

WYBRANE GEOCHEMICZNE CECHY OSADÓW WYPEŁNIAJĄCYCH STARORZECZA W DOLINIE DOLNEJ PILICY W OKOLICACH WARKI

Piotr Szwarczewski*, Bartosz Korabiewski**

Wprowadzenie

Ostatnie lata obfitują w opracowania dotyczące analizy zmian geochemicznych cech osadów akumulowanych w takich środowiskach sedymentacyjnych jak fluwialne, limniczne czy też w obrębie bliższego i dalszego litoralu (np. Ciszewski 1993, 1994, 1997, Klimek 1993, 1996, Szefer, Szefer 1984, Szwarczewski 1999). Bada się głównie zawartość metali ciężkich w poszczególnych facjach czy warstwach osadu, a ich zmienność rozpatrywana jest przez cytowanych autorów zarówno w aspekcie czasowym jak i, znacznie częściej, przestrzennym. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się rzeki, głównie te przepływające przez tereny silnie uprzemysłowione. Wpływ człowieka jest tam najsilniejszy a przez to najbardziej czytelny. Już pojedyncze analizy pokazują jakość i stopień antropogenicznych przekształceń. Tam również obserwuje się większe zagęszczenie punktów badawczych w ramach monitoringu geochemicznego prowadzonego dla głównych rzek Polski czy w ocenie wpływu powodzi z lat 1997 i 1998 na górnej Odrze.

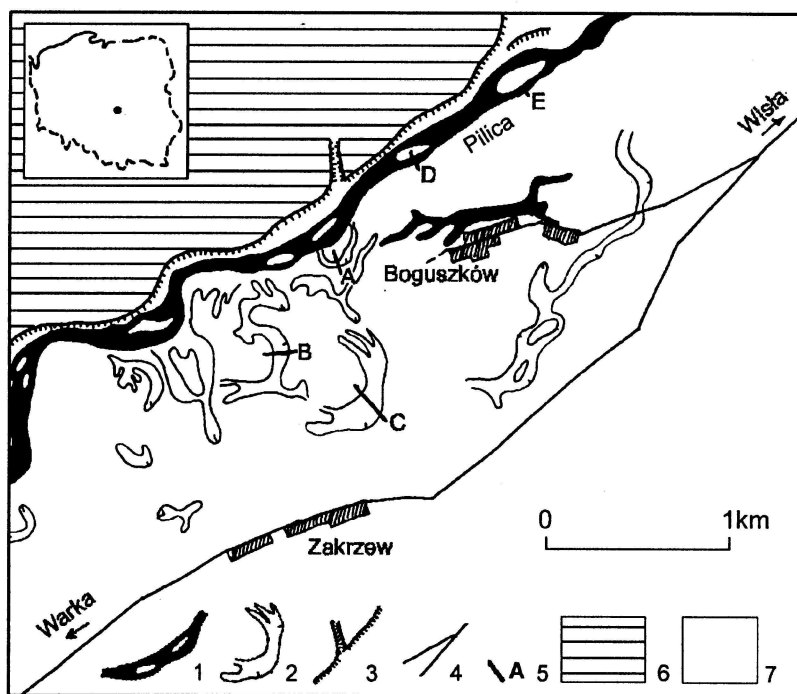
Silnie zanieczyszczone przez działalność górnictw (flotacja i zrzut wód dołowych) i przemysłową (zrzut niedostatecznie oczyszczonych ścieków) systemy fluwialne Polski południowej (np. śląska Wisła, Chechło) reagują na dostarczane skażenia wolniej niż te, w których pierwotna „homeostaza” nie została w tak silnym stopniu naruszona. Oznacza to, że te same bezwzględne ilości zanieczyszczeń dostarczone do koryt o silnie skażonych aluviach spowodują względnie mniejsze podniesienie stężeń pierwiastków śladowych w osadach niż w rzekach o aluviach niezanieczyszczonych. W rzekach o aluviach „czystych” poziom stężeń pierwiastków śladowych związany jest prawie wyłącznie z budową geologiczną i lokalnym natężeniem procesów hipergenicznych.

* Pracownia Sedymentologiczna, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski.

