb Warszawy. *Rocz. Glebozn.*, **42**, 1/2: 49–56.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., KOZANECKA T., LATUSZEK B., SZAFRAŃSKA E., 1983 — Heavy metals in soils as indicator of urbanization. *Pol. Ecol. Stud.*, **9**: 63–70.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., MAJCHRZAK B., 1992 — Spatial distribution of lead, zinc, cooper and manganese in Pabianice soils. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. — SGGW Agricult.*, **24**: 27–32.
- CZARNOWSKA K., WALCZAK J., 1988 — Distribution of zinc, lead and manganese in soils of Łódź city. *Rocz. Glebozn.*, **39**, 1: 19–27.

- DANE o Warszawie. Urząd Statystyczny w Warszawie. Internet: <http://warszawa.stat.gov.pl/dane-owojewodztwie/stolica-województwa/>
- DANE powiatowe — województwo mazowieckie. Podregiony, powiaty, gminy, 2014. Urząd Statystyczny w Warszawie. Internet: <http://warszawa.stat.gov.pl/dane-owojewodztwie/powiaty>
- DANIELOVIČ I., HECL J., DANILOVIČ M., 2014 — Soil contamination by PCBs on a regional scale: the case of Strážske, Slovakia. *Pol. J. Environ. Stud.*, **23**, 5: 1547–1554.
- DE VOS W., TARVAINEN T. (red.), 2006 — Geochemical atlas of Europe. Part II. Geological Survey of Finland, Espoo.
- DMUCHOWSKI W., GWOREK B., GOZDOWSKI D., BACZEWSKA A., MACIASZEK D., 2011 — Ocena zmian zanieczyszczenia powietrza ołowiem, cynkiem i chromem w rejonie huty stali w Warszawie w latach 1993–2008. *Przem. Chem.*, **90**, 2: 218–221.
- DOJLIDO J., 1995 — Chemia wód powierzchniowych. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- DYREKTYWA Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/UE z dnia 12 sierpnia 2013 r. zmieniająca dyrektywy 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 24.8.2013.
- ENCYKLOPEDIA Warszawy, 1975. PWN, Warszawa.
- EUROPEJSKA SIEĆ NATURA 2000, 2015. Internet: <http://zielona.um.warszawa.pl/tereny-zielone/obszary-i-objekty-chronione/europejska-siec-natura-2000>
- FRANKOWSKI Z., BAŻYŃSKI J., ZAWADZKI R., LEWKOWICZ M., SMAGAŁA S., WYSOKIŃSKI L., MAJER E., ŁUKASIK S., FILIPOWICZ A., SOBIECH J., 2000 — Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. NAG PIG-PIB, Warszawa.
- GRYNKIEWICZ M., POLKOWSKA Z., GÓRECKI T., NAMIEŚNIK J., 2003—Pesticides in precipitation from an urban region in Poland (Gdańsk–Sopot–Gdynia Tricity) between 1998 and 2000. *Water Air Soil Poll.*, **149**, 1/4: 3–16.
- HARVEY R., 1998 — Environmental chemistry of PAHs. *W: PAHs and related compounds*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- HERRICK R.F., LEFKOWITZ D.J., WEYMOUTH G.A., 2007 — Soil contamination from PCB-containing buildings. *Environ. Health Perspect.*, **115**, 2: 173–175.
- HISTORIA zakładów Polfa Tarchomin S.A., 2015. Internet: <http://www.polfa-tarchomin.com.pl/index.php/ofirmie/historia/>
- HOLOUBEK I., DUSEK L., SÁNKA M., HOFMAN J., CUPR P., JARKOVSKÝ J., ZBÍRAL J., KLÁNOVÁ J., 2009 — Soil burdens of persistent organic pollutants — their levels, fate and risk. Part I. Variation of concentration ranges according to different soil uses and locations. *Environ. Poll.*, **157**, 12: 3207–3217.
- HOWSAM M., JONES K., 1998 — Sources of PAHs in the environment. *W: PAHs and related compounds*: 137–174. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- JIA H., LIU L., SUN Y., SUN B., WANG D., SU Y., KANNAN K., LI Y.F., 2010 — Monitoring and modeling endosulfan in Chinese surface soil. *Environ. Sci. Technol.*, **44**, 24: 9279–9284.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A.B., 2007 — Trace elements from soil to human. Springer, Berlin.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999 — Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., FILIPIAK K., KRAKOWIAK A., PIETRUCH C., 1995 — Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., SZTEKE B., 2012 — Pierwiastki śladowe w geo- i biosferze. IUNG-PIB, Puławy.
