

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. LXIII, 4

SECTIO B

2008

*Instytut Nauk o Ziemi, **Laboratorium Analityczne

***Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Wojciech ZGŁOBICKI*, Marcin KOZIEŁ*, Lesia LATA**,
Andrzej PLAK*, Marek RESZKA***

*Próba wykorzystania wskaźników geochemicznych do oceny
natężenia współczesnej sedymentacji deluwialnej i aluwialnej**

Application of geochemical markers as a test for assessment of intensity of contemporary
colluvial and alluvial sedimentation

WPROWADZENIE

Jednym ze skutków działalności człowieka są zmiany chemiczne w środowisku. Antropopresja modyfikuje w znacznym stopniu warunki obiegu pierwiastków. W wyniku masowej eksploatacji złóż mineralnych powoduje ich uwalnianie, a w rezultacie procesów przetwarzania przyspiesza obieg oraz tworzy nowe jego drogi. Na wszystkich etapach gospodarczego wykorzystania powoduje niezamierzone wprowadzanie ich do atmosfery, hydrosfery i pedosfery. Wielkość antropogenicznej dostawy niektórych pierwiastków do środowiska przekracza wielokrotnie naturalne tło geochemiczne. Zanieczyszczenia migrujące drogą powietrzną i wodną gromadzą się ostatecznie w osadach. Stanowią one swoiste archiwum geochemicznych zmian środowiska będących efektem działalności człowieka. Pionowe zróżnicowanie koncentracji wybranych pierwiastków w profilach osadów może być zatem wykorzystane do oceny tempa sedymentacji. Metoda polega na korelacji zmian zawartości, z umiejscowionymi w czasie faktami związanymi z różnymi etapami wpływu człowieka na środowisko. Opisywana metoda jest o tyle cenna, że w przypadku najmłodszych osadów stokowych i rzecznych (o wieku rzędu 50 lat) ocena tempa ich depozycji jest utrudniona.

Pierwiastki czy ich izotopy, które mogą być wykorzystywane w tego typu datowaniach muszą spełniać określone warunki. Do najważniejszych z nich należą: trwałe i szybkie wiązanie w osadzie (mała mobilność), dostawa antropogeniczna wielokrotnie przekraczająca poziom naturalny, dobrze poznane warunki obiegu w środowisku, stosunkowo łatwa wykrywalność. Funkcję takich antropogenicznych markerów stratygraficznych pełnią przede wszystkim metale ciężkie, sztuczne radioizotopy (^{137}Cs) oraz fosfor. W środowisku glebowym metale ciężkie charakteryzują się zróżnicowaną mobilnością. Ołów wiązany jest silnie przez substancję organiczną w powierzchniowych warstwach gleb i w nieznacznym stopniu ulega migracji w głąb profilu. Podobne zachowanie charakteryzuje fosfor, który wykazuje także duże powinowactwo do związków żelaza. Większą ruchliwością cechuje się miedź, która wykazuje powinowactwo do substancji organicznej i minerałów ilastych. Cynk natomiast stosunkowo łatwo przemieszcza się w głąb profilu mimo wiązania tego pierwiastka przez substancję organiczną oraz tlenki żelaza glinu i manganu. Kadm należy do pierwiastków bardzo mobilnych w glebach, szczególnie tych charakteryzujących się kwaśnym odczynem (pH 4,5–5,5). O całkowitej zawartości metali ciężkich i fosforu decyduje zatem obok wielkości depozycji bilans procesów akumulacji pierwiastków oraz ich wymywania (Kabata-Pendias, Pendias 1999).

W pracy przedstawiono podstawy teoretyczne wykorzystania markerów geochemicznych do datowania tempa współczesnej sedymentacji. Dokonano również oceny możliwości ich zastosowania w badaniach geomorfologicznych (wielkość i tempo sedymentacji) na podstawie 8 profili osadów stokowych i rzecznych, położonych w zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wymiernym efektem przeprowadzonych badań było uzyskanie danych ilościowych tempa współczesnej sedymentacji osadów różnej genezy.

WSKAŹNIKI GEOCHEMICZNE W BADANIACH GEOMORFOLOGICZNYCH

Koncentracja zanieczyszczeń w osadach jest wypadkową emisji lub dostawy do środowiska o charakterze globalnym, jak i regionalnym czy lokalnym. Jednocześnie emisje te mogą mieć charakter ciągły lub epizodyczny. Wszystko to sprawia, że dokładność datowań z wykorzystaniem wskaźników geochemicznych jest zróżnicowana. Dla długotrwałych emisji globalnych – wprowadzanie do środowiska metali w wyniku spalania kopaliny różnego rodzaju czy powszechne stosowanie w rolnictwie nawozów mineralnych – dokładność możliwa do osiągnięcia jest rzędu dziesiątków czy setek lat. Z kolei w przypadku wyraźnej emisji epizodycznej, jak ma to miejsce w przypadku cezu-137 czy dostawy metali do środowiska, związanej ze źródłem wybitnie lokalnym (pojedynczy zakład przemysłowy), precyzja datowania może dochodzić do kilku lat. Wpływa na nią szereg wielu zmiennych – ilość i wielkość źródeł emisji zanieczyszczeń, rozmieszczenie przestrzenne

w zlewni, charakter osadów itp. Generalnie maksymalny zasięg czasowy precyzyjnego datowania to zazwyczaj nie więcej niż 50–100 lat – tyle mniej więcej trwa intensywna presja geochemiczna człowieka na środowisko. Dla obszarów, na których rozwój zakładów górniczych czy metalurgicznych miał miejsce wcześniej, możliwe są datowania o horyzoncie czasowym kilkuset lat (Matschullat i in. 1997).

Ogólna charakterystyka wykorzystania wybranych wskaźników geochemicznych w badaniach przemian środowiska przedstawiona została w pracy Zgłobickiego i Ziółek (2006). Przydatność do datowań poszczególnych pierwiastków jest zróżnicowana, poniżej wymieniono najważniejsze, związane z tym uwarunkowania. ^{137}Cs jest sztucznym radionuklidem, jego dostawa do środowiska jest związana z wybuchami jądrowymi lub emisjami z reaktorów atomowych (Wise 1980). Po raz pierwszy został wprowadzony do atmosfery ziemskiej podczas potężnych próbnych wybuchów atomowych w końcu 1952 r. Około 1954 roku zaczęto stwierdzać jego powszechne występowanie w glebach i osadach na całym świecie. Na podstawie szczegółowych badań niezaburzonych profili możliwe jest szacowanie tempa sedymentacji w kilku przedziałach czasowych: 1954 – pojawienie się cezu w środowisku, 1957–59, 1962–64, 1971, 1986 – piki *fallout* (Stach 1991). Upraszczając, należy stwierdzić, że na obszarze Polski najgłębsza warstwa, w której stwierdza się występowanie ^{137}Cs , odpowiada mniej więcej połowie lat 50. XX wieku, a wyraźne wzrosty koncentracji są związane z I połową lat 60. XX wieku oraz z awarią w Czarnobylu w 1986 roku. ^{137}Cs jest niewątpliwie bardzo dobrym markerem ze względu na wyłącznie antropogeniczne pochodzenie oraz epizodyczny charakter wprowadzania do środowiska. Z tego powodu metoda jest powszechnie stosowana do oceny tempa sedymentacji aluwii i osadów jeziornych (Froehlich, Walling 1991; Walling, He 1997). Dane uzyskane przy pomocy ^{137}Cs są niewątpliwie najbardziej wiarygodne i dokładne. Możliwe jest wykorzystanie cezu-137 zarówno do datowania aluwii, jak i osadów stokowych.