** Zakład Geografii Fizycznej, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski.

Większość autorów zajmujących się metalami ciężkimi ogranicza się w swoich badaniach do analizy wybranych facji np. korytowej (Ciszewski 1993, 1994, 1997) lub wezbraniowej (Klimek 1993). Istnieją również opracowania zajmujące się zarówno jedną jak i drugą (Szwarczewski 1999). Brakuje kompleksowych opracowań dla starorzeczy – szczególnie tych już wypełnionych lub w końcowej fazie wypełniania. Istniejącą lukę starają się wypełnić autorzy przez te wstępne, pilotażowe badania przeprowadzone dla doliny Pilicy w okolicach Warki.

Unikanie facji starorzeczy w badaniach geochemicznych osadów fluwialnych wynika przynajmniej częściowo z faktu, że ustalenie ich związku czasowego z aktywnym korytem jest trudne i wymaga kosztownych analiz radiowęglowych, które nie zawsze dają oczekiwane rezultaty. Po drugie są to miejsca o sedymentacji nieciągłej, w których tylko okresowo, w czasie wysokich stanów wezbraniowych, odbywa się akumulacja osadów. Nie dają więc pełnej informacji o procesach dokonujących się w rzece. Istotne jest również to, że osadza się tam facja pozakorytowa, która w przeważającej części rzek



Ryc. 1. Szkic lokalizacyjny terenu badań

1 – wody powierzchniowe, 2 – paleozakola (starorzecza), 3 – skarpy i wąwozy, 4 – główne drogi, 5 – miejsca wykonywania wkopów, odsonień, w obrębie których dokonano poboru próbek, 6 – wysoczyzna, 7 – dno doliny.

Fig. 1. Location map of research area.

1 – surface waters, 2 – palaeochannels, 3 – edges of the glacial plateau and gullies, 4 – main roads, 5 – sampling profiles, 6 – glacial plateau, 7 – river valley.

niżu polskiego składa się z zawiesin organicznych. Różnowiekowe starorzecza, które utraciły kontakt z aktywnym korytem mogą ponownie być okresowo wypełniane przez osady piaszczyste, genetycznie podobne do osadów stożków krewasowych. Tego typu zdarzenia i ich sedymentologiczny zapis obserwowali autorzy m.in. w dolinach dolnej Pilicy, Bzury i jej dopływów (m.in. Sokołowska, Szwarzewski 1998).

Geomorfologiczna charakterystyka obszaru badań

Dolina dolnej Pilicy w odcinku ujściowym między Warką a Mniszewem jest doliną marginalną z maksymalego zasięgu stadiału Warty – zlodowacenia środkowopolskiego. Pradolina tą odpływały wody początkowo w kierunku wschodnim przez Kotlinę Kozienicką i Dolinę Dolnego Wieprza i Krzny do dorzecza Dniepru a od intersadiału pilicy (dzielącym stadiał warty od stadiału wkry) na północ ku Kotlinie Warszawskiej i następnie dalej na zachód w kierunku Morza Północnego (Różycki 1972).

Według St. Z. Różyckiego (1972) założenia doliny dolnej Pilicy są starsze i wiążą się z odpływem z okresu interglacjału mazowieckiego. Od wspomnianego okresu odcinek Pilicy poniżej Warki ulegał transformacjom związanym ze zmianami rozwinęcia systemu fluwialnego pra-Wisły i Wisły. U schyłku plejstocenu i na początku holocenu Pilica w odcinku ujściowym charakteryzowała się bardziej krętym biegiem, o czym świadczą systemy starorzeczy (dzisiejszych obniżień i torfowisk) o zbliżonych promieniach krzywizny, występujące w ujściowej części dna doliny. Starorzecza te będące obecnie w większości obniżeniami o mniej lub bardziej krętym kształcie są obszarami okresowo podmokłymi lub ulegają zatorfieniu. Osady wypełniające te formy stały się przedmiotem badań autorów.

Współcześnie koryto Pilicy na omawianym odcinku charakteryzuje się nieznacznym, sięgającym 1,0–1,5 m wcięciem w dno doliny oraz średnią krętością $Si = 1,25–1,3$ a ilość transportowanego rumowiska jest znacznie mniejsza niż w płynącej w sąsiedztwie Wiśle (*Atlas Hydrologiczny Polski* 1986).