- KALINOVICH I., RUTTER A., POLAND J.S., CAIRNS G., ROWE R.K., 2008 — Remediation of PCB contaminated soils in the Canadian Arctic: excavation and surface PRB technology. *Sci. Total Environ.*, **407**: 53–66.
- KANNAN K., MARUYA K., TANABE S., 1997 — Distribution and characterization of polychlorinated biphenyl congeners in soil and sediments from a superfund site contaminated with Aroclor 1268. *Environ. Sci. Technol.*, **31**, 5: 1483–1488.
- KLECZKOWSKI A.S., RÓŻKOWSKI A. (red.), 1997 — Słownik hydrogeologiczny. TRIO, Warszawa.
- KONDRACKI J., 2009 — Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KOSTRZ-SIKORA P., BOJAKOWSKA I., WOŁKOWICZ S., DOBEK P., LECH D., NARKIEWICZ W., 2015 — Anthropogenic sediments from facultative lagoons of the Konstancin-Jeziorna sewage treatment facility and their usability for soil recultivation. *Geol., Geoph. Environ.*, **41**, 2: 177–185.
- KRASUCKI M., 2009 — Katalog warszawskiego dziedzictwa postindustrialnego. Fundacja Heritas, Warszawa. Internet: http://www.fundacja-heritas.pl/files/katalog_warszawa_1.pdf
- KRZYWICKI T., 2013 — Skarpa Warszawska. *W: Zrozumieć Ziemię. Konspekt lekcyjno-ćwiczeniowy*: 140–185. PIG-PIB, Warszawa.
- KUMAR B., MISHRA M., VERMA V.K., KUMAR S., SHARMA C.S., 2013 — Distribution of dichlorodiphenyltrichloroethane and hexachlorocyclohexane in urban soils and risk assessment. *J. Xenobiotics*, **3**.

- LIN T., HU Z., ZHANG G., LI X., XU W., TANG J., LI J., 2009 — Levels and mass burden of DDTs in sediments from fishing harbors: the importance of DDT-containing antifouling paint to the coastal environment of China. *Environ. Sci. Technol.*, **43**, 21: 8033–8038.
- 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.
- LIS J., PASIECZNA A., 1998a — Atlas geochemiczny aglomeracji szczecińskiej 1:200 000. Cz. I. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1998b — Atlas geochemiczny aglomeracji łódzkiej 1:100 000. Cz. I. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 2005 — Atlas geochemiczny Poznania i okolic 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T., FRANKOWSKI Z., PASŁAWSKI P., POPIOŁEK E., SOKOŁOWSKA G., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., 1999 — Atlas geochemiczny legnicko-głogowskiego okręgu miedziowego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MACDONALD D., INGERSOLL C., BERGER T., 2000 — Development and evaluation of consensus-based sediment development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.*, **39**: 20–31.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B., SMRECZAK B., KLIMKOWICZ-PAWLAS A., 2014 — Evaluation of the status of contamination of arable soils in Poland with DDT and HCH residues; national and regional scales. *Pol. J. Environ. Stud.*, **23**, 1: 139–148.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B., SMRECZAK B., KLIMKOWICZ-PAWLAS A., TERELAK H., 2008 — Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland. *Chemosphere*, **73**, 8: 1284–1291.
- MONITORING jakości gleb i ziemi na terenie powiatu wołomińskiego, 2006. PIG-PIB, Warszawa.
- MONITORING rzek w latach 2010–2014, 2015. Internet: www.wios.warszawa.pl
- MORAWSKI W., 1979 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Warszawa Zachód (523). Inst. Geol., Warszawa.
- MORAWSKI W., 1980 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Warszawa Zachód (523). Inst. Geol., Warszawa.
- MORAWSKI W., 2008 — Objasnienia do Mapy Geologicznej Polski 1:200 000, ark. Warszawa Zachód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MORAWSKI W., 2011 — Objasnienia do Mapy Geologicznej Polski 1:200 000, ark. Warszawa Wschód. PIG-PIB, Warszawa.