Różnokierunkowa działalność człowieka w przeszłości prowadziła do wzbogacania wierzchniej warstwy gleby w fosfor. Źródłem fosforu w glebie są odchody ludzi i zwierząt, resztki żywności i inne odpadki, a współcześnie fosforowe nawozy mineralne. Fosfor jest dobrym wskaźnikiem zmian (przekształceń), jakie człowiek na przestrzeni dziejów wywierał na całe środowisko przyrodnicze. Ważną cechą fosforu jest jego stabilność w glebie, praktycznie w całym zakresie pH. W silnie kwaśnych glebach fosfor wiązany jest w trudno rozpuszczalne hydroksyfosforany glinu, żelaza, manganu, natomiast w glebach zasadowych powstaje trudno rozpuszczalny fosforan wapnia. Fosfor związany w substancji organicznej jest także z reguły niedostępny dla roślin (Smil 2000).

Podwyższone zawartości tego pierwiastka w glebie mogą służyć do ustalania miejsc historycznego osadnictwa (Bednarek i in. 2003; Schlezinger 2000). W efekcie rozwoju współczesnego rolnictwa, oraz idącego za tym wzrostu stosowania nawozów sztucznych, gleby użytków rolnych stały się miejscem kumulacji tego pierwiastka (Zgłobicki, Ziółek 2006). Stosowany w rolnictwie superfosfat nie

przemieszcza się w glebie i pozostaje na jej powierzchni. W najbardziej dogodnych warunkach rośliny nie mogą pobrać więcej niż 30% dostarczonego fosforu, reszta pozostaje w glebie i ulega uwstecznieniu (unieruchomieniu) (Brzeziński i in. 1983). Podobny jak w przypadku ^{137}Cs jest horyzont czasowy ocen tempa sedymentacji – ostatnie 50 lat. Przykładowo Gillijns i in. (2005), przyjmując założenie, że intensywne wykorzystanie nawozów fosforowych w Belgii rozpoczęło się po II wojnie światowej, dokonali oceny tempa współczesnej akumulacji materiału w dnie użytkowanego rolniczo zagłębienia bezodpływowego. W przypadku fosforu datowaniami objęte mogą być przede wszystkim osady stokowe na obszarze gruntów ornych. Należy przy tym podkreślić, że jak do tej pory zastosowanie fosforu do oceny tempa współczesnej sedymentacji było najmniejsze spośród wszystkich analizowanych w pracy wskaźników geochemicznych.

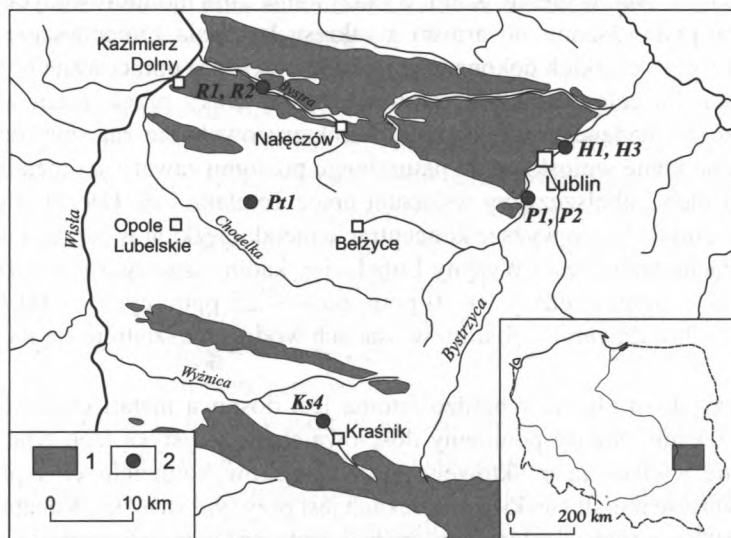
Działalność człowieka, przede wszystkim przemysłowa, prowadzi do wzrostu koncentracji metali ciężkich w środowisku, m.in. Cd, Cu, Pb, Zn. Zakres wykorzystania metali ciężkich jako wskaźników antropopresji jest bardzo szeroki. Źródłem skażenia gleb i osadów w metale ciężkie jest przemysłowa działalność człowieka (opad pyłów atmosferycznych, spływ ścieków), transport oraz rolnictwo – stosowanie nawozów mineralnych i środków ochrony roślin. W osadach rzecznych i jeziornych zapisana jest historia dostawy metali ciężkich dostających się do zlewni z różnych źródeł (Klimek 1996; Szwarzewski 1998; Renberg i in. 2001; Ciszewski 2002). Zakres czasowy prowadzonych analiz, w zależności od przeszłości gospodarczej badanego obszaru, może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset lat. Najczęściej tego typu analizy wykonywane są dla okresu ostatnich 50–100 lat ze względu na wyraźnie większą i łatwą do wydzielenia dostawę antropogeniczną. Korelacja zmian koncentracji metali ciężkich w profilach ze znanymi ładunkami metali ciężkich dostarczanych do zlewni może być wykorzystana do datowania osadów (Ciszewski 2001; Korabiewski 2002). Metoda ta jest stosowana dość powszechnie dla osadów aluwialnych, a precyzja uzyskiwanych danych wysoka. Niezbędnym warunkiem otrzymania wiarygodnych danych jest dobre poznanie historii dostawy metali ciężkich do zlewni.

Najlepsze rezultaty daje niewątpliwie jednoczesne zastosowanie kilku metod. Taka analiza wykonana została przy ocenie tempa wypełniania zagłębień położonych w obrębie kilku niewielkich zlewni w SW Niemczech (Clemens, Stahr 1994) na obszarze lessowym użytkowanym rolniczo. Na podstawie wyraźnego wzrostu koncentracji fosforu, ołowiu i kadmu w górnej części profili osadów stokowych, związanej ze wzrostem emisji do środowiska tych pierwiastków począwszy od lat 50. XX wieku, autorzy ocenili wielkości erozji i akumulacji w zlewni.