Cel i metody badań

Celem przeprowadzonych badań była charakterystyka geochemiczna osadów wypełniających wybrane starorzecza w dolinie Pilicy w okolicach Warki a także próba określenia przestrzennej i czasowej zmienności w sedimentacji metali ciężkich w obniżeniach pełniących funkcję basenów powodziowych.

Do badań wybrano 3 starorzecza (A, B, C – ryc. 1, fot. 1–4) położone w dolinie dolnej Pilicy w okolicach wsi Zakrzew i Boguszków. Formy te zdaniem autorów są różnowiekowe. Przemawiają za tym różnice w parametrach geometrycznych porzucanych koryt meandrowych (m.in. promienia krzywizny: A – 125 m, B – 290 m, C – 185 m), stopniu ich wypełnienia oraz rodzaju akumulowanych osadów. Badane formy różni także odległość od współcześnie funkcjonującego koryta (A – 20 m., B – 500 m., C – 1050 m.) oraz wysokość otaczającej starorzecza równi zalewowej nad średnie stany wody w korycie rzeki (A – ok. 0,7 m, B – ok. 1,5 m, C – ok. 2 m) co wpływa na



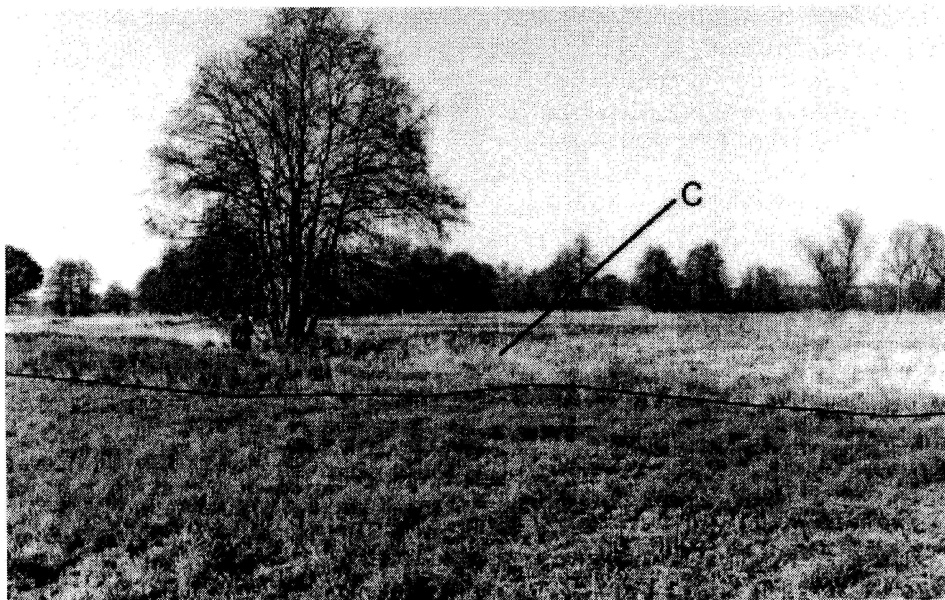
Fot. 1. Starorzecze A – położone najbliżej aktywnego koryta Pilicy.

Photo 1. Palaeochannel A (former oxbow lake) situated closely to the active river channel. Sampling profile A.