- MORAWSKI W., NOWACKA M., 2007 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, ark. Warszawa Zachód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MORAWSKI W., PIELACH M., 2011 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, ark. Warszawa Wschód. PIG-PIB, Warszawa.
- MORILLO E., ROMERO A.S., MAQUEDA C., MADRID L., AJMONE-MARSAN F., GRICMAN H.C., DAVIDSON M.C., HURSTHOUSE A.H., VILLAVERDE J., 2007 — Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities. *J. Environ. Monit.*, **9**, 9: 1001–1008.
- NIEDZIELSKI P., SIEPAK M., SIEPAK J., 2015 — Występowanie i zawartości arsenu, antymonu i selenu w wodach i innych elementach środowiska. Internet: http://old.ros.edu.pl/text/pp_2000_015.pdf.
- NOWAKOWSKI W., 2004 — Metale ciężkie w środowisku przyrodniczym Warszawy w pracach profesor Krystyny Czarnowskiej. *Ochr. Środ. Zas. Nat.*, **27**: 71–85.
- OROS D.R., SIMONEIT B.R.T., 2001 — Identification and emission factor of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning. Part 2. Deciduous trees. *Appl. Geochem.*, **16**, 13: 1545.
- PANORAMA dzielnic Warszawy w 2013 roku. Urząd Statystyczny, 2014. Internet: <http://warszawa.stat.gov.pl/publikacje-i-foldery/inne-opracowania/panorama-dzielnic-warszawy-w-2013-r-5,14.html>
- PASIECZNA A., 2003 — Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A. (red.), 2010a — Szczegółowa Mapa Górnego Śląska 1:25 000, ark. Imielin. Państw. Inst. Geol.
- PASIECZNA A. (red.), 2010b — Szczegółowa Mapa Górnego Śląska 1:25 000, ark. Katowice. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A. (red.), 2010c — Szczegółowa Mapa Górnego Śląska 1:25 000., ark. Myslowice. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A., 2014 — Ocena wpływu działalności przemysłowej na chemizm gleb w rejonie Jaworzna. *W: Geochemia i geologia środowiska terenów uprzemysłowionych*: 125–137. Gliwice.
- PATHAK H., BHATNAGAR K., JAROLI D.P., 2011 — Physico-chemical properties of petroleum polluted soil collected from transport Nagar (Jaipur). *Indian J. Fundamemnt. Appl. Life Sci.*, **1**, 3: 84–89.

- PLACHÁ D., RACLAVSKÁ H., MATÝSEK D., RÜMMELI M.H., 2009 — The polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soils in the Region of Valasske Mezirici, the Czech Republic. *Geochem. Transactions*, 10: 12, doi:10.1186/1467-4866-10-12.
- PLAN gospodarkiodpadami dla m.st. Warszawy na lata 2008–2011 z uwzględnieniem lat 2012–2015. Warszawa, 2008.
- PORTAL informacyjny warszawskiej Pragi, 2015a — Internet: <http://www.twoja-praga.pl/praga/fabryki/2425.html>
- PORTAL informacyjny warszawskiej Pragi, 2015b — Internet: <http://www.twoja-praga.pl/praga/fabryki/2955.html>
- PRUSINKIEWICZ Z., KONYS L., KWIATKOWSKA A., 1994 — Klasyfikacja uziarnienia gleb i problemy z nią związane. *Rocz. Glebozn.*, 45, 3–4: 5–20.
- PRZEGLĄD Statystyczny Warszawy. Rok XXIV, nr 2. Urząd Statystyczny w Warszawie, Warszawa 2015. Internet: <http://warszawa.stat.gov.pl/opracowania-biezace/komunikaty-i-biuletyny/inne-opracowania/przeklad-statystyczny-warszawy-ii-kwartal-2015-r-,5,18.html>
- RAMAMOORTHY S., RAMAMOORTHY S., 1997 — Chlorinated organic compounds in the Environment: 125–233. Lewis Publishers: Boca Raton New York.
- RIFFALDI R., LEVI-MINZI R., CARDELLI R., PALUMBO S., SAVIOZZI A., 2006 — Soil biological activities in monitoring the bioremediation of diesel oil-contaminated soil. *Water, Air, Soil Poll.*, 170: 3–15.