OBSZAR BADAŃ

Analizowane profile położone są w obrębie czterech mezoregionów zachodniej części Wyżyny Lubelskiej: Płaskowyżu Nałęczowskiego, Równiny Bełżyckiej,

Kotliny Chodelskiej oraz Wzniesień Urzędowskich (Kondracki 2000). W podłożu zachodniej części Wyżyny Lubelskiej występują różniące się litologicznie warstwy skalne: węglanowe i węglanowo-krzemionkowe, zaliczane do górnej kredy i paleocenu, przykryte utworami trzeciorzędowymi oraz czwartorzędowymi. Osady czwartorzędowe (utwory glacialne, fluwioglacjalne, peryglacialne i rzeczne) wykształcone są jako piaski, gliny, ropy, mułki i żwiry rzeczne. Na Płaskowyżu Nałęczowskim i Wzniesieniach Urzędowskich spotyka się płaty mięjszych pokryw lessowych. W dnach dolin i obniżeniach bezodpływowych występują namuły i torfy.



Ryc. 1. Położenie badanych profili. 1 – obszary lessowe, 2 – badane profile
Location of the studied profiles. 1 – loess areas, 2 – the studied profiles

Odporność mechaniczna i chemiczna skał oraz rodzaj utworów powierzchniowych zadecydowały o głównych rysach rzeźby tego obszaru (Maruszczak 2001). Najbardziej czytelnym jej elementem jest dolina Wisły. Cechą charakterystyczną tego obszaru jest gęsta sieć suchych form dolinnych – wąwozów – powstała w obrębie płatów lessowych Płaskowyżu Nałęczowskiego, Równiny Bełżyckiej i Wzniesień Urzędowskich. W Kotlinie Chodelskiej zachodzą zjawiska krasowe, a miejscami w obrębie równin piaszczystych występują dobrze rozwinięte wydmy.

Zachodnia część Wyżyny Lubelskiej – z wyjątkiem Małopolskiego Przełomu Wisły i Kotliny Chodelskiej – charakteryzuje się ubóstwem wód powierzchniowych i głębokim występowaniem wód podziemnych. Cechy te wynikają z generalnie dobrej przepuszczalności i obecności licznych szczelin w spękanych skałach węglanowych (Michalczyk, Wilgat 1998). Pokrywa glebowa obszaru badań cechuje się dużą mozaikowością, na którą wpływ mają przede wszystkim zróżnicowanie skał powierzchniowych, urozmaicenie rzeźby oraz kontrastowość stosunków wod-

nych. Przeważają gleby brunatne (różnych podtypów) oraz gleby biellicowe i płowe. W dolinach rzecznych występują mady. Obszar ten odznacza się dużym zróżnicowaniem elementów geograficznych flory. W strukturze krajobrazu dominują grunty orne, wyraźnie mniejsze powierzchnie zajmują lasy oraz użytki zielone.

W badaniach monitoringowych gleb Lubelszczyzny na zawartość metali ciężkich, przeprowadzonych w 2005 roku przez WIOŚ w Lublinie, stwierdzono, że we wszystkich punktach badawczych w województwie lubelskim koncentracja cynku, ołowiu, miedzi kształtowała się na poziomie wartości naturalnych, najczęściej spotykanych w glebie. Kadm wykazywał w 20% monitorowanych punktów kontrolnych podwyższone zawartości z zakresu I stopnia zanieczyszczeń. Oceny zawartości metali ciężkich dokonano w oparciu o kryteria opracowane przez IUNG w Puławach dla celów praktyki rolniczej. Mimo braku przekroczeń zawartości zanieczyszczeń, badane metale ciężkie charakteryzowały się znaczną rozpiętością stężeń. Na podobne wnioski co do naturalnego poziomu zawartości metali ciężkich większości gleb Lubelszczyzny wskazują prace Terelaka i in. (1995) oraz Uziaka i in. (2001, 2004). Nieco wyższe koncentracje metali ciężkich występują w osadach wodnych zachodniej części Wyżyny Lubelskiej: kadm – zazwyczaj poniżej 1 ppm, miejscami 1–3 ppm, miedź – 10–20 ppm, ołów < 25 ppm, cynk < 100 ppm (Lis, Pasieczna 1995). Zawartość fosforu w osadach wodnych kształtuje się na poziomie < 0,1%.

W przypadku aluwii bardzo istotna jest dostawa metali ciężkich do rzek wraz ze ściekami. Nie dysponujemy ilościową charakterystyką tego typu dostawy, lecz jedynie wielkością punktowego zrzutu ścieków komunalnych i przemysłowych. Zawartość metali ciężkich w ściekach jest przy tym znaczna, Kabata-Pendias, Pendias (1999) podają następujące średnie zawartości metali ciężkich w suchej pozostałości ścieków: Cd – 100 ppm, Cu – ok. 1000 ppm, Pb – 3000 ppm, Zn – 3000 ppm. W przypadku doliny Bystrej powyżej badanego odcinka zlokalizowane są następujące źródła zanieczyszczeń: „Nałęczowianka” (100–500 tys. m³/rok ścieków), MZWIK Nałęczów (100–500 tys. m³/rok ścieków). W dolinie Bystrzycy głównym dostawcą zanieczyszczeń jest MPWIK Lublin (> 20 000 tys. m³/rok), w zlewni funkcjonuje poza tym 7 obiektów dostarczających około 100–500 tys. m³ ścieków na rok. W zlewni Wyżnicy ścieki do rzeki dostają się przede wszystkim z KPWiK Kraśnik (> 2000 tys. m³/rok ścieków) oraz z FŁT Kraśnik (100–500 tys. m³/rok ścieków), OSM Kraśnik (20–100 tys. m³/rok ścieków) (Raport o stanie... 2005).

METODYKA BADAŃ

Próbę oceny natężenia współczesnej sedymentacji osadów stokowych i aluwialnych przy wykorzystaniu wybranych parametrów geochemicznych przeprowadzono na podstawie analizy wykonanej dla 8 profili. Badaniami objęto 4 profile osadów aluwialnych rzek zachodniej i centralnej części Wyżyny Lubelskiej oraz

4 profile osadów stokowych (deluwia i proluwia). Badano górne, najmłodsze fragmenty profili – do głębokości 100 cm.

Jako markery stratygraficzne wykorzystane zostały następujące pierwiastki i izotopy: metale ciężkie (Cd, Cu, Pb, Zn), fosfor oraz ^{137}Cs . Pobór osadów odbywał się przy pomocy próbnika firmy Ejkelkamp. Rdzenie pobierane w sposób ciągły dzielone były na 10-cm odcinki. Próbkki były suszone (w temperaturze + 105°C), rozdrabniane w porcelanowym moździerzu i przesiewane przez stalowe sito o średnicy oczek 1 mm. Analizę koncentracji metali ciężkich wykonano w materiale przesianym przez sito 0,2 mm, zgodnie z metodyką oznaczeń przyjętą dla osadów wodnych Polski (Bojakowska, Sokołowska 1998).

W pobranym materiale oznaczono: pH w 1 mol·dm⁻³ KCl potencjometrycznie, wodę higroskopową metodą suszarkową (w temp. 105°C), substancję organiczną metodą żarzenia w temp. 550°C (Zakład Gleboznawstwa UMCS). Skład granulometryczny określono przy wykorzystaniu analizatora laserowego Malvern Mastersizer (Instytut Agrofizyki PAN). Mineralizację próbek przeprowadzono wodą królewską, metodą ISO 11466/2002. Cynk, kadm, miedź i ołów oznaczono techniką ASA (Spectr AA 880 Varian, Laboratorium Analityczne UMCS), natomiast fosfor metodą kwasu askorbinowego, spektrofotometrycznie (Zakład Gleboznawstwa UMCS). Pomiary aktywności ^{137}Cs wykonano w Zakładzie Radiochemii i Chemii Koloidów UMCS (spektrometr gamma Silena).

Analizę wielkości i tempa współczesnej sedymentacji dokonano na podstawie głębokości występowania warstw charakteryzujących się wyraźnym wzrostem koncentracji poszczególnych markerów. W przypadku ^{137}Cs najgłębsza warstwa, w której stwierdzono wyraźny wzrost koncentracji izotopu, datowana była na lata 60. XX wieku, kolejne maksimum koncentracji to połowa lat 80. (wybuch w Czarnobylu). Dla analiz z wykorzystaniem fosforu przyjęto założenie, że wyraźny wzrost koncentracji tego pierwiastka w glebie wystąpił w latach 70. XX wieku i związany był z coraz powszechniejszym stosowaniem nawozów fosforowych. Zużycie nawozów fosforowych w Polsce rosło od około 3 kg/ha (przed II wojną światową), do około 50 kg/ha pod koniec lat 70. XX wieku. Na początku lat 90. wraz z urynkowaniem cen nawozów sztucznych zużycie spadło, a obecnie wynosi 30,9 kg (P₂O₅)/ha. Jako okres największej dostawy metali ciężkich do środowiska przyjęto lata 70. XX wieku – największe zużycie nawozów sztucznych w Polsce, najintensywniejsza dostawa ołowiu do atmosfery w wyniku spalania benzyn (Clemens, Stahr 1994; Renberg i in. 2001).

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane profile zbudowane są głównie z osadów mineralnych (o charakterze mułków), miejscami w profilach występują torfy. Obejmują osady pochodzące ze zlewni o różnym stopniu antropopresji – od bardzo wysokiej (działalność prze-

mysłowa, ścieki miejskie): PT1, H1, H3, poprzez umiarkowaną (rolnictwo, niewielkie miejscowości): P1, R1, R2, po niską (wyłącznie wpływ rolnictwa): P2, KS4.

Profil H3 tworzą osady stożka napływowego suchej doliny rozcinającej lewe zbocze doliny Bystrzycy. Stropową część profilu (0–20 cm) budują świeże warstwowane deluwia. Leżą one na słabo wykształconej glebie płowej, poziom wmycia tej gleby sięga do głębokości około 100 cm. Osady mają charakter mułków – udział frakcji pylastej to średnio 74%, piaszczystej 22%. Odczyn badanych osadów jest obojętny do zasadowego w granicach od 6,75 do 7,76, z charakterystycznym maksimum na głębokości od 60 do 90 cm. Zawartość substancji organicznej wykazywała nieuporządkowany rozkład i wyniosła od 3,50 do 5,05%.

Profil KS4 zlokalizowany jest w dnie suchej doliny (uchodzącej do doliny Wyżnicy), u podnóża jej prawego zbocza. Dno doliny pokrywają pola uprawne i plantacje. Profil budują deluwia mułkowe, w stropie przeobrażone przez procesy glebotwórcze (poziom próchniczny). Poniżej (15–100 cm) występują brunatne, warstwowane deluwia (udział frakcji pyłowej 66%, piaszczystej 30%). Odczyn osadów jest zasadowy, mało zróżnicowany, rosnący wraz z głębokością o pH od 7,3 do 7,79. Zawartość substancji organicznej malała wraz z głębokością i wyniosła od 2,93 do 1,45%.

Profil P2 usytuowany jest w dnie dolinki nieckowatej uchodzącej do doliny Bystrzycy. Wysokość zboczy dolinki to około 3–4 m, a szerokość niezbyt wyraźnego dna – 10 m. Zbocza i dno doliny nie są obecnie uprawiane (ugór). Profil budują brunatne deluwia – mułek piaszczysty/piasek pylasty (udział frakcji piaszczystej i pylastej jest zbliżony i wynosi 47–48%). Profil charakteryzował się odczynem kwaśnym o mało zróżnicowanym pH wahającym się w zakresie od 4,22 do 4,71. Największą koncentrację substancji organicznej odnotowano w warstwie powierzchniowej 1,93%, niżej spada ona do 1,12%.

Profil R1 leży w dnie doliny Bystrej, w miejscu, gdzie zmienia ona swój przebieg z równoleżnikowego na południkowy. Dno doliny o szerokości około 300 m użytkowane jest jako łąka. Profil zlokalizowano w obrębie stożka napływowego rozległego sytemu suchych dolin rozcinających lewą stronę środkowej zlewni Bystrej. Analizowany profil zbudowany jest z brunatnych mułków – średnia zawartość frakcji pyłowej to 65%, piaszczystej 31%. Podobną budowę, choć inną genezę, ma profil R2 położony 100 m na północ, 20 m od koryta Bystrej. Osady w profilach charakteryzują się, poza warstwą powierzchniową, odczynem zasadowym. Ich alkaliczność rośnie wraz z głębokością, a pH waha się od 6,93 do 7,9. Profilowy rozkład substancji organicznej wykazywał tendencję malejącą wraz z głębokością (od 6,47 do 1,91%).

Profil P1 położony jest w obrębie rozległego dna doliny Bystrzycy, około 100 m na zachód od koryta. Współcześnie teren ten jest użytkowany jako łąka. W stropie profilu występuje brunatnoszary poziom próchniczny, poniżej (20–50 cm) zalegają szare mułki, zaś pod nimi dobrze rozłożone torfy. Dolna część profilu (75–100 cm) zbudowana jest z kolejnych warstw szarych mułków (udział frakcji

piaszczystej średnio 19%, pyłowej 68%). Odczyn osadów jest obojętny i słabo zasadowy, mało zróżnicowany o pH od 6,89 do 7,19. Górną część profilu do głębokości 20 cm stanowi utwór mineralno-organiczny o zawartości substancji organicznej ponad 15%. Głębiej zawartość substancji organicznej wyraźnie maleje wraz z głębokością.

Profil H1 leży w obrębie dna doliny Bystrzycy, 20 m od wypukłego odcinka koryta. Dno doliny ma tu około 900 m szerokości, zbocza doliny o wysokości około 30–40 m są asymetryczne – lewe jest strome, a prawe bardzo łagodne. Dno doliny użytkowane jest jako łąka. Profil tworzą ciemnoszare mułki, w dolnej części lekko ilaste. Odczyn osadów jest obojętny, do słabozasadowego. Wartości pH od 6,59 do 7,48 wykazywały w profilu nieuporządkowany rozkład.

Profil PT1 położony jest w obrębie dna doliny niewielkiego cieku (1 m od koryta), w obrębie kompleksu leśnego, około 500 m na zachód od Zakładów EDA w Poniatowej. W górnej części (0–20 cm) profilu występują osady typu brunatnoszarych i czarnych namułów organicznych. Zasadniczą część profilu (20–100 cm) budują brunatne piaski pylaste, zawierające dużą ilość substancji organicznej. Osady w profilu charakteryzują się odczynem zasadowym o pH wahającym się w zakresie od 7,01 do 7,95, z maksimum na głębokości ok. 60 cm.

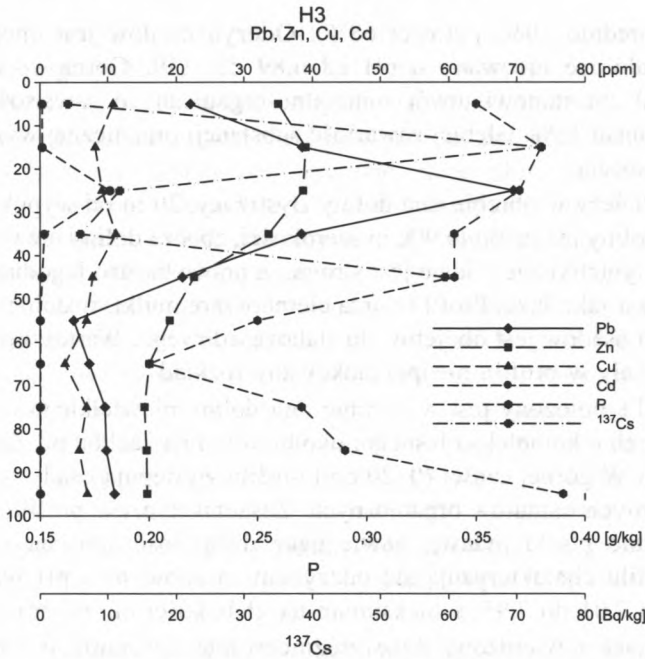
W profilach stwierdzono duże zróżnicowanie koncentracji badanych pierwiastków, szczególnie w przypadku metali ciężkich. Ich zawartość zmieniała się od 0,0 do 10,3 ppm dla kadmu, 0,0–1003,0 ppm dla miedzi, 1,9 do 133,0 ppm dla ołowiu i 3,1 do 73,0 ppm w przypadku cynku. Duży był również zakres aktywności cezu w osadach – od 0,2 do 100 Bq/kg. Zawartość fosforu w badanych próbkach wynosiła zazwyczaj 0,2 g/kg (maksymalnie 0,4 g/kg). Wśród metali ciężkich pierwiastkiem o najwyższych średnich koncentracjach był cynk, następnie kolejno ołów, miedź i kadm. Najczęściej – praktycznie w przypadku wszystkich profili – tło geochemiczne dla osadów wodnych (Bojakowska, Sokołowska 1998) przekroczone było w przypadku ołowiu, dla pozostałych analizowanych metali ciężkich średnie koncentracje przekraczały tło w 2–3 profilach (nie zawsze były to te same profile). Generalnie najwyższe zawartości metali ciężkich występowały w profilach aluwialnych zlokalizowanych poniżej miast i ośrodków przemysłowych. Wyraźnie niższe były koncentracje w deluwjach oraz osadach dolin rzecznych na terenach rolniczych.

Pionowe zróżnicowanie koncentracji analizowanych pierwiastków wykazywało następujące prawidłowości (ryc. 2–5):

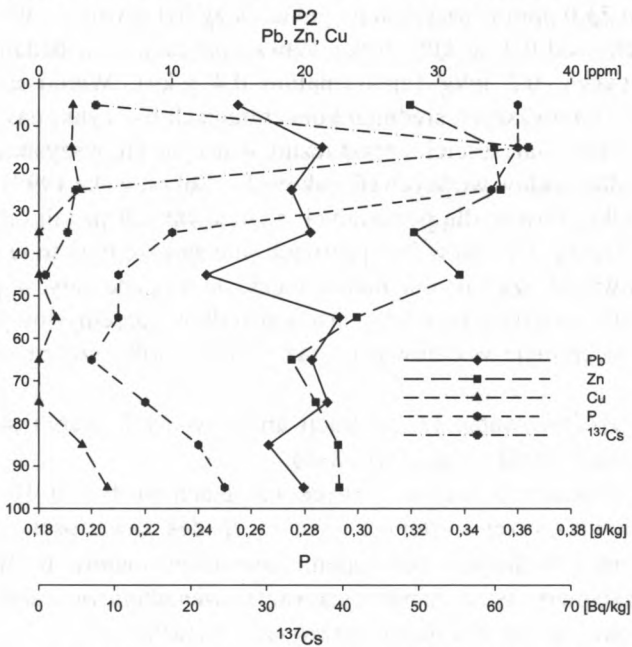
a) ^{137}Cs koncentruje się w górnych częściach profili: 0–10 cm (aluwia), 10–20 cm (deluwia), niżej występuje wyraźny spadek zawartości,

b) w 4 na 5 badanych pod kątem zawartości fosforu profili, najwyższe koncentracje tego pierwiastka charakteryzowały powierzchniowe warstwy (0–20 cm); spadek z głębokością nie był jednak zazwyczaj wyraźny,

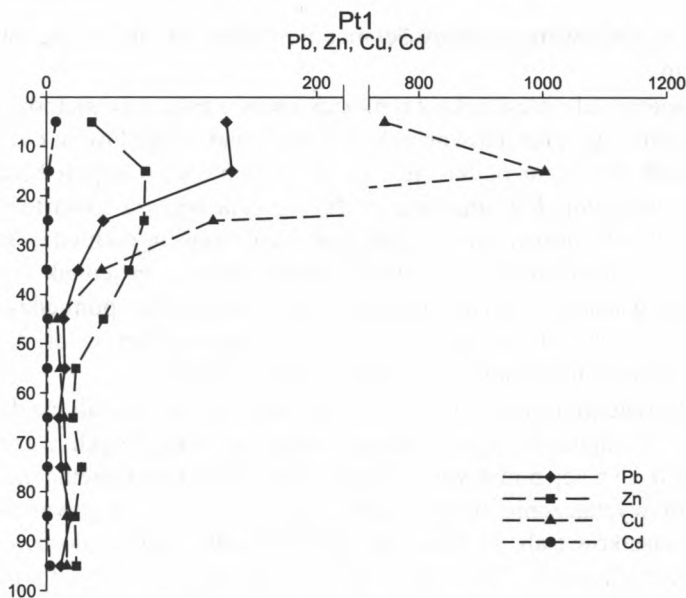
c) najwyższe koncentracje metali ciężkich występowały w górnych poziomach analizowanych profili 0–10 i 10–20 cm; zdarzały jednak odstępstwa od tej reguły;



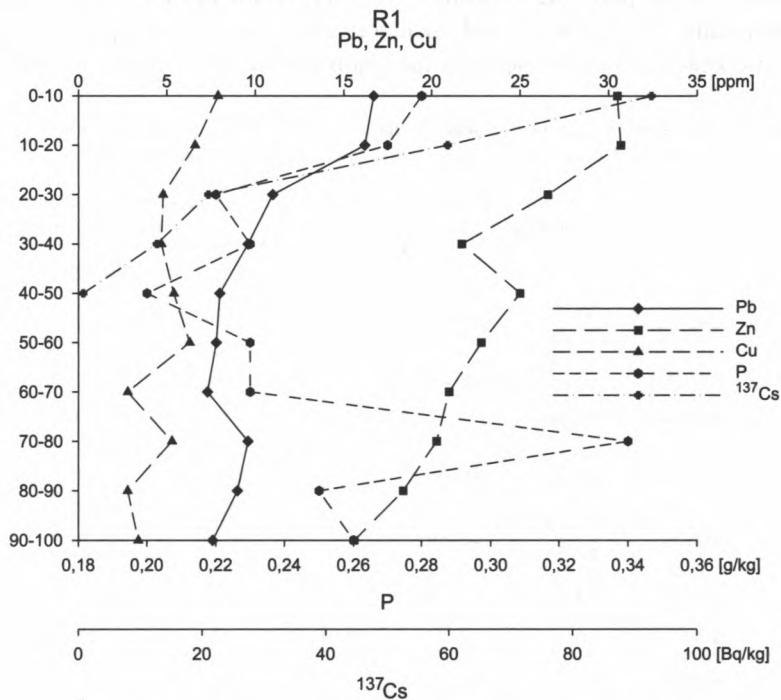
Ryc. 2. Pionowe zróżnicowanie Cd, Cu, Pb, Zn, ^{137}Cs i P w profilu H3
Vertical distribution of Cd, Cu, Pb, Zn, ^{137}Cs and P in profile H3



Ryc. 3. Pionowe zróżnicowanie Cu, Pb, Zn, ^{137}Cs i P w profilu P2
Vertical distribution of Cu, Pb, Zn, ^{137}Cs and P in profile P2



Ryc. 4. Pionowe zróżnicowanie Cd, Cu, Pb, Zn w profilu Pt1
Vertical distribution of Cd, Cu, Pb, Zn in profile Pt1



Ryc. 5. Pionowe zróżnicowanie Cu, Pb, Zn, ¹³⁷Cs i P w profilu R1
Vertical distribution of Cu, Pb, Zn, ¹³⁷Cs and P in profile R1

w kilku przypadkach wzrost zawartości metali miał miejsce już na głębokości 20–30 lub 40–50 cm.

Spełnione zostało w związku z tym podstawowe założenie metody, wskazujące aktywność człowieka jako główne źródło wzbogacania osadów w określone pierwiastki. Należy przy tym podkreślić, że intensywniejszej sorpcji badanych pierwiastków w wierzchnich poziomach profili sprzyja wyższa zawartość substancji organicznej. Wyniki prowadzonych badań nad zależnością pomiędzy koncentracją metali ciężkich a zawartością substancji organicznej nie są jednak jednoznaczne. Jedni badacze wskazują na istnienie czytelnych zależności pomiędzy koncentracjami metali ciężkich a zawartością substancji organicznej w osadzie (Thonon 2006), inni nie znajdują takich związków (Martin 2000).

Na podstawie pionowego zróżnicowania koncentracji metali ciężkich, fosforu oraz cezu-137 podjęto próbę określenia wieku poszczególnych warstw analizowanych profili i na tej podstawie – średniej szybkości sedymentacji. Pierwszym krokiem było wyznaczenie w profilach warstw o wysokiej zawartości analizowanych pierwiastków (tab. 1). Następnie przyporządkowano je do trzech horyzontów czasowych (lata 60., 70. i 80. XX wieku) (tab. 2). Dało to podstawę do wyznaczenia średniego tempa sedymentacji w profilach w ciągu ostatnich 40, 30 lub 20 lat (w zależności od rodzaju markera, na którym opierały się obliczenia; przy obliczeniach brano pod uwagę środek warstwy, którą uznano za warstwę diagnostyczną) (tab. 3). Szybkość sedymentacji obliczona w ten sposób może być nieznacznie zawyżona ze względu na fakt pionowej migracji pierwiastków, jednak

Tab. 1. Głębokość występowania warstw diagnostycznych w analizowanych profilach
Depth of occurrence of diagnostic layers in the studied profiles

| Profil | Typ osadu | Głębokość horyzontu wyraźnego wzrostu koncentracji [cm] | | | Głębokość warstwy z maksymalną koncentracją [cm] | | |
|--------|-----------|---|--------|--------|--|---------|--------|
| | | ¹³⁷ Cs | metale | fosfor | ¹³⁷ Cs | metale | fosfor |
| R1 | deluwia | 0–10 20–30 | 0–20 | ? | 0–10 | 0–20 | 70–80 |
| KS4 | deluwia | – | 10–20 | ? | – | 0–20 | 0–10 |
| P2 | deluwia | 10–20 | ? | 20–30 | 10–20 | 100–110 | 0–20 |
| H3 | deluwia | 20–30 40–50 | 40–50 | ? | 20–30 | 20–30 | 10–20 |
| R2 | aluwia | 10–20 40–50 | 40–50 | ? | 0–10 | 10–20 | 0–20 |
| P1 | aluwia | 10–20 | 10–20 | ? | 0–10 | 0–20 | 10–20 |
| H1 | aluwia | – | 30–40 | 0–10 | – | 0–10 | 0–10 |
| PT1 | aluwia | – | 20–30 | – | – | 10–20 | – |

„?” brak wyraźnej granicy

„–” brak danych

Tab. 2. Próba „datowania” warstw analizowanych profili
Attempt dating of layers of the analyzed profiles

| Głębokość | Lata 60. XX w. ¹³⁷ Cs | Lata 70. XX w. metale | Lata 70. XX w. fosfor | Połowa lat 80. XX w. ¹³⁷ Cs |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| 0–10 | P1 | P1, H1 | P1, KS4 | R1, R2, P1, H1 |
| 10–20 | | R1, R2, PT1, KS4 | R2, P2, H3 | H3, P2 |
| 20–30 | R1 | H3 | | |
| 30–40 | | | | |
| 40–50 | H3 | | | |

Tab. 3. Ocena tempa sedymentacji
Valuation of the sedimentation rate

| Profil | Tempo sedymentacji [cm/rok] | Liczba wykorzystanych markerów |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|
| H3 | 0,75–1,1 | 3 |
| R1 | 0,2–0,6 | 3 |
| KS4 | 0,5 | 2 |
| P2 | 0,6–0,75 | 2 |
| R2 | 0,2–0,5 | 2 |
| H1 | 0,25–0,5 | 2 |
| PT1 | 0,5 | 1 |
| P1 | 0,25 | 1 |

ze względu na krótki okres, jaki upłynął od ich osadzenia, błąd spowodowany tymi procesami nie powinien być znaczny.

Należy zauważyć, że nie we wszystkich profilach zróżnicowanie zawartości markerów umożliwiło wyznaczenie wyraźnych poziomów diagnostycznych (tab. 1). Jednoznaczna sytuacja występowała w przypadku takich profili jak R1 czy H3 (chronologiczny układ maksimów koncentracji markerów). W innych przypadkach (P1) różnowiekowe markery występowały w jednej warstwie – wynika to z dokładności przyjętej metody poboru próbek (co 10 cm), w takim przypadku tempo sedymentacji określono na podstawie najstarszego markera. Zdarzały się wreszcie sytuacje, gdy rozkład markerów był niejednoznaczny. Obliczenia wykonano wtedy na podstawie jednego czy dwóch wskaźników. Generalnie lepsza precyzja „datowania” występowała w przypadku profili deluwialnych. Wynika to z mniejszej intensywności procesów przemywania związanych z pionową migracją wody oraz bezpośrednią dostawą markerów do osadu wraz z produktami erozji gleb. Nie we wszystkich profilach „sygnał” wiekowy był jednakowo silny (wyraźny wzrost koncentracji). Niejednoznaczny, z chronologicznego punktu widzenia, rozkład

koncentracji może po części wynikać ze zróżnicowania parametrów osadu (skład mechaniczny, pH, zawartość substancji organicznej). Należy jednak podkreślić, że tylko w przypadku substancji organicznej występowało znaczące zróżnicowanie pionowe w profilach – wyraźny spadek wraz z głębokością.

Ilość danych dotyczących tempa współczesnej sedymentacji rzecznej i stokowej na obszarze zachodniej części Wyżyny Lubelskiej jest niewielka, zwłaszcza w przypadku aluwiów. Zgłobicki (2002), badając dynamikę współczesnych procesów stokowych przy wykorzystaniu ^{137}Cs , na podstawie analizy szeregu profili osadów wypełniających dna suchych dolin, określił średnie tempo sedymentacji w ciągu ostatnich 50 lat na 3–6 mm/rok. Zgłobicki i Rodzik (2007), analizując osady koluwalne oraz aluwialne dorzecza Bystrej (badania geochemiczne i sedymentologiczne, datowania radiowęglowe) podali następujące wielkości tempa sedymentacji (dla okresu ostatnich 500 lat): aluwia doliny Bystrej – 1,3 mm/rok, osady stokowe – 1,3–3,5 mm/rok, osady wąwozowe – 5,6–7,3 mm/rok. Dane z pomiarów niwelacyjnych prowadzonych w okolicach Elizówki pokazały, że w okresie 1958–1978 średnie tempo wypełniania dna doliny wyniosło 6,6 mm/rok (Mazur, Pałys 1985). W przypadku wystąpienia gwałtownych roztopów czy ulewnych deszczy miąższość osadów akumulowanych w dnach suchych dolin może osiągać współcześnie od kilku do 20 cm podczas jednego epizodu, powtarzalność tego typu zjawisk jest rzędu 30–40 lat (Janicki, Zgłobicki 1998; Rodzik i in. 1998).

Uzyskane wyniki dotyczące tempa sedymentacji, oparte na niewielkiej liczbie profili oraz mające przybliżony charakter, pozostają w zgodzie z publikowanymi do tej pory materiałami dotyczącymi dynamiki procesów redepozycji na Wyżynie Lubelskiej, tempo akumulacji jest w nich określane na kilka milimetrów na rok. Otrzymane wielkości dobrze współgrają z sytuacją geomorfologiczną badanych profili i układają się w logiczną całość (poczynając od profilu o najwyższym tempie sedymentacji, tab. 3):

- osady stożka suchej doliny rozcinającej strome zbocze Bystrzycy,
- osady stożka systemu suchych dolin rozciętych przez wąwozy,
- osady den suchych dolin na obszarach rolniczych,
- osady dna doliny Bystrej,
- osady dna doliny Bystrzycy.

Podjęta próba oceny tempa współczesnej sedymentacji na podstawie równoczesnego wykorzystania kilku wskaźników geochemicznych dała obiecujące, choć nie zawsze jednoznaczne wyniki. Celowe wydaje się kontynuowanie tego typu badań, przy jednoczesnym podnoszeniu ich precyzji – pobór próbek w mniejszych interwałach głębokościowych (zwłaszcza w przypadku aluwiów).

WNIOSKI

1. We wszystkich analizowanych profilach występowała wyraźna tendencja wzrostu koncentracji analizowanych pierwiastków w powierzchniowych warstwach (dostawa antropogeniczna).

2. Określone na podstawie markerów geochemicznych tempo współczesnej sedymentacji wyniosło od 0,25 cm/rok (aluwia) do maksymalnie 1,1 cm/rok (deluwia). Wartości te są zbliżone do opublikowanych do tej pory danych.

3. Wiarygodność danych ilościowych nie była jednakowa we wszystkich profilach: w części z nich tempo sedymentacji określono na podstawie 3 markerów, w innych – tylko jednego. Bardziej jednoznaczne i precyzyjne wyniki otrzymano w przypadku profili osadów stokowych.

4. Otrzymane wielkości oparte są na niewielkiej liczbie danych, pozostają jednak w zgodności z ogólną sytuacją morfologiczną profili – największe tempo sedymentacji uzyskano dla profilu osadów stokowych (stożek napływowy), najmniejsze dla aluwii rozległej doliny rzecznej.

5. Celowe wydaje się kontynuowanie tego typu badań, przy jednoczesnym podnoszeniu ich precyzji – pobór próbek w mniejszych interwałach głębokościowych (zwłaszcza w przypadku aluwii).

LITERATURA

- Bednarek R., Chudziak W., Gackowski J., Kwiatkowska A., Markiewicz M., Noryśkiewicz A. M., Polcyn I., 2003: Przekształcenia środowiska przyrodniczego pod wpływem działalności człowieka w świetle interdyscyplinarnych badań. FNP dla archeologii. Podsumowanie programów TRAKT i ARCHEO. Lublin: 9–16.
- Bojakowska I., Sokołowska G., 1998: Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny* 46: 49–54.
- Brzeziński W., Dulinicz M., Kobyliński Z., 1983: Zawartość fosforu w glebie jako wskaźnik dawnej działalności ludzkiej. *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 31: 277–297.
- Ciszewski D., 2001: Możliwości i problemy zastosowań metali ciężkich do datowania osadów aluwialnych na przykładzie środkowej Odry. *Czasopismo Geograficzne* 72: 53–69.
- Ciszewski D., 2002: Zapis działalności przemysłowej w osadach fluwialnych, [w:] P. Szwarczewski, E. Smolska (red.): *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym*, t. I. Warszawa–Łomża: 23–28.
- Clemens G., Stahr K., 1994: Present and past soil erosion rates in catchments of the Kraichgau area (SW Germany). *Catena* 22: 153–168.
- Froehlich W., Walling D. E., 1991: Badania procesów erozji i sedymentacji przy użyciu izotopu cezu 137. Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, Conference Papers 14, Sesja Naukowa IGiPZ PAN 1991: 23–34.
- Gillijns K., Poesen J., Deckers J., 2005: On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe – case study from the Central Belgium. *Catena* 60: 43–58.
- Janicki G., Zglobicki W., 1998: Geomorfologiczne skutki ulewy (z 16 września 1995 r.) w okolicy Garbowa na Wyżynie Lubelskiej. *Annales UMCS sec. B*, 53: 109–129.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Klimek K., 1996: Aluwia Rudy jako wskaźnik 1000-letniej degradacji Płaskowyżu Rybnickiego, [w:] A. Kostrzewski (red.), Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, t. II. Wyd. UAM: 155–166.
- Kondracki J., 2000: Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Korabiewski B., 2002: Wykorzystanie metali ciężkich w określaniu wieku względnego osadu na przykładzie zlewni górnej Kwisy, [w:] P. Szwarczewski, E. Smolska (red.), Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym, t. I. Warszawa–Łomża: 65–69.
- Lis J., Pasieczna A., 1995: Atlas geochemiczny Polski 1:2 500 000. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.
- Martin C. W., 2000: Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. *Catena* 39: 53–68.
- Maruszczak H., 1988: Zmiany środowiska przyrodniczego kraju w czasach historycznych, [w:] L. Starkel (red.), Przemiany środowiska geograficznego Polski. Wszechnica Polskiej Akademii Nauk: 109–135.
- Maruszczak H., 2001: Rozwój rzeźby wschodniej części wyżyn metakarpackich w okresie posarmackim. *Przegląd Geogr.* 73, 3: 253–280.
- Matschullat J., Ellminger F., Agdemir N., Cramer S., Ließmann, Niehoff N., 1997: Overbank sediment profiles – evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. *Applied Geochemistry* 12: 105–114.
- Mazur Z., Pałys S., 1985: Wpływ erozji wodnej na morfologię i zmienność pokrywy glebowej terenów lessowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 292: 21–36.
- Michalczyk Z., Wilgat T., 1998: Stosunki wodne Lubelszczyzny. Wyd. UMCS, Lublin: 1–165.
- Renberg I., Bindler R., Brännvall M.-L., 2001: Using the historical atmospheric lead-deposition record as a chronological marker in sediment deposits in Europe. *Holocene* 11: 511–516.
- Rodzik J., Janicki G., Zagórski P., Zgłobicki W., 1998: Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych. Dokumentacja Geograficzna 11, Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew. Wrocław: 43–68.
- Raporty o stanie środowiska naturalnego Lubelszczyzny w 2002 i 2005 roku. WIOŚ Lublin.
- Schlezniger D. R., 2000: Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistoric human occupation. *Journal of Archeological Science*. 27: 479–492.
- Smil V., 2000: Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Ann. Rev. Energy Environ.* 25: 53–88.
- Stach A., 1991: Zastosowanie cezu-137 do datowania współczesnych osadów stokowych – podstawy metody i wstępne wyniki z Pojezierza Drawskiego. Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. *Geografia* 50. Wydawnictwo Naukowe UAM: 551–561.
- Szwarczewski P., 1998: Metale ciężkie w różnowiekowych aluwjach Wisły okolic Torunia. *Przegląd Geologiczny* 46: 1286–1288.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K., 1995: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418: 45–59.
- Thonon I., 2006: Deposition of sediment and associated heavy metals on floodplains. *Netherlands Geographical Studies* 337.
- Uziak S., Melke J., Klimowicz Z., 2001: Content and distribution of heavy metals in soils of East Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 34: 1–12.
- Uziak S., Melke J., Klimowicz Z., 2004: Akumulacja i migracja metali ciężkich w glebach regionów fizjograficznych Polski Wschodniej. *Annales UMCS, sec. B, LIX*: 161–180.
- Walling D. E., He Q., 1997: Use of fallout ¹³⁷Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena* vol. 29, 3–4: 263–282.

- Wise S. M., 1980: Cesium-137 and Lead-210: a review of the techniques and some applications in geomorphology. [w.] R.A. Cullingford, D. A. Davidson & J. Levin (Eds.): *Timescales in Geomorphology*: 110–127.
- Wyrwicka K., 1980: Stratygrafia, facje i tektonika masyfów zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. *Kwart. Geol.* 24, 4: 805–819.
- Zgłobicki W., 2002: Dynamika współczesnych procesów denudacyjnych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 1–159.
- Zgłobicki W., Rodzik J., 2007: Heavy metals in slope deposits of loess areas of the Lublin Upland (E Poland). *Catena* 71: 84–95.
- Zgłobicki W., Ziółek M., 2006: Wybrane metody geochemiczne w badaniach środowiska. *Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe, Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. XVI: 519–528.

SUMMARY

Chemical changes of the environment are one of the most important results of human activity. Pollutants migrate with air and water and finally accumulate in sediments that become specific geochemical archives of these changes. Vertical changes of concentration of some elements in sediment profiles may be used for estimation of the sedimentation rate. In the paper, some theoretical bases of application of geochemical markers for dating of contemporary sediments are presented. Researching 8 profiles from the western part of the Lublin Upland, authors evaluate the markers for application in geomorphologic studies (size and sedimentation rate).

Studies comprise 4 profiles of alluvial river sediments from western and central parts of the Lublin Upland and 4 profiles from slope sediments. Generally they are mineral sediment types (mainly silts) with peat in some of them.

The following elements and isotopes were applied as stratigraphic markers: heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn), phosphorus and ^{137}Cs . The size and rate of contemporary sedimentation was stated on the basis of the depth of the layers revealing pronounced increase of the concentration of selected markers. Applied methods allowed to distinguish three time horizons – the sixties, seventies and eighties of the 20th century. Vast scattering of the concentration of the selected elements, especially heavy metals, was noticed in the studied profiles. Their concentration ranged from 0.0 to 10.3 ppm for cadmium, 0.0–1003.0 ppm for copper, 1.9–133 ppm for lead and 3.1 to 73.0 ppm for zinc. Radioactivity of caesium in sediments also ranged markedly from 0.2 to 100 Bq/kg whereas the concentration of phosphorus was stable and equal to 0.2 g/kg.

Presented attempt of the estimation of the contemporary sedimentation rate, based on application of several geochemical markers, gave promising though not univocal results. In all the studied profiles much higher concentration of analyzed elements was determined in surface layers, which proves that human activity is the main source of increasing concentration of some elements in surface sediments. However, higher concentrations in surface sediments are partially related to the higher organic matter content. The rate of contemporary sedimentation, determined with the geochemical markers ranged from 0.25 cm/y (alluvia) to maximum 1.1 cm/y (delluvia). These values agree well with the previously published data. Reliability of quantitative data was not the same for all profiles: for some of them the sedimentation rate was stated using three markers, for others from one only. The more pronounced and precise results were obtained for profiles of slope sediments. Obtained results also agree with general morphologic characteristics of the profiles – the greatest sedimentation rate was noticed for colluvial profile and the smallest for alluvial sediments of the broad river valley.