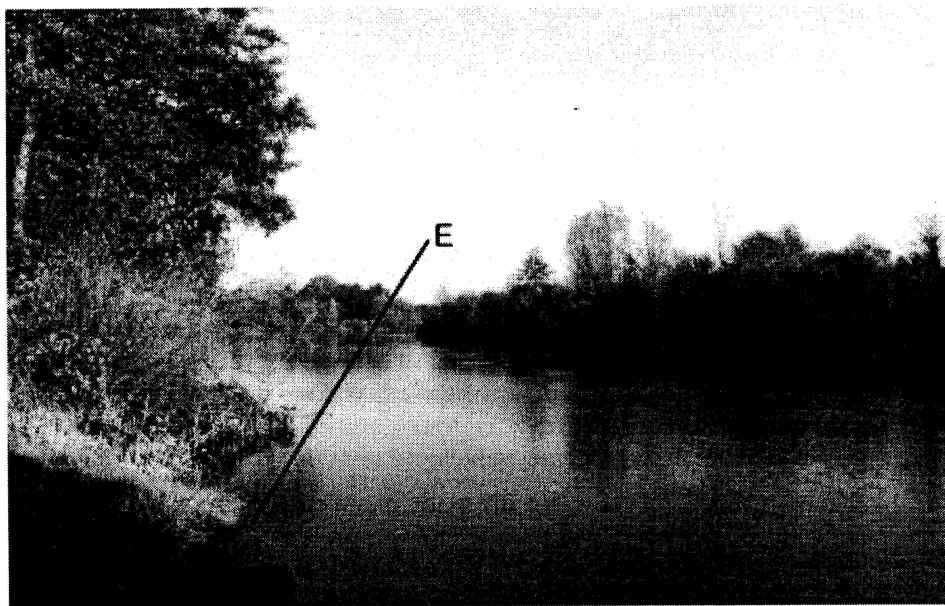
Fot. 2. Starorzecze B. W czasie wysokich stanów wypełniane wodą i funkcjonujące jako basen powodziowy.

Photo 2. Palaeochannel B (former oxbow lake). During the high water levels the area becomes the flood basin. Sampling profile B.



Fot. 3. Starorzecze C. Czarną linią zaznaczono krawędź dawnego podcięcia. Krawędź ta zaznacza się również różnicą w użytkowaniu.

Photo 3. Palaeochannel C (former oxbow lake). Black line shows the edge (zone) of the former bank erosion. The edge is also visible in the change of the land use. Sampling profile C.



Fot. 4. Współczesne koryto Pilicy (punkt poboru próbek E).

Photo 4. Present-day Pillica river channel (sampling site E).

częstotliwość zalewania przez wody wezbraniowe oraz czas zalegania tych wód (ryc. 1). Planowane oznaczenia wieku bezwzględnego pomogą w sposób precyzyjny określić czas utraty kontaktu badanych starorzeczy z aktywnym korytem.

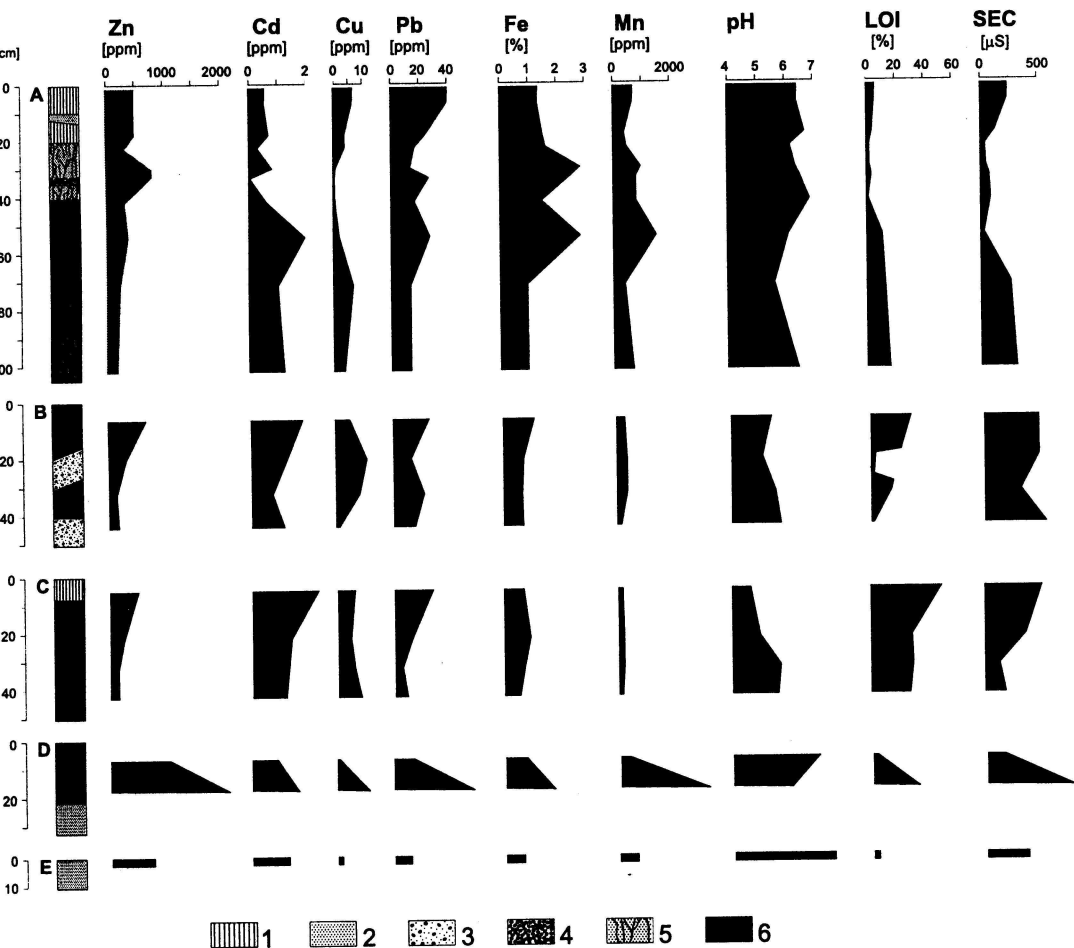
Do analizy metali ciężkich pobrano próbki ze stropowych partii osadów wypełniających starorzecza. Próbki osadu pobierano we wkopach wykonanych w centralnej części obniżień. Głębokość wykonywanych wkopów była różna (od 60 do 110 cm) i zależała od zróżnicowania litologicznego, a także głębokości do wód gruntowych. W sumie z wspomnianych trzech starorzeczy pobrano 17 próbek pochodzących z różnych genetycznie i wiekowo poziomów. Dodatkowo w celach porównawczych pobrano 1 próbkę osadu z koryta (punkt E, ryc. 1) – z powierzchni stropowej współcześnie akumulowanego odsypu bocznego – oraz 2 próbki ze starszego, wyżej położonego (ok. 20 cm powyżej średniego stanu wody) odsypu bocznego (punkt D, ryc. 1). Odsyp ten wchodzi w obręb najmłodszej terasy zalewowej i znajduje się w strefie martwej odnogi, która powstała w wyniku przegrodzenia bocznego koryta w czasie prac regulacyjnych w latach 70 i 80-tych. Badaniom poddano więc próbki pochodzące z najważniejszych facji osadów akumulowanych w rzekach.

W pobranych próbkach osadów oznaczono zawartość Zn, Cd, Cu, Pb, Fe a także pH (metodą potencjometryczną), przybliżoną zawartość substancji organicznej (przez straty prażenia – LOI) oraz przewodnictwo elektryczne właściwe (SEC dla frakcji pon. 1mm). Metale ciężkie we frakcji pon. 0,063 mm oznaczono metodą AAS. Ekstrakcję przeprowadzono w kwasie azotowym. Zestawione wyniki analiz uzupełnione o ogólną charakterystykę litologiczną przedstawia ryc. 2.

Teksturalno-geochemiczna charakterystyka osadów wypełniających starorzecza w dolinie Pilicy w okolicach Warki

Osady wypełniające starorzecza w dolinie Pilicy charakteryzują się dużym zróżnicowaniem pod względem litologicznym. Stwierdzono w nich:

- osady (w przewadze) organiczne związane z sedymentacją w znacznej odległości od aktywnego koryta z dominującą sedymentacją z dekantacji (np. starorzecze C),
- osady na przemian organiczne i mineralne (piaszczysto-mułkowe, rzadziej żwirowe, wskazujące na zmienność warunków sedymentacyjnych – starorzecze to okresowo musiało znajdować się w pobliżu aktywnego koryta rzecznego, czego świadectwem są osady facji korytowej (gruboziarniste); okresy spokoju zapisane są akumulacją biogenną i osadami z dekantacji (starorzecze B),
- znacznej miąższości (pow. 0,6 m) osady organiczne nadbudowane osadami mineralnymi facji korytowej, na których spoczywają osady organiczne, rozdzielone serią mineralną; sekwencja ta wskazuje na włączenie dawnego paleokoryta do współczesnej akumulacji powodziowej; dość miąższe osady organiczne rozdzielone osadami mineralnymi wskazują na zmiany aktywności koryta Pilicy lub na zmiany odległości od aktywnego koryta (np. starorzecze A).



Ryc. 2. Profile litologiczne oraz charakterystyka geochemiczna osadów wypełniających starorzecza A-C oraz osadów korytowych D-E w dolinie Pilicy w okolicach Warki.

1 – osady wezbraniowe (pylasto-ilaste ze znacznym udziałem materii organicznej), 2 – piaski, 3 – piaski ze żwirami, 4 – żwiry, 5 – piaski z wyraźnymi wytrąceniami Fe i Mn, 6 – torfy, mursz.

Fig. 2. Lithological profiles and geochemical features of the sediments filling palaeochannels (A-C) and from the river channel (D-E) in Warka area (Pilica river valley).

1 – mądas – flood sediments (silt and clay with organic matter), 2 – sands, 3 – sands and gravels, 4 – gravels, 5 – sands with Fe and Mn concretions, 6 – peats.

Przedstawione powyżej osady charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem i wskazują na wyraźne różnice w sposobie i tempie sedymentacji.

Pod względem teksturalnym osady wypełniające starorzecza w dolinie dolnej Pilicy charakteryzują się drobnieniem w kierunku od koryta ku krawężniom doliny. Po-

dobne zjawisko (w osadach budujących równinę zalewową) obserwował Gębica (1995) dla osadów górnej Wisły a także Szwarczewski (1999) dla osadów Wisły między Warszawą a Toruniem. Wraz z rosnącą odległością od koryta obserwuje się również wyraźny wzrost zawartości substancji organicznej: od 1–4% w okolicach aktywnego koryta (wyjątek stanowi tu spągowa część osadów pobranych z najniższej terasy zalewowej, gdzie straty po prażeniu dochodzą do 30%) i w najwyższych partiach osadów wypełniających starorzecze A do ponad 40% w najdalej położonym starorzeczku C. Odnotowany wzrost procentowej zawartości substancji organicznej wraz z odległością od koryta wiąże się z ograniczeniem dostawy materiału mineralnego bezpośrednio z rzeki i przewagą dekantacji drobnego materiału organicznego.

Wraz z odległością od koryta w kolejnych starorzeczach zaobserwowano spadek wartości pH. Odnotowano również spadek wartości pH ku powierzchni w osadach dwóch starorzeczy położonych najdalej od współczesnego koryta a także wzrost wartości pH ku powierzchni profilu dla osadów akumulowanych współcześnie. Osady współcześnie akumulowane i znajdujące się w starorzeczku najbliższym koryta mają odczyn obojętny o pH = 6,0-7,5, co wiąże się z częstym kontaktem z obojętnymi pod względem odczynu wodami rzecznyymi i gruntowymi.

Szczegółowe badania wskazują, że zawartość metali ciężkich w osadzie zależy m.in. od takich czynników jak: pH, współczynnika redox, zawartości substancji organicznej czy zawartości frakcji ilastej (Forstner, Salomons 1984). Silną korelację stężenia metali ciężkich z zawartością frakcji ilastej i stratami prażenia stwierdzono m.in. dla osadów wezbraniowych Wisły (Szwarczewski 1999). Jednocześnie okazuje się, że osady akumulowane w korycie lub w jego pobliżu jako stożki krewasowe potrafią zawierać bardzo duże ilości metali ciężkich mimo relatywnie małych zawartości frakcji ilastej czy substancji organicznej (straty po prażeniu). Wynika to z bardzo długiego kontaktu tych zawiesin mineralnych i organicznych ze skażonymi wodami rzecznyymi a przez to i o wiele większymi potencjalnymi możliwościami zasorbowania zanieczyszczeń (Szwarczewski 1999). Zawiesiny dostarczane do koryta w wyniku splukiwania powierzchniowego równocześnie z występującym wezbraniem mają znacznie krótszy czas kontaktu z zanieczyszczeniami. Poza tym w okresie wezbrań przy zwiększonych przepływach pojawia się efekt rozcieńczania zanieczyszczeń (znacznie większa ilość wody przy tej samej dostawie polutantów). Zdaniem autorów podwyższone zawartości Zn, Cd i Pb w osadach piaszczystych położonych w stropowej części starorzecza A mogą być wynikiem wspomnianego procesu.

W stężeniu metali ciężkich stwierdzono kilka prawidłowości. Starorzecza B i C (ryc. 2) charakteryzują się ogólnie wyraźnym spadkiem zawartości metali śladowych (Zn, Cd, Pb – najmocniej, Cu – nieco słabiej) w głąb profilu, co wiązać należy z historią gospodarczą badanego obszaru. Dostawa metali ciężkich do wód, a następnie ich sorbowanie przez osady charakteryzowały się na badanym obszarze zmiennością w czasie. Zmienność zawartości metali ciężkich w osadach wiąże się z dwoma okresami antropopresji. Okres preindustrialny charakteryzujący się małymi zawartościami metali ciężkich, zbliżonymi do tła geochemicznego, nie został stwierdzony w badanych starorzeczach lub znajduje się na większej niż badano głębokości. Prowadzona w sposób nieodpowiedzialny industrializacja w latach 50 i 70-tych doprowadziła do silnego skażenia metalami ciężkimi osadów (i zawiesin) transportowanych przez Pili-

cę. Osady wezbraniowe akumulowane we wspomnianym okresie budują górne – najbardziej skażone – części starorzeczy. Jednocześnie, podobnie jak dla Wisły na odcinku między Warszawą a Toruniem (Szwarczewski 1999), w osadach współcześnie akumulowanych zaobserwowano niższe stężenia metali ciężkich w stosunku do tych, które zostały zaakumulowane np. w latach 50-70. Wiązać to należy z recesją przemysłu w latach 80-tych i 90-tych oraz budową nowych, o wyższej sprawności, oczyszczalni ścieków. Niższe zawartości pierwiastków śladowych akumulowanych w ostatnim okresie wiązać należy również z „oczyszczającą” funkcją położonego powyżej terenu badań Zbiornika Sulejowskiego. Znaczna część zanieczyszczeń transportowanych przez Pilicę akumuluje się wraz z osadami dennymi w czaszy tego zbiornika.

Bardzo ciekawie wygląda zmienność zawartości Fe i Mn. Żelazo i mangan to te elementy, które mogą być odpowiedzialne za kompleksowanie Cd, Cu, Pb i Zn. Metale te mogą relatywnie łatwo migrować w postaci tlenków i wodorotlenków w głębi profili glebowych, a ich podwyższona zawartość prawie zawsze związana jest ze zmianami poziomu wód gruntowych (proces orsztynizacji – rudy darniowe). Dwa wyraźne piki na głębokości 30 i 55 cm w starorzeczu A są zdaniem autorów wynikiem dwóch różnych, okresowo utrzymujących się poziomów wód gruntowych związanych z powtarzającymi się wezbraniem na Pilicy.

Wnioski końcowe

Badania osadów wypełniających starorzecza w dolinie Pilicy w okolicach Warki wskazały na ich duże zróżnicowanie pod względem litologicznym i geochemicznym. Metale ciężkie w osadach wypełniających starorzecza posłużyły tu jako środek do identyfikacji okresów zróżnicowanego wpływu człowieka (antropopresji). Zróżnicowanie litologiczne osadów wypełniających starorzecza wskazuje na zmiany odległości odciętego starorzecza od aktywnego koryta oraz warunki sedymentacji.

Różnowiekowe osady wypełniające starorzecza w dolinie Pilicy wykazują pewne podobieństwa pod względem zmienności cech teksturalnych oraz zawartości metali ciężkich do różnowiekowych osadów korytowych i pozakorytowych akumulowanych w dolinie Wisły (Szwarczewski 1999). Odnotowywany w osadach korytowych i wezbraniowych spadek zawartości pierwiastków śladowych wraz z odległością od aktywnego koryta oraz w głębi profilu nie jest w przypadku osadów wypełniających starorzecza tak silnie zaznaczony. Wynika to z nieciągłości zapisu sedymentacyjnego, który w dolinach rzecznych zależy głównie od powtarzalności i czasu trwania powodzi oraz zakresu prac regulacyjnych. Długotrwałe okresy suche o zmniejszonej ilości opadów w połączeniu z kompleksowo wykonanymi pracami regulacyjnymi (skręcanie biegu a przez to wcinanie się rzeki) mogą prowadzić do powstawania luk sedymentacyjnych w dnach dolin rzecznych a szczególnie w obrębie starorzeczy.

Literatura

- Atlas Hydrologiczny Polski*, 1986, IMGW, Wyd. Geol. Warszawa, t. II, z. 2.
- Ciszewski D., 1993, Antropogenne osady korytowe (na przykładzie rzeki Chechło). [w:] Antropogeniczne aluwia Przemszy i Wisły Śląskiej, Georama, z. 1, UŚ WNoZ, Sosnowiec, 21–24.
- Ciszewski D., 1994, Rozprzestrzenianie metali ciężkich w osadach dennych rzeki Chechło. *Przeg. Geol.* 2, 116–121.
- Ciszewski D., 1997, Source of pollution as a factor controlling distribution of heavy metals in bottom sediments of Chechło River (South Poland), *Environmental Geology*, 29 (1/2) Springer-Verlag, 50–57.
- Forstner U., Salomons W., 1984, *Metals in the hydrocycle*, Springer-Verlag, Berlin.
- Gębica P., 1995, Ewolucja doliny Wisły pomiędzy Nowym Brzeskiem a Opatowcem w vistulianie i holocenie, *Dokumentacja Geograficzna*, Wyd. Continuo, z. 2, 1–91.
- Klimek K., 1993, Środowisko sedymentacji antropogenicznych osadów pozakorytowych w dolinie Przemszy i Wisły Śląskiej. [w:] Antropogeniczne aluwia Przemszy i Wisły Śląskiej, Georama, z. 1, UŚ WNoZ, Sosnowiec, 21–24.
- Klimek K., 1996, Aluwia Rudy jako wskaźnik 1000-letniej degradacji Płaskowyżu Rybnickiego, [w:] A. Kostrzewski (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, Tom II, UAM, 155–166.
- Różycki S.Z., 1972, Nizina Mazowiecka, [w:] R. Galon (red.), *Geomorfologia Polski*, t. 2. Niż Polski, PWN, Warszawa, 271–317.
- Sokołowska G., Szwarczewski P., 1998, Metale ciężkie w różnowiekowych osadach aluwialnych Bzury. *Przeg. Geol.* vol. 46, z. 5, 417–420.
- Szefer P., Szefer K., 1984, Vertical distribution of some metals in sediments from the Southern Baltic. *Proc. XIV Conf. Baltic Oceanogr., Inst. Oceanol. Gdynia Vol. 2*, 785–792.
- Szwarczewski P., 1999, Zawartość metali ciężkich w osadach aluwialnych jako wskaźnik ewolucji dolin rzecznych, maszynopis pracy doktorskiej, WGiSR UW, Warszawa, 1–121.

Selected geochemical characteristics of deposits filling palaeochannels (oxbow lakes) of the lower Pilica in the vicinity of Warka

Research of deposits filling the oxbow lakes in the Pilica valley near Warka has proved that they are highly varied lithologically and geochemically. Heavy metals in these deposits were used to identify the periods of varying influence of man (anthropopressure). The lithological variety of the deposits filling the oxbow lakes reflects the changes in the distance of the cut-off oxbow lake from the active channel and in the different conditions of deposition.

The deposits originated in different ages, filling the oxbow lakes in the Pilica valley, demonstrate some similarities as regards the variability of textural features and the

heavy metals content to the channel and non-channel deposits accumulated in the Vistula river over different periods of time (Szwarczewski 1999). The decreasing content of trace minerals, corresponding to the distance from the active channel and the depth of the profile, which has been revealed in the channel and high water deposits, is not so strongly marked in the case of deposits filling the oxbow lakes. This is due to a discontinuity in the sedimentation record, which – in the river valleys – mainly depends on the intervals between, and duration of floods, as well as the scope of regulation works. Long periods of drought, with limited precipitation, coupled with comprehensive regulation works (which shorten the river course and result in incision processes) may led to the creation of sedimentation gaps in the floors of river valleys, particularly within oxbow lakes.