- RAPORT Stan zanieczyszczenia osadów dennych rzek i jezior w 2013 roku. Etap II. Monitoring osadów dennych rzek i jezior w latach 2013–2015. PIG-PIB, Warszawa, 2014.
- ROCZNA ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2014. WIOŚ Warszawa 2015. Internet: <http://www.wios.warszawa.pl/pl/publikacje-wios/publikacje/1065,Roczna-Ocena-Jakosci-Powietrza-w-województwie-mazowieckim-Raport-za-rok-2014.html>
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. 2002, nr 165, poz. 1359.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dz.U. 2011, nr 257, poz. 1545.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dz.U. 2014, poz. 1482.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. nr 72, poz. 466.
- RÓŻKOWSKA A., PTAK B., 1995a — Bar w węglach kamiennych Górnego Śląska. *Prz. Geol.*, 43, 3: 223–226.
- RÓŻKOWSKA A., PTAK B., 1995b — Atlas geochemiczny złóż węgla kamiennego Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RUTKOWSKA-GURAK A., 2000 — Miejski obszar przemysłowy jako środowisko lokalizacji firm (na przykładzie Służewca Przemysłowego). *W: Monografie i opracowania*, 472. Warszawa.
- SALMINEN R. (red.), 2005 — Geochemical atlas of Europe. Part 1. Geological Survey of Finland, Espoo.
- SARNACKA Z., 1980a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Warszawa Wschód (524). Inst. Geol. Warszawa.
- SARNACKA Z., 1980b — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Warszawa Wschód (524). Inst. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1992 — Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 138: 29s.
- SIVEY J.D., LEE C.M., 2009 — Polychlorinated biphenyl contamination trends in Lake Hartwell, South Carolina (USA): sediment recovery profiles spanning two decades. *Chemosphere*, 66, 10: 1821–1828.
- STAN środowiska w województwie mazowieckim w 2013 roku. WIOŚ Warszawa, 2014. Internet: <http://www.wios.warszawa.pl/pl/publikacje-wios/publikacje/1033,Stan-srodowiska-w-województwie-mazowieckim-w-2013-roku.html>
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.), 2014 — Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2013 r. PIG-PIB, Warszawa.
- SUNITHA S., KRISHNAMURTHY V., MAHMOOD R., 2011 — Analysis of Endosulfan residues in cultivated soils in Southern India. International Conference on Biotechnology and Environment Management IPCBEE 18: 110–114.
- TA 3001, 2012 — Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota.
- TARGÓWEK FABRYCZNY, UTRATA — Spacer śladami przemysłu i usług, 2015. Internet: <http://warszawazacisze.blox.pl/2015/05/Targowek-Fabryczny-Utrata-spacer-śladami.html>
- TOMASSI-MORAWIEC H., WOŁKOWICZ S., DOBEK P., DUSZA A., MARKOWSKI M., KOŁECKI T., 2007 — Wykonanie planu batymetrycznego, mapy miąższości osadów dennych oraz oceny stanu jakości wód i osadów dennych Potoku Służewieckiego i Jeziora Wilanowskiego. NAG PIG-PIB, Warszawa.

- VANE CH., MA Y-J., CHEN S-J., MAI B-X., 2010 — Increasing polybrominated diphenyl ether (PBDE) contamination in sediment cores from the inner Clyde Estuary, UK. *Environ. Geochem. Health*, **32**: 13–21.
- VANE C.H., KIM A.W., BERIRO D.J., CAVE M.R., KNIGHTS K., MOSS-HAYES V., NATHANAIL P.C., 2014 — Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) in urban soils of Greater London, UK. *Appl. Geochem.*, **51**: 303–314.
- WCISŁO E., 1998 — Soil contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Poland — a review. *Pol. J. Environ. Stud.*, **7**, 5: 267–272.
- WILKOMIRSKI B., GALERA H., SUDNIK-WÓJCIKOWSKA B., STASZEWSKI T., MALAWSKA M., 2012 — Railway tracks – habitat conditions, contamination, floristic settlement. A review. *Environ. Nat. Resour. Res.*, **2**, 1: 86–95.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1994 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. 1. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
- YANG L., XIA X., LIU S., BU Q., 2010 — Distribution and sources of DDTs in urban soils with six types of land use in Beijing, China. *J. Hazard Mater.*, **174**, 1/3: 100–107.

*
